



## COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

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

### MM.

CORDIER, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences, profess. de géologie au Muséum d'hist. naturelle, *président*.  
DE BOUREVILLE, conseiller d'État, insp. gén., secrét. gén. du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.  
ÉLIE DE BEAUMONT, sénateur, insp. général, membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collège de France et à l'École des mines.  
THIRRIA, inspecteur général.  
COMBES, inspecteur général, membre de l'Académie des Sciences.  
LEVALLOIS, inspecteur général.  
MARROT, inspecteur général.  
LORIEUX, inspecteur général.

### MM.

DE BILLY, inspecteur général.  
DE SÉNARMENT, ingénieur en chef, membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.  
PIÉRARD, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général.  
DE VILLENEUVE, ingénieur en chef, professeur de législation des mines.  
CALLON, ingénieur en chef, professeur d'exploitation des mines.  
PIOT, ingénieur, professeur de métallurgie.  
DE CHEPPE, ancien chef de la division des mines.  
RIVOT, ingénieur, professeur de chimie.  
COUCHE, ing. en chef, professeur de chemins de fer et de construction, *secrétaire de la commission*.  
DELESSE, ingénieur, *secrétaire adjoint*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES, rue du Dragon, n° 30, à Paris.*

### Avis de l'Éditeur.

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

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

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET C<sup>e</sup>, RUE RACINE, 26.

# ANNALES DES MINES

OU

## RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

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

RÉDIGÉES

*Par les Ingénieurs des Mines,*

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

CINQUIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XI.

PARIS.

VICTOR DALMONT, ÉDITEUR,

Successeur de Carilian-Gœury et V<sup>or</sup> Dalmont,

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

Quai des Augustins, 49.

1857



---

---

## BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1857.

---

### FRANCE.

**FIGUIER.** L'Année scientifique et industrielle, ou Exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger; médecine, etc.; in-18 Jésus, VIII-492 p. — Paris, imp. Lahure; lib. L. Hachette et C<sup>e</sup>.

**GUILMIN.** Complément du cours de géométrie, applications; in-8, 84 p. — Paris, imp. Thunot.

**MACAREL.** Cours d'administration et de droit administratif, professé à la faculté de droit de Paris, mise au courant de la législation par A. de Pistoye; 2<sup>e</sup> partie, Principes généraux des matières administratives; t. 5, Subsistances publiques, Industrie agricole; in-8, 464 p. — Paris, imp. et lib. Plon.

**PAYER.** Traité d'organogénie végétale comparée; 11<sup>e</sup> et 12<sup>e</sup> livraisons, texte, grand in-8, p. 477-572 et 18 planches. — Paris, Victor Masson.

Aide-Mémoire à l'usage des officiers d'artillerie; 5<sup>e</sup> édition, revue et augmentée, publiée par le comité de l'artillerie, avec l'autorisation de Son Excellence le Ministre de la guerre; 1 vol. grand in-8 de 1.080 p., avec 19 planches. — Paris, Levrault.

**BOUTIGNY.** Études sur les corps à l'état sphéroïdal, nouvelle branche de physique; 5<sup>e</sup> édit., considérablement augmentée; in-8, XVI-549 pages, avec 26 gravures.—Paris, imp. Martinet; lib. V. Masson.

**DUHAMEL.** Éléments de calcul infinitésimal; tome 2, in-8, XII-375 p. et une planche. — Paris, imp. et lib. Mallet-Bachelier.

**PELOUZE et FRÉMY.** Traité de chimie générale, comprenant les applications de cette science à l'analyse chimique, à l'industrie, à l'agriculture et à l'histoire naturelle; 2<sup>e</sup> édition, tome 6, in-8, 680 p. — Imp. Martinet; lib. Masson.

- THIROUX. Essai sur les projectiles allongés; in-8, 112 p. — Imp. Vrayet de Surcy et Gaittet; lib. Corréard.
- BEZON. Dictionnaire général des tissus anciens et modernes; ouvrage où sont indiquées et classées toutes les espèces de tissus connues jusqu'à ce jour, soit en France, soit à l'étranger, notamment dans l'Inde, la Chine, etc., etc., avec l'explication abrégée des moyens de fabrication et l'entente des matières, nature et apprêt, applicables à chaque tissu en particulier, tome 1<sup>er</sup>, in-8, 324 p. — Lyon, imp. et lith. Th. Lépagniez. — Paris, lib. Victor Dalmont.
- LECOQ. Études sur la géographie botanique de l'Europe, et en particulier sur la végétation du plateau de la France; tome 5, grand in-8, viii-603. — Paris, lib. J. B. Baillière (1856).
- LEIBNIZ. Nouvelles lettres et opuscules inédits de Leibniz, précédés d'une introduction, par A. Foucher de Careil; in-8, ccxxvii-440 p. — Paris, lib. A. Durand.
- CORNUDET. Compté rendu des travaux de drainage exécutés en 1855, et des essais de fabrication de tuyaux entrepris en 1856 dans le département de la Creuse; suivi d'une instruction générale relative à la fabrication des tuyaux pour le drainage. — Saint-Cloud, imp. v<sup>o</sup> Belin.
- BABINET. Études et lectures sur les sciences d'observation et leurs applications pratiques; 3<sup>e</sup> vol., petit in-12. — Paris, Mallet-Bachelier.
- BRIOT. Leçons d'algèbre entièrement conformes aux nouveaux programmes de l'enseignement des lycées; 3<sup>e</sup> édition, in-8, — Paris, v<sup>o</sup> Dalmont.
- CHATIN. Anatomie comparée des végétaux, comprenant: 1<sup>o</sup> les plantes aquatiques, 2<sup>o</sup> les plantes aériennes, 3<sup>o</sup> les plantes parasites, 4<sup>o</sup> les plantes terrestres; livraison 6, Plantes parasites; grand in-8 Jésus, p. 145 à 192, pl. 31 à 40. — Paris, J. B. Baillière.
- GAVERNÉT. Traité d'électricité; tome 1<sup>er</sup>, avec 280 figures dans le texte, in-18 Jésus, vi-595 p. — Paris, v<sup>o</sup> Masson.
- PARIS. Catéchisme du marin et du mécanicien à vapeur, ou Traité des machines à vapeur, de leur montage, de leur conduite, de la réparation de leurs avaries; 2<sup>e</sup> édition, augmentée de la manœuvre des navires à roues, à aubes ou à hélice; in-8. — Paris, Arthus-Bertrand.
- CHEVALIER. Photographie sur papier sec, glacés albuminées, collodion, plaques métalliques, in-18, 76 p. et une planche. — Paris, 158, Palais-Royal.

- DUFOUR. Police des eaux. Traité pratique à l'usage des maîtres d'usines, des riverains de la mer et des cours d'eau navigables ou non navigables, et des concessionnaires ou propriétaires de marais, suivi d'un commentaire spécial des lois sur l'irrigation et le drainage; in-8. — Paris, lib. Cotillon.
- Architecture rurale et communale. Petites maisons de plaisance et d'habitation, choisies dans les environs de Paris et dans les quartiers neufs de la capitale, présentées en plan, coupes, élévations, détails de décoration intérieure et extérieure, etc.; 3<sup>e</sup> éd., in-folio, 15 p. et 60 pl. — Paris, lib. Bance.
- ADRIÉMAR. Traité de géométrie descriptive (supplément au); exercices, épures de concours et questions d'examen; in-8, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> supplément. — Paris, Victor Dalmont.
- CHEUV. Encyclopédie d'histoire naturelle, ou Traité complet de cette science, d'après les travaux des naturalistes les plus éminents de tous les pays et de toutes les époques, Buffon, Daubenton, Lacépède, Georges Cuvier, etc.; édition illustrée d'environ 8.000 gravures; Papillons nocturnes, 1<sup>re</sup> série, grand in-8, 1-56 p. et 6 planches. — Paris, lib. Magnès et C<sup>o</sup>.
- BERRON. Assainissement de la plaine de Neubouse, territoire de Rosières-aux-Salines, de la contenance de 161 hectares, in-8, 7 p. — Nancy, imp. Hinzelin.
- BAUTIER. Tableau analytique de la flore parisienne, d'après la méthode adoptée dans la flore française de MM. Lamarck et de Candolle, contenant tous les végétaux vasculaires de nos environs, et la description des familles et des genres disposés d'après la nouvelle classification de M. de Candolle; 8<sup>e</sup> édition; in-18 raisin, viii-450 p. — Paris, lib. Labé.
- M. BLOCK (avec la collaboration de membres du conseil d'État, de la cour des comptes, de chefs de service des divers ministères, etc.). Dictionnaire de l'administration française, répertoire encyclopédique de près de 1.500 articles, renfermant un exposé fidèle de la législation administrative en vigueur, contenant les instructions ministérielles, la jurisprudence, l'indication des sources et la biographie des diverses matières; 1 fort volume de 1.658 pages ou 3.276 colonnes très-grand in-8. — Paris, Leyrault.
- DESHAYES. Description des animaux sans vertèbres découverts dans le bassin de Paris, pour servir de supplément à la description des fossiles des environs de Paris, comprenant une revue générale de toutes les espèces actuellement connues;

- 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> livraisons, in-4, p. 161 à 240, planches 21 à 30, explication des planches, p. 17-24. — Paris, J. B. Baillièrre et fils.
- BIOT. Traité élémentaire d'astronomie physique; 3<sup>e</sup> édition, corrigée et augmentée; tome 5, in-6, xx-553 p., et atlas in-4 oblong, 4 p. et 13 planches. — Paris, Mallet-Bachelier.
- BOITEL. Mise en valeur des terres pauvres par le pin maritime, avec une vignette et des figures dans le texte; suivi d'un appendice sur les taupes, les marais des Landes et les vignes du Cap-Breton; 2<sup>e</sup> édition, entièrement refondue, avec des figures dans le texte et une planche lithographiée; in-8. — Paris, V<sup>e</sup> Masson.
- BONNIN. Travaux d'achèvement de la digue de Cherbourg, de 1830 à 1855, précédés d'une introduction historique sur les travaux exécutés depuis l'origine jusqu'en 1830, par Antoine-Élie de Lamblardie, inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes; texte in-4, 243 p., et atlas grand in-4, 4 p. et 13 planches in-folio oblong. — Paris, V<sup>e</sup> Dalmont.
- DUPUY. Quelques Idées sur les moyens de mettre en culture les landes de Gascogne; in-8. — Bordeaux, imp. et lib. Lafargue.
- SALVÉTAT. Leçons de céramique professées à l'École centrale des arts et manufactures, ou Technologie; tome 1<sup>er</sup>, in-18 Jésus. — Paris, Mallet-Bachelier.
- TOURDES. Recherches sur les substances anesthésiques, l'oxyde de carbone, l'amylène; in-8. — Strasbourg, imp. Silbermann.
- HÉBERT. Recherches sur la forme des premiers sédiments tertiaires parisiens; br. in-8.
- MILNE-EDWARDS. Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux; tome 1<sup>er</sup>, in-8.
- SEGUIN aîné. Mémoire sur un nouveau système de moteur fonctionnant toujours avec la même vapeur...; br. in-4.
- J. NOULET. Coquilles fossiles nouvelles des cours d'eau douce du S.-O. de la France; br. in-8.
- CHACORNAC. Atlas éclipique; cartes 1 à 22, 26, 27 et 61.
- FLOURENS. Eloges historiques; 2<sup>e</sup> volume, 1 vol. in-12.
- PAYEN. Traité d'organogénie végétale comparée; liv. 15 et 16.
- DUMONCEL. Exposé des applications de l'électricité; tome III, applications mécanique, physique et physiologique; in-8. — Paris, Victor Dalmont.
- E. BLAVIER. Cours théorique et pratique de télégraphie électrique; in-12.
- L. DUMAS. Etudes sur les inondations; 1 vol. in-8.

- La science du fontainier; in-8 avec pl. — Paris, Lacroix-Comon.
- BASSET. Traité complet d'alcoolisation; 2<sup>e</sup> édition augmentée, 1 vol. in-18. — Paris, Lacroix-Comon.
- BLOCK ET GUILLAUMIN. Annuaire de l'économie politique et de la statistique pour 1857; 1 vol. in-18. — Paris, Guillaumin.
- P. ROSSI. Mélanges d'économie politique, etc., recueillis par ses fils; 2 vol in-8. — Paris, Guillaumin.
- DE PUGNODE. Voyage en économiste en Italie; 1 vol. in-18. — Paris, Guillaumin.
- LEPLAY. Les ouvriers des deux mondes; tome I<sup>er</sup>, in-8. — Paris, Guillaumin.
- VILLIAUMÉ. Traité d'économie politique. — Paris, Guillaumin.
- Sir Charles LYELL. (Traduit par Hugard). Manuel de géologie élémentaire, 5<sup>e</sup> édition fortement augmentée; 2 vol. in-8. — Paris, Langlois et Leclerq.
- A. SCHYANOFF. Traité sur la métaphysique des forces inhérentes à l'examen de la matière; un mémoire in-4. — Kiew.
- PIOBERT, COMBES et COUCHE. Rapport à Son Excellence le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur le frein automoteur de M. Guérin; in-8. — Paris, V<sup>e</sup> Dalmont.
- MARCOU (Jules). Lettres sur les roches du Jura et leur distribution géographique dans les deux hémisphères; in-8 avec des tableaux et une carte du globe terrestre à l'époque jurassique. — Paris, Klingsieck.
- E. LAMÉ-FLEURY. De la législation minérale sous l'ancienne monarchie, ou recueil méthodique et chronologique des lettres patentes, édits, ordonnances, déclarations, arrêts du conseil d'Etat du roi, du parlement et de la cour des monnaies de Paris, etc., concernant la législation minérale; publié sur les manuscrits originaux, annoté et mis en ordre, in-8 de 16 feuilles. — Paris, A. Durand.
- *Recueil méthodique et chronologique* des lois, décrets, ordonnances, arrêtés, circulaires, etc., concernant le service des ingénieurs au corps impérial des mines, publié par ordre du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics; 1<sup>er</sup> volume, in-8 de 58 feuilles. — Imp. impériale.
- *Texte annoté de la loi du 21 avril 1810*, concernant les mines, les minières, les tourbières, les carrières et les usines minéralurgiques; in-8 de 13 feuilles. — Paris, A. Durand.

## ANGLETERRE. — ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

- ADAMS (E.). *Notes on the geology...* Notes sur la géologie, la minéralogie et les sources d'Angleterre et du Pays de Galles; in-8. — Londres.
- MAURY (F.). *Physical geography...* Géographie physique de la mer; in-8 avec 8 cartes. — New-York.
- MILLER (H.). *The testimony...* Le témoignage des roches ou la géologie dans ses rapports avec leur théologie naturelle et révélée; in-8. — Édimbourg.
- FAIRBAIRN (W.). *Useful information for engineers.* Renseignements pratiques à l'usage des ingénieurs; in-8. — Londres.
- BAYLEE. *Genesis and...* Le génie de la géologie; 1 vol. in-12.
- S. SMILES. *The life of...* Vie de Georges Stephenson; in-8.
- SIDNEY BOUCHER. *Mensuration plex...* Géométrie, dessin de trois dimensions; 1 vol. in-12.
- RUSSEL. *North America...* L'Amérique du Nord, son climat, son agriculture, etc.
- H. BARTH. *Travel and...* Voyage et découverte dans l'Afrique du Nord et centrale (journal de l'expédition envoyée sous les auspices du gouvernement); t. IV et V, complétant l'ouvrage.
- G. M'DOUGALL. *The eventful...* Voyage des navires la *Résolue*, l'*Érèbe* et la *Terrible*; in-8.
- W. HUMBER. *Practical treatise...* Traité pratique des ponts en fonte et en fer; livraisons 1 à 8, in-folio avec pl. — Londres.
- HASKOLL. *Railway...* Construction de chemins de fer; 2 vol. avec dessins et planches. — Londres.
- A. WELLS. *Annual of...* Annuaire des découvertes scientifiques, pour l'année 1857; in-8. — Boston.
- MARGOU (Jules). *Geology of north America...* Géologie de l'Amérique septentrionale, contenant l'histoire des progrès et des découvertes faites en géologie en Amérique. — La description géologique de l'Amérique du Nord. — Deux rapports géologiques adressés au gouvernement des États-Unis sur les États Arkansas, Texas, Nouveau-Mexique et Californie, qui donnent les résultats de la première exploration géologique faite dans les montagnes Rocheuses, la Sierra-Madre et la Sierra de San Francisco. — Rapport sur les gîtes aurifères de la Sierra-Nevada. — Carte géologique des États-Unis et des colonies anglaises. — 3 planches de fossiles; in-4. — Paris, Klincksieck.

## ALLEMAGNE.

- A. DITTMANN. *Die erde.* La terre considérée comme corps céleste; in-8. — Kiel.
- Jahresbericht über die Fortschritte...* Compte rendu annuel sur les progrès de la chimie, de la physique, de la minéralogie et de la géologie, publié par MM. JUSTUS LIEBIG et HERMANN KOPP, avec la collaboration de MM. Buff, F. Knapp, H. Will et F. Zamminer; 1<sup>er</sup> volume pour 1856. — Giessen, librairie Ricker.
- ABHANDLUNGEN... Mémoires de la société de zoologie et de minéralogie de Ratisbonne; in-8 et 4 pl. in-4. — Ratisbonne.
- SCHMIDT. *Flora von...* Flore de Heidelberg, planérogames; in-12. — Heidelberg.
- VERHANDLUNGEN... Transactions de la Société impériale de minéralogie de Saint-Petersbourg; in-8. — Saint-Petersbourg.
- BECKER. *Handbuch...* Manuel de la science de l'ingénieur; 2<sup>e</sup> éd. grand in-8 et atlas in-folio. — Stuttgart.
- REDTENBACHER *die Bewegunys...* Description d'une partie des modèles de machines de la collection de Carlsruhe; in-folio. — Mannheim.
- W. STIEN. Recherches chimiques et technologiques sur les houilles de la Saxe; in-4. — Leipzig.
- L. VINCENT. *Die drainage...* Le drainage, sa théorie et sa pratique; 2<sup>e</sup> édit., in-8. — Leipzig.
- C. ETZEL. *Brücker and...* Ponts et viaducs des chemins de fer suisses; atlas lith. in-folio. — Bâle.
- C. NOBACK. *Bericht...* Rapport sur l'exposition universelle de Paris. Cahiers in-4, in-8 avec figures dans le texte. — Vienne.
- SCHLEFFER. *Theorie der Gewölbe...* Théorie des voûtes, des murs de soutènement et des ponts métalliques; in-8. — Brunswick.
- J. W. BRÜCKE. *Abgüsse...* Modèle en plâtre de 118 cristaux de feldspaths, simples ou maclés, qui en partie n'ont pas encore été décrits. — Berlin, Luisenstrasse.
- B. COTTA. *Gangstudier oder Beiträge zur kenntnis...* Études sur les filons; 5<sup>e</sup> vol., 1<sup>re</sup> éd. avec pl. et fig. dans le texte.
- B. COTTA. *Die Lehre von der Flötzformationen...* L'étude des terrains stratifiés. — Freiberg, 1856; imprimerie Engelhardt.
- G. A. MANTELL. *Anleitung zum studium...* L'étude des fossiles considérée comme la base de la géologie ou les médailles de

la création; traduction allemande et à prix réduit du docteur Carl Hartmann.

- A. GURLT. *Die Roheisenerzeugung...* La fabrication de la fonte au gaz; in-8 avec planches. — Freiberg.
- A. GURLT. *Uebersicht der pyrogenen Kunstlichen Mineralien.* Revue des minéraux d'origine ignée qui ont été formés artificiellement et surtout des produits d'usine. — Freiberg, Engelhardt.
- G. E. OTTO. *Studien ans dem...* Études sur la législation des mines; in-8. — Freiberg, Engelhardt.
- BIBLIOTHECA RERUM METALLICARUM. Bibliothèque métallurgique indiquant tout ce qui a été publié sur l'art des mines, les forges et les salines; 2<sup>e</sup> édition, in-12. — Eisleben.
- F. HEINEN. *Ueber einige...* Sur quelques appareils de rotation et notamment sur celui de Fessel; in-8. — Brunswick.
- C. PIESCHEL. *Die vulcane...* Les volcans du Mexique; in-folio, 18 planches. — Berlin.
- H. WILL. Introduction à l'analyse chimique; 4<sup>e</sup> édition in-12. — Leipzick.
- Tables pour l'analyse qualitative; 4<sup>e</sup> édition in-12. — Leipzick.

## ITALIE.

- T. CATULLO. *Dei terreni...* Des terrains sédimentaires supérieurs des Alpes, de la Vénétie et des bryozaires, antozoaires et spongiaires fossiles qui s'y trouvent; in-4. — Padoue.
- P. SELIM... *Principii.* Principes élémentaires de chimie minérale; 2<sup>e</sup> édit., 1 vol. in-12. — Turin.

## ESPAGNE ET PORTUGAL.

- I. TUNON Y QUIROS. *Theoria...* Théorie sur la cause de la gravité, confirmée, etc.; in-12. — Grenade.
- G. COPELLO. *Nueva...* Nouvelle doctrine des rapports organiques; tome I, in-8. — Lima.

# ANNALES DES MINES.



## ÉTUDES

## SUR LES TORRENTS DES ALPES.

Par M. SCIPION GRAS, ingénieur en chef des mines.

Un cours d'eau torrentiel, quoique contenu par de hautes digues, peut déborder par l'effet de deux causes distinctes qui sont l'*affouillement* et l'*exhaussement*. Dans le premier cas les digues sont minées à leur base et emportées; il se forme une brèche par laquelle les eaux s'échappent. Dans le second cas le torrent ne touche pas à ses digues, mais il comble leur intérieur par un dépôt abondant de cailloux; les berges sont alors submergées parce qu'elles ne sont plus assez élevées pour contenir les eaux. Tantôt l'exhaussement du lit s'opère avec lenteur et l'on peut en suivre les progrès; tantôt il est très-rapide: il suffit de quelques crues ou même d'une seule pour que l'encaissement du torrent soit détruit. On peut toujours empêcher l'affouillement des digues en les établissant sur des fondations solides et très-profondes, ou en protégeant leur pied par des enrochements nombreux et d'un gros volume; si en outre on leur donne une hauteur supérieure à celle des plus fortes crues, on n'a plus rien à craindre. Il est vrai que l'on doit tenir compte des dépenses et que dans

Considérations  
préliminaires.

beaucoup de circonstances c'est un obstacle à l'exécution des travaux, mais la question de se garantir par des moyens sûrs n'en est pas moins résolue au point de vue de l'art. Il n'en est pas de même en ce qui concerne l'exhaussement; ici la science de l'ingénieur est en défaut. Le plus souvent on n'entreprend rien contre les torrents qui combent leur lit, ou, si l'on essaye de se défendre, on ne recueille ordinairement que des mécomptes. Pour cette raison, dans les pays comme les Alpes, où la cause principale des ravages torrentiels réside dans le dépôt des matières charriées, le mal a pu s'étendre librement au point de changer certains cantons en un désert. Ce fait affligeant a été mis en évidence, il y a quelques années, par M. Surell, dans un ouvrage (1) dont le mérite a été justement apprécié. Cet ingénieur distingué a prouvé en même temps que pour mettre un terme à l'envahissement des torrents il fallait transporter les travaux de défense dans la partie supérieure de leur cours et s'opposer à la descente de ces grandes masses de cailloux qui ensevelissent peu à peu la meilleure partie des vallées, et pour y parvenir, il a proposé de reboiser les montagnes. Malheureusement ce moyen, séduisant en théorie, offre dans la pratique des difficultés très-sérieuses dont nous parlerons dans la suite. Ces difficultés paraissent avoir arrêté l'administration lorsqu'elle a cherché à appliquer le remède indiqué. Aujourd'hui les projets de boisement du sol, après avoir passionné pendant quelque temps l'opinion publique, sont tombés dans un oubli presque complet. La question de trouver des moyens peu coûteux, efficaces et d'une exécution facile, pour empêcher l'exhaussement du lit

(1) *Études sur les torrents des Hautes-Alpes*. Imprimerie royale, 1841.

des cours d'eau torrentiels et prévenir les débordements qui en sont la conséquence, subsiste donc encore dans toute son intégrité. Les études que nous poursuivons depuis plusieurs années ont eu pour but spécial la solution de cette question, sur l'importance de laquelle nous n'avons pas besoin d'insister.

Les résultats de nos recherches ont déjà été publiés en partie; le reste est éparé dans nos notes ou consigné dans des rapports adressés successivement à l'administration. Le mémoire actuel a pour objet de résumer ces divers matériaux et de les coordonner entre eux. Nous commencerons d'abord par décrire les torrents sous le rapport physique et entrer dans quelques détails sur leur régime, les effets de leurs crues, l'origine et le transport de leurs cailloux. Ces notions sont nécessaires pour que l'on puisse bien saisir la théorie des moyens à employer pour combattre l'exhaussement, source des ravages. L'exposé de ces moyens, tels que nous les avons déduits de nos observations, formera la seconde partie de notre travail.

#### I. — CARACTÈRES PHYSIQUES ET HYDRAULIQUES DES TORRENTS.

On peut définir un torrent : *un cours d'eau dont les crues sont subites et violentes, les pentes considérables et irrégulières, et qui le plus souvent exhausse certaines parties de son lit par suite du dépôt des matières charriées; ce qui fait divaguer les eaux au moment des crues.* Cette définition est un peu longue, mais elle a l'avantage de résumer toutes les propriétés caractéristiques des torrents.

Définition  
d'un torrent;  
ses diverses  
parties.

Le cours d'un torrent se compose en général de quatre parties différentes que nous nommerons : *bassin de réception, canal de réception, lit de déjection et lit*

*d'écoulement* (1). Il est nécessaire de donner une définition précise de ces expressions, qui seront souvent employées dans la suite.

Le *bassin de réception* comprend la surface entière du sol d'où proviennent les eaux et les débris de rocher que roule le torrent. C'est par conséquent dans cette région qu'il prend sa source.

Le *canal de réception* est le canal plus ou moins ramifié qui reçoit et conduit les eaux ainsi que les débris de rocher fournis par le bassin de réception, ou, pour parler plus brièvement, c'est le lit du torrent avant le dépôt des matières charriées.

Le *lit de déjection* est la partie du cours du torrent qui s'exhausse sans cesse par le dépôt de ses matières de transport, ce dépôt étant dû à une cause permanente de diminution dans la puissance d'entraînement des eaux.

Le *lit d'écoulement* est la région comprise entre l'extrémité inférieure du lit de déjection et la rivière où vont se perdre les eaux torrentielles; ou, en d'autres termes, c'est le lit du torrent après le dépôt d'une partie des matières charriées provenant du bassin de réception (2).

Quand le lit de déjection manque, le lit d'écoulement se confond avec le canal de réception dont il n'est plus

(1) M. Surell, dans son ouvrage, n'a distingué que les trois premières régions. Nous y avons ajouté la quatrième qui existe bien réellement, et dont il est important de tenir compte dans une théorie générale des torrents.

(2) Ces diverses régions sont quelquefois multiples. Ainsi, les rivières torrentielles dont le cours est très-étendu et qui reçoivent des affluents depuis leur naissance jusqu'à leur embouchure, peuvent avoir plusieurs lits de déjection distincts, et par suite plusieurs lits d'écoulement, placés à la suite les uns des autres.

que le prolongement. Quand le lit de déjection existe, le lit d'écoulement peut manquer complètement à son tour; c'est même ce qui arrive ordinairement, quand la vallée est très-étroite. Il résulte de là que les deux seules parties essentielles d'un torrent sans lesquelles on ne peut même le concevoir, sont le bassin de réception et le canal de réception.

Quand on suit un canal de réception dans toute son étendue, on observe presque toujours que dans sa partie supérieure, il se divise en plusieurs branches qui correspondent chacune à autant de petits bassins distincts les uns des autres que nous nommerons *bassins partiels de réception*. Leur ensemble compose le bassin de réception général.

Pour plus de clarté nous avons représenté *fig. 1*, Pl. 1, les diverses parties d'un torrent complet: MN est la rivière dans laquelle se jette le torrent; *ki*, le lit d'écoulement; *ih*, le lit de déjection; *hgfe*, le canal de réception principal servant de tronc à diverses ramifications, *ga*, *fb*, *ec*, *ed*. Ces ramifications correspondent à autant de bassins de réception partiels, dont l'ensemble forme le bassin de réception général A, B, C, D.

Après cette indication sommaire des diverses parties du cours d'un torrent, nous allons examiner plus particulièrement chacune d'elles et en faire connaître les principaux caractères.

Les bassins de réception présentent une grande variété sous le rapport de la forme et de l'étendue. Tous néanmoins peuvent être rapportés à quatre types principaux que nous décrirons d'une manière succincte.

Les bassins appartenant au premier type ne consistent qu'en un rocher escarpé, à surface irrégulièrement creusée par les agents atmosphériques, dont la hauteur est quelquefois de plusieurs centaines de mètres

et dont l'inclinaison moyenne peut atteindre jusqu'à 60 ou 70 degrés. Ces rochers n'occupant en projection horizontale qu'un petit espace ne peuvent recevoir beaucoup de pluie. Cependant ils donnent presque toujours naissance à des torrents dangereux, à cause de la rapidité extrême avec laquelle les filets d'eau se réunissent et parviennent à la base de l'escarpement. En outre leurs parois étant presque verticales et entièrement dénudées, éprouvent des dégradations incessantes. Il en résulte de grands amas de débris, dont le transport jusqu'au fond des vallées est la cause principale des ravages torrentiels. Le rocher à pic A B, *fig. 2*, que nous supposons formé d'une puissante assise calcaire reposant sur des couches marneuses, est un bassin de cette espèce. Le canal de réception commence à être distinct au point B, où viennent aboutir les sillons plus ou moins profonds qu'offre la surface du rocher situé au-dessus.

Les bassins qui se rapportent au deuxième type ne comprennent pas, comme les précédents, de grands rochers coupés à pic. Ils sont creusés sur le flanc des montagnes dans le sein de matières faciles à désagrégier, telles par exemple que le schiste argilo-calcaire, dont il existe de puissantes masses dans les Alpes. Les bassins de cette classe offrent souvent la forme d'un entonnoir ou d'un cône renversé presque complet dont le sommet aboutit à quelque assise de rocher plus dure que les autres, à travers laquelle les eaux se sont frayé un étroit passage. La *fig. 3* représente un de ces entonnoirs en projection horizontale; S en est le sommet et A, B, C, D, E, le contour. Lorsque les bassins de cette espèce ne sont pas boisés à leur intérieur, ils tendent sans cesse à s'agrandir par l'éboulement de leurs parois.

Les bassins du troisième type participent aux caractères des deux précédents, ou plutôt ils sont formés de leur réunion. Ils se composent de rochers nus, escarpés, à la base desquels se trouve un terrain friable où les eaux ont pu creuser une profonde excavation conoïde plus ou moins accidentée. La partie nue et coupée à pic, fournit ordinairement beaucoup de débris qui s'accumulent dans l'excavation inférieure; celle-ci reçoit en temps d'orage une quantité considérable d'eau pluviale, et la concentre avec rapidité. Toutes les conditions nécessaires pour qu'une grande masse de cailloux soit transportée au loin, sont donc réunies. Aussi les torrents qui ont leur source dans de pareils bassins sont-ils en général très-dangereux. Nous avons représenté *fig. 4 et 5*, le plan et la coupe de l'un de ces torrents nommé le *Bresson*, qui ravage le flanc droit de la vallée de l'Isère au-dessus de Grenoble.

Nous rapportons à un quatrième type les bassins formés par une haute vallée, ayant quelquefois plusieurs kilomètres de longueur, qui part soit d'un col, soit du pied d'un rocher inaccessible, et qui reçoit à droite et à gauche les eaux et les déjections de plusieurs torrents secondaires. Ceux-ci ont chacun des bassins distincts appartenant à l'un des trois types ci-dessus décrits. Ils sont reliés entre eux par le tronc commun d'un canal de réception qui occupe le fond de la haute vallée et qui envoie des ramifications de côté et d'autre. Les bassins de cette classe sont évidemment complexes; ils embrassent ordinairement de vastes superficies et alimentent alors des cours d'eau torrentiels d'un volume considérable.

Le canal de réception d'un torrent pénètre nécessairement dans le bassin qui l'alimente; il s'y ramifie en un grand nombre de petits ravins secondaires et s'y

épanouit en quelque sorte, ce qui établit entre eux une liaison aussi intime que celle qui existe entre une feuille et ses nervures.

Les ramifications supérieures sont peu profondes; elles remontent jusqu'au sommet des escarpements en présentant des inclinaisons telles qu'on ne peut les gravir. Elles ne sont presque jamais encombrées de cailloux, la pente étant trop forte pour que ceux-ci puissent s'y arrêter. Le tronc auquel viennent aboutir ces ramifications est comparativement beaucoup moins incliné; il est ordinairement encaissé entre des berges abruptes dont la hauteur augmente à mesure que l'on descend. On y observe toujours des amas plus ou moins considérables de débris de rocher de diverses grosseurs qui proviennent soit des ramifications supérieures, soit directement des berges escarpées entre lesquelles il est compris. Ces débris, que le temps détache sans cesse, s'accumulent peu à peu. Les plus gros offrant une résistance que les courants d'eau pluviale ne peuvent vaincre, restent en place. Les autres sont disséminés dans toute l'étendue du canal de réception, jusqu'à ce que, par l'effet d'une crue extraordinaire, ils soient transportés en masse et presque d'un seul bond dans l'intérieur des plaines.

La longueur du tronc d'un canal de réception mesurée jusqu'au point où le dépôt des déjections commence est très-variable. Elle peut être de plusieurs lieues lorsque le bassin appartient au quatrième type. Nous citerons comme exemples les gorges longues et sinueuses par lesquelles on est souvent obligé de passer lorsqu'on pénètre dans l'intérieur d'une chaîne de montagnes. D'autres fois le canal n'a qu'un tronc très-court qui, dans certains cas, peut même se réduire à un point, ainsi qu'on le voit dans quelques

bassins ayant les caractères du premier ou du second type.

Le lit de déjection comprend, comme on l'a dit plus haut, l'espace où les matières de transport venant du bassin de réception se déposent en quantité plus ou moins grande. Son emplacement le plus ordinaire est à l'issue de la gorge par laquelle le torrent débouche dans la plaine, parce qu'en cet endroit les eaux ne sont plus encaissées et que la pente du sol devient moindre. En s'accumulant sans cesse, les matières déposées donnent lieu à un amas d'une forme caractéristique. C'est un cône très-aplati dont le sommet est à l'entrée de la gorge, et qui à partir de là s'étale dans un espace demi-circulaire. Ses arêtes, bien dressées, ont une pente qui dépasse rarement 7 à 8 centimètres par mètre et qui diminue de plus en plus en descendant, de manière à se raccorder avec la plaine. Elles sont par conséquent légèrement concaves vers le ciel. Les déjections, ainsi entassées, offrent un mélange confus de cailloux et de blocs de toutes grosseurs, les uns anguleux et les autres arrondis, souvent cimentés par une boue argileuse. Leur surface est complètement stérile; leur aspect est celui d'un monceau de ruines. Le torrent, quand il est tranquille, coule ordinairement sur leur arête culminante. Cela résulte de ce qu'en sortant de la gorge, il est précisément dirigé suivant cette arête, où il se creuse peu à peu un sillon assez profond pour qu'il puisse s'y maintenir. De cette position élevée, il menace à droite et à gauche les terres cultivées situées dans le voisinage, et presque toujours il les atteint lorsqu'une forte crue amène un débordement.

L'aplatissement plus ou moins grand d'un cône de déjection, ou, en d'autres termes, l'ouverture de l'angle que son axe fait avec les arêtes dépend de la

Lits  
de déjection.

configuration physique du lit du torrent, de la grosseur et surtout de la proportion des matières charriées relativement à l'eau. Lorsque les matières sont nombreuses, d'un volume considérable et qu'elles sortent d'une gorge resserrée, à l'issue de laquelle il y a une variation brusque de pente, le cône est très-aigu. Si, au contraire, la pente n'est pas brisée, si les détritiques sont en petite quantité relativement au volume de l'eau et s'ils sont composés principalement de sable et de menu gravier, leur dépôt s'effectue dans un rayon très-étendu ; le cône est alors très-peu saillant. Son degré d'ouverture est en quelque sorte une mesure mathématique de l'influence de ces diverses circonstances.

Dans les grands cours d'eau torrentiels, où toutes les conditions favorables à une vaste dispersion des matières charriées sont réunies, les lits de déjection atteignent la dernière limite de l'aplatissement, c'est-à-dire que leur surface est sensiblement plane. Ce sont des nappes caillouteuses plus ou moins étendues, dans le sein desquelles les eaux se creusent un ou plusieurs lits essentiellement variables d'une crue à l'autre.

Les lits de déjection ne sont pas toujours situés dans le fond des vallées. Quelquefois ils s'étalent sur le flanc des côteaux, un peu au-dessous des rochers escarpés qui constituent les bassins de réception. Dans ce cas, leur forme conique est oblitérée, parce que le dépôt s'allonge beaucoup dans le sens de l'inclinaison du sol. Leur aspect est celui d'une coulée de lave caillouteuse dont la surface est fortement bombée, le lit habituel du torrent se maintenant toujours sur l'arête culminante.

L'étendue d'un lit de déjection n'est nullement proportionnelle au volume ordinaire d'un torrent. Elle dépend de l'intensité moyenne des grandes crues et sur-

tout de la quantité de cailloux qui est alors charriée. Il n'est pas rare de rencontrer dans les Alpes des lits de déjection qui ont plus de 1 kilomètre de rayon et qui sont presque complètement à sec pendant la plus grande partie de l'année. On a alors de la peine à comprendre comment le maigre filet d'eau qui les traverse et qui se perd dans le sein des graviers peut devenir la cause d'une aussi grande dévastation.

Ordinairement il n'y a pas une séparation bien nette sous le rapport des dépôts entre un lit de déjection et la partie du canal de réception la plus voisine. Celle-ci est souvent encombrée d'une grande quantité de cailloux qui peuvent même remonter très-haut. On conçoit, en effet, que les matières que roule un torrent doivent s'arrêter à des distances très-diverses de leur point de départ suivant leur masse et le volume d'eau qui leur sert de véhicule. Les grandes crues les poussent jusqu'au lit de déjection, tandis que les médiocres les disséminent dans l'intérieur du canal de réception.

Lorsqu'on examine avec soin les torrents des Alpes, on observe qu'en général ils ne déposent des cailloux que sur une partie assez restreinte de la protubérance conoïde qui constitue leur lit de déjection ; le reste du terrain est cultivé et même couvert d'habitations. Pour plusieurs torrents, le dépôt a même complètement cessé depuis une époque inconnue, et les eaux se sont encaissées profondément dans le sein des débris caillouteux qu'ils ont autrefois accumulés. La forme caractéristique de ces anciens lits de déjection les fait facilement reconnaître ; ils étonnent par leurs vastes dimensions. On doit conclure de là qu'à une certaine époque les cours d'eau torrentiels des Alpes charriaient une plus grande quantité de cailloux que de nos jours et les dispersaient dans un rayon plus étendu. Nous ne faisons

qu'indiquer ici ce fait remarquable qui nous a paru intimement lié aux derniers phénomènes géologiques, et nous renvoyons pour plus de détails à un mémoire que nous avons publié précédemment sur ce sujet (1).

Lits  
d'écoulement.

Lorsqu'un torrent, après être sorti du sein des montagnes, a devant lui une plaine étendue à traverser, il arrive toujours qu'après s'être débarrassé dans son lit de déjection de ses matières de transport en excès, il s'encaisse de lui-même et coule tranquillement jusqu'à la rivière, où vont se perdre ses eaux. C'est cette dernière partie de son cours que nous avons nommé *lit d'écoulement*. Elle contraste beaucoup avec la précédente. Dans son lit d'écoulement, le torrent est devenu un ruisseau inoffensif, bordé d'arbres et servant de limite à des terres fertiles; son aspect est si différent que souvent il change de nom. Lorsqu'il grossit, il roule encore une certaine quantité de sable et de gravier; mais ces matières étant en rapport avec le volume et la vitesse de l'eau sont charriées jusqu'à la rivière; il n'y a jamais encombrement.

Il est à remarquer que les matières de transport les moins volumineuses, en se prolongeant du lit de déjection dans le lit d'écoulement, établissent de l'un à l'autre une transition insensible comme celle que nous avons indiquée entre le lit de déjection et le canal de réception qui y aboutit.

Les torrents situés dans les pays de montagnes, à vallées étroites et profondes, n'ont presque jamais de lits d'écoulement. Ainsi il est rare d'en rencontrer dans le département des Hautes-Alpes ou dans celui des Basses-Alpes. Il en existe dans la vallée de l'Isère, principalement en amont de Grenoble.

(1) Voyer *Annales des mines*, 4<sup>e</sup> série, tome XIV, page 5.

Classification  
des torrents.

Les torrents considérés dans leur ensemble forment deux groupes principaux : l'un comprend les torrents qui n'ont pas de lit de déjection, et l'autre ceux qui en ont un. Cette division est très-importante au point de vue de la défense. En effet, ainsi que nous l'avons dit en commençant, l'art possède des moyens sûrs pour prévenir les débordements des premiers torrents, tandis que ces moyens ont manqué jusqu'à présent pour les seconds.

Les torrents à lits de déjection, les seuls dont nous aurons à nous occuper dans ce mémoire, sont extrêmement variés sous le rapport de leur régime habituel, du volume de leurs eaux, de l'étendue et de la configuration physique de leur cours. Malgré les transitions ménagées qui les lient les uns aux autres, on peut les rapporter assez bien à trois classes distinctes.

Les torrents de la première classe ont pour bassin de réception le revers abrupt d'un rocher nu dont la surface en projection horizontale n'est souvent que de quelques hectares. Leur canal de réception est un ravin très-incliné, dont la pente peut atteindre jusqu'à 20 ou 25 degrés. Leurs déjections ne descendent pas toujours jusqu'au fond des vallées : elles s'arrêtent souvent sur le flanc des côteaux où elles forment de longues coulées. Une pluie forte, même de longue durée, ne suffit pas pour les faire déborder; il faut une averse épaisse et subite, de la nature de celles que l'on nomme pluies d'orage. Excepté lorsqu'il pleut beaucoup, leur lit est constamment à sec. Les torrents de cette espèce, que nous appellerons *petits torrents*, sont nombreux dans les Alpes; si leurs ravages ne s'étendent pas au loin, ils sont très-nuisibles par leur multiplicité.

Les torrents de la seconde classe sont caractérisés par

un lit de déjection de forme conique situé dans les vallées. Leur bassin de réception appartient ordinairement au deuxième ou au troisième type, et embrasse une superficie de plusieurs centaines d'hectares. Leur canal de réception est une gorge plus ou moins longue dont la pente moyenne peut atteindre 10 à 12 centimètres par mètre. En été, leur lit est habituellement à sec ou ne renferme qu'un petit filet d'eau qui devient plus volumineux à l'époque où les sources sont abondantes. Ces torrents ne grossissent beaucoup qu'à la suite d'une forte pluie qui doit être d'autant plus prolongée que le bassin de réception est plus étendu. Une pluie ordinaire, quelle que soit sa durée, a peu d'influence sur eux. Il en est de même d'une averse très-forte, mais très-courte. Nous les désignerons par le nom de *torrents moyens* : ce sont les torrents alpins proprement dits, ceux qui frappent le plus les voyageurs par l'étendue de leurs dévastations.

La troisième classe est celle des *grands torrents* qui ont habituellement un volume d'eau considérable. Leur bassin de réception appartient toujours au quatrième type, et peut embrasser une superficie de plusieurs milliers d'hectares. Leur canal de réception a une longueur considérable et une pente qui dépasse rarement 3 à 4 centimètres. Ces torrents sont encaissés dans toute l'étendue de leur cours, ce qui ne les empêche pas d'avoir un lit de déjection et quelquefois plusieurs. Tantôt le dépôt se fait dans l'intérieur des digues, ce qui est une source constante de dangers et de dépenses; tantôt dans des espaces non endigués, plus ou moins vastes. Souvent c'est toute une vallée qui sert de réceptacle aux déjections; alors un terrain précieux pour l'agriculture est entièrement perdu. Lorsque des torrents de cette espèce ont un bassin de réception au-dessus d'un

myriamètre carré de surface, ils prennent le nom de rivières torrentielles.

On voit que cette classification des torrents est fondée principalement sur l'étendue et la configuration physique de leur bassin de réception; de là, en effet, dérivent tous leurs caractères.

Avant de parler de l'origine et du transport des cailloux que roulent les cours d'eau torrentiels, il est nécessaire d'exposer les lois qui président à leur entraînement.

Un corps en repos, plongé dans un liquide en mouvement, éprouve une impulsion résultant du choc de la veine fluide dont il intercepte le passage. Cette impulsion croît comme le carré de la vitesse dont le fluide est animé; elle est simplement proportionnelle à la densité de ce fluide et à l'étendue de la surface qui reçoit le choc. Le transport des cailloux roulés au sein des eaux est dû à une action de cette nature. C'est en vertu de la même cause qu'une rivière tend à attaquer les aspérités de son lit et qu'elle le dégrade quand la résistance est moindre que l'action érosive.

Un caillou placé au fond d'un cours d'eau ne peut être entraîné qu'autant qu'il est soumis à une force capable de vaincre la résistance qu'il offre au déplacement. Il faut donc que la vitesse du filet liquide qui le rencontre soit supérieure à une certaine vitesse minimum, juste suffisante pour produire une force d'impulsion égale à cette résistance. Cette vitesse minimum que nous nommerons *vitesse limite* d'entraînement varie dans chaque cas particulier. Elle croît avec le volume et la densité du caillou. Elle dépend aussi de sa forme: ainsi elle est plus grande pour un caillou aplati reposant sur sa face la plus large que pour celui dont la figure est à peu près sphérique.

Si le volume, la densité et la forme d'un caillou sont donnés, la vitesse limite qui doit être dépassée par l'eau pour son entraînement est d'autant moindre que le liquide est plus dense et plus profond. L'influence de la densité est évidente. Quant à celle de la profondeur, elle a besoin d'une courte explication. Un filet d'eau placé à une certaine profondeur n'est pas complètement indépendant de ceux qui coulent au-dessus dans la même verticale; ces derniers se mouvant avec plus de vitesse exercent sur lui un certain frottement. Il résulte de cette liaison que le filet inférieur, lorsqu'il rencontre un caillou, agit sur lui non-seulement par la vitesse et la masse qui lui sont propres, mais aussi par une portion de celles des filets liquides situés au-dessus. En d'autres termes, sa quantité de mouvement est plus grande que s'il était isolé, et par conséquent il en est de même de sa force d'impulsion. Cela est complètement confirmé par l'expérience; on voit souvent dans le lit d'une rivière torrentielle, lorsque les eaux sont basses, une couche d'eau très-mince courir à la surface des graviers sans pouvoir en déplacer un seul, tandis que le courant principal doué d'une vitesse moindre, mais plus profond, peut rouler des galets.

Supposons qu'un liquide soit animé d'une certaine vitesse plus grande que la vitesse limite d'entraînement d'un caillou plongé dans son sein, celui-ci sera mis en mouvement. Pendant les premiers instants, sa vitesse sera accélérée; mais la résistance allant en augmentant et la force d'impulsion diminuant au contraire en même temps que la vitesse relative du liquide, il arrivera bientôt un moment où il y aura équilibre. Le mouvement du caillou deviendra alors sensiblement uniforme. Il est évident d'ailleurs que ce mouvement sera d'autant plus rapide que l'excès de la vitesse du fluide sur

la vitesse limite d'entraînement sera plus considérable. On doit en conclure que si des matières de grosseur et de pesanteur spécifique différentes sont emportées par un même courant, leurs vitesses ne seront point égales. Les plus volumineuses et les plus denses se mouvront avec plus de lenteur que les autres. Cela suppose cependant que ces matières sont assez espacées pour ne pas se gêner en se rencontrant. Si elles étaient très-nombreuses, de manière à se toucher, leur vitesse tendrait, par l'effet de leur action réciproque, à devenir à peu près la même, et se rapprocherait de la vitesse moyenne qu'aurait la masse entière si ses diverses parties étaient invariablement liées entre elles. Nous verrons plus tard que dans certains cas les choses se passent ainsi dans la nature.

Un filet d'eau ne peut pousser un caillou qui se trouve sur son passage qu'en lui cédant une certaine quantité de mouvement, et en perdant, par conséquent, de sa vitesse. Plus les cailloux seront nombreux, plus la zone fluide qui les entraîne éprouvera de ralentissement. Si l'on pouvait en un instant donné supprimer toutes les matières que charrie un torrent, nul doute que sa vitesse, surtout au fond, ne s'accrût immédiatement d'une manière notable.

Considérons un cours d'eau exempt de matières étrangères, ayant un régime constant et animé d'une certaine vitesse  $V$ ; imaginons que sur un point de ce cours d'eau, on verse d'une manière continue et en proportion toujours croissante des galets différents de forme, de volume et de densité, et répartis uniformément dans toute la largeur du lit. En admettant qu'après l'addition des matières la vitesse  $V$  de l'eau reste au fond plus grande que la *vitesse limite* d'entraînement  $v$  correspondante à celui des cailloux qui offre le plus de résistance,

il est clair que ceux-ci seront tous transportés. Mais comme ils sont supposés versés non-seulement d'une manière continue, mais en proportion croissante, et que d'un autre côté la vitesse de la tranche d'eau où le transport s'effectue diminue en même temps que la proportion des galets charriés augmente, il arrivera nécessairement un moment où la vitesse  $V$  sera tellement près de devenir égale à  $v$  que la moindre addition de matières fera disparaître la différence. Dès cet instant, le maximum des cailloux susceptibles d'être entraînés sera atteint et le cours d'eau sera réellement saturé de matières de transport. En effet, toute nouvelle addition de gravier ayant pour résultat de rendre la vitesse  $V$  égale ou inférieure à  $v$ , celui des galets dont l'équilibre au sein de l'eau correspond à cette vitesse limite s'arrêtera. Si l'on continuait à ajouter de la matière, les autres galets se déposeraient aussi successivement dans l'ordre de leur plus grande résistance.

Ainsi, pour un cours d'eau, la saturation de matières de transport peut être définie un état tel, que la moindre quantité de matière ajoutée à celle qui est déjà charriée détermine un dépôt.

Le poids total des matières que peut transporter un courant supposé à l'état de saturation mesure ce que nous appellerons sa *puissance d'entraînement*.

Lorsque des matières de transport sont déterminées dans leur forme et leur volume, la puissance d'entraînement d'un cours d'eau, telle qu'on vient de la définir, est en raison directe de la *vitesse* du liquide, de sa *densité* et de sa *profondeur*. C'est une conséquence de ce qui a été dit plus haut de la vitesse limite et de ce qui la fait varier. L'art est impuissant pour changer la densité des eaux courantes; mais on peut, en les concentrant, augmenter leur vitesse et leur profondeur, et

par suite leur puissance d'entraînement. Il est clair que si, au lieu de les réunir, on les divise, on aura des effets diamétralement opposés. Il est essentiel de remarquer que l'augmentation de la force d'un courant par la concentration ne peut avoir lieu que dans une certaine mesure, tandis que son affaiblissement par la dispersion est en quelque sorte indéfini, et n'a d'autre limite que celle de la dispersion elle-même.

Si l'on ne fait subir au lit d'un cours d'eau aucune modification, sa puissance d'entraînement ne peut varier qu'avec le *volume*, la *densité* et la *forme* des matières soumises à son action. Elle augmente ou diminue suivant que ces matières deviennent plus ou moins mobiles. En effet, le charroi d'une certaine masse de cailloux par un liquide est un véritable travail mécanique dont l'effet utile est d'autant plus considérable que la vitesse conservée par le moteur après l'action, ou la vitesse non utilisée, est moindre. Or la vitesse que conserve un cours d'eau saturé de gravier étant à peu près égale à la vitesse limite d'entraînement des cailloux qui offrent le plus de résistance, il est évident que cette vitesse sera d'autant plus petite que les cailloux seront plus faciles à transporter.

Nous avons dit en commençant que la même cause qui déterminait le transport des cailloux roulés faisait qu'une rivière avait de la tendance à attaquer les aspérités de son lit, et que celui-ci était dégradé toutes les fois que sa résistance était moindre que l'action érosive. Cette tendance à l'érosion n'est jamais nulle, puisque un cours d'eau est toujours animé d'une certaine vitesse. Toutefois, ses effets sont différents, suivant qu'il y a, ou non, saturation. Lorsqu'il y a saturation, l'assouillement ne peut avoir lieu sans qu'il y ait en même temps un dépôt, parce que les matières enlevées par l'érosion,

en se mêlant à celles qui sont déjà charriées, occasionnent une diminution générale dans la vitesse du liquide; ce qui oblige celui-ci à abandonner les cailloux qui résistent le plus à l'entraînement. Au premier abord, cette proposition paraît paradoxale; cependant le fait est rigoureusement exact et n'a rien qui implique contradiction, puisqu'il y a une simple substitution de matières facilement transportables à d'autres qui le sont moins. Lorsqu'il n'y a pas saturation, l'action érosive s'exerce évidemment avec plus d'énergie que dans le cas précédent, et alors elle ne détermine aucun dépôt. De plus, si le fond du lit est indéfiniment attaquable, il sera corrodé jusqu'à ce que le cours d'eau se soit complètement saturé par l'enlèvement successif d'une quantité suffisante de matières.

Si une rivière est à l'état de saturation, et si sa puissance d'entraînement vient à diminuer par une cause quelconque, il en résultera nécessairement le dépôt d'une partie des cailloux charriés en commençant par les plus gros et les plus denses. En effet, lorsque la puissance d'entraînement d'un cours d'eau saturé diminue, sa vitesse s'abaisse au-dessous de la vitesse limite correspondante aux cailloux dont le transport est le plus difficile; ceux-ci doivent donc s'arrêter.

Les principes qui précèdent sont résumés par les lois suivantes :

1° Si sur un point déterminé de son cours une rivière torrentielle charrie une quantité de cailloux moindre que celle qui correspond à sa puissance d'entraînement, et si le fond de son lit n'offre pas une résistance suffisante, il y aura *affouillement*. Le produit de l'érosion sera tel qu'ajouté aux matières déjà transportées, il complètera la charge de la rivière, si l'on peut parler ainsi, c'est-à-dire le maximum de cailloux qu'elle est

susceptible d'entraîner. Si les matières meubles qui constituent le lit sont de grosseur et de densité différentes, et également exposées à l'action de l'eau, celle-ci emmènera de préférence le sable et le menu gravier, et à leur défaut les galets, en commençant par les plus petits et les plus légers;

2° Si la puissance d'entraînement d'une rivière saturée de matières de transport vient à diminuer par une raison quelconque, il y aura un dépôt, et par suite *exhaussement* du lit, à l'endroit où la diminution aura lieu. Ce dépôt, quant à la grosseur et à la nature des matières, s'effectuera dans un ordre inverse de celui de l'érosion, c'est-à-dire que ce sont les cailloux les plus volumineux et les plus denses, et généralement ceux dont le transport est le plus difficile, qui se déposeront les premiers, jusqu'à ce que la somme des matières en mouvement ait été réduite dans le même rapport que la puissance d'entraînement;

3° Lorsqu'une rivière à l'état de saturation, et coulant sur un fond mobile, n'éprouve aucune modification dans sa puissance d'entraînement, il y aura en général *équilibre* ou *permanence* du lit. Il pourra bien arriver, si le fond est composé de graviers moins volumineux ou moins denses que les cailloux charriés, que ceux-ci soient déposés et remplacés par les graviers supposés plus légers; mais comme dans ce cas il y aura à peu près compensation entre le dépôt et l'affouillement, le lit n'en devra pas moins être considéré comme permanent.

Ces trois manières différentes dont un cours d'eau peut se comporter relativement à son fond mobile, savoir : *l'affouillement*, *l'exhaussement*, l'action nulle ou *l'équilibre*, ont lieu quelquefois *successivement* sur le même point à des époques différentes de la même crue,

ou bien *simultanément*, mais sur des points différents du lit. L'observation prouve qu'il en est ainsi pour la plupart des rivières torrentielles.

Théorie des lits  
de déjection  
et d'écoulement.

La formation des lits de déjection s'explique par les lois précédentes. Lorsqu'un torrent éprouve une crue considérable, il y a ordinairement une période de cette crue pendant laquelle les eaux sont saturées. Tant que dure cet état, il doit y avoir nécessairement un dépôt là où la puissance d'entraînement subit une réduction sensible. Or c'est ce qui a toujours lieu à l'endroit où un canal de réception débouche dans une vallée à cause de l'affaiblissement de la pente. Si le dépôt qui en est le résultat est abondant, le chenal dans lequel coulent les eaux est bientôt obstrué. Celles-ci débordent et se divisent. Par l'effet de leur dispersion, le torrent éprouve une nouvelle diminution dans sa force impulsive, qui est même plus considérable que celle due à l'affaiblissement de la pente; il est donc obligé d'abandonner presque toutes les matières transportées. Ainsi les causes qui réduisent la puissance d'entraînement d'un torrent dans son lit de déjection, sont au nombre de deux; elles sont distinctes l'une de l'autre, sans être cependant indépendantes. En général, la dispersion des eaux, qui de ces deux causes est celle qui provoque les dépôts avec le plus d'énergie, n'est qu'une conséquence de l'affaiblissement de la pente.

La théorie du lit d'écoulement se déduit aussi des lois exposées. Si un torrent, après le dépôt de ses déjections, s'encaisse de lui-même et n'exhausse plus son fond, cela tient à ce qu'il s'est débarrassé de ses matières de transport en excès, ou en d'autres termes, que la masse des cailloux qu'il charrie a été réduite dans la même proportion que la puissance d'entraînement. Il arrive cependant, en général, que la pente du lit d'écou-

lement est un peu plus faible que celle du lit de déjection; mais comme les eaux sont mieux encaissées dans le premier que dans le second, il en résulte une certaine augmentation de vitesse qui compense la perte due à l'amointrissement de la pente.

Nous ferons ici une remarque importante. On doit éviter avec soin, si l'on modifie un lit d'écoulement, de lui donner dans sa partie supérieure une puissance d'entraînement plus grande qu'ailleurs. Il arrive en effet qu'en augmentant la vitesse de l'eau à l'issue des déjections, on détermine par là un affouillement en amont dont les produits vont se déposer sur les points où la vitesse d'entraînement devient moindre; en sorte que le lit de déjection s'allonge aux dépens du lit d'écoulement. Nous citerons plus tard un exemple remarquable de ce genre d'accidents.

Lorsqu'on remonte le cours d'un torrent afin de rechercher le point de départ des cailloux descendus dans son lit de déjection, on reconnaît qu'en général ils proviennent de deux sources distinctes. La première, et souvent la plus abondante, est la dégradation lente, due aux agents atmosphériques, des grands rochers coupés à pic, au pied desquels la plupart des torrents dangereux prennent naissance. Les altérations moléculaires qu'éprouvent beaucoup de substances minérales au contact de l'air, sous l'influence de la chaleur et de l'humidité, détruisent la cohésion des roches les plus dures et les font tomber en ruine. A ces altérations chimiques il faut joindre d'autres actions purement mécaniques, telles que le choc de la pluie, le gel et le dégel. Par l'effet de ces diverses causes, il se détache journellement des débris caillouteux de la surface des hauts escarpements. Quelquefois ce sont des pans entiers de rocher qui s'écroulent avec fracas. Ces débris, entraî-

Origine  
des  
cailloux roulés.

nés par les filets d'eau pluviale et poussés par la pesanteur, se réunissent peu à peu au fond du canal de réception, où ils forment des approvisionnements considérables de cailloux prêts à être transportés. La seconde source des matières charriées est la destruction des berges du torrent, soit que celles-ci éprouvent une dégradation lente comme les rochers dont nous venons de parler, soit qu'étant minées à leur base par l'action érosive de l'eau, elles s'éboulent en grande masse. Cette érosion est surtout active lorsque le sol est formé d'une matière friable, telle, par exemple, que le schiste argilo-calcaire qui constitue assez fréquemment le flanc des montagnes alpines. Les détritiques de cette substance sont toujours abondants; ils se réduisent en poudre et donnent lieu, en se mêlant avec l'eau, à une boue noire et tenace qui domine dans certains lits de déjection.

Lorsqu'un torrent est profondément encaissé dans le sein d'une pareille roche ou de toute autre d'une faible cohésion, il arrive même en général que le terrain entier, avec tout ce qui se trouve à sa surface jusqu'à une grande distance, descend lentement vers le canal de réception et tend à s'y abîmer. Ce mouvement est incessant, parce que les eaux torrentielles, en balayant à chaque crue les matières qui tombent au fond du lit, enlèvent constamment aux couches le point d'appui nécessaire à leur stabilité. Les terrains soumis à de pareils glissements ne sont pas rares dans les Alpes; on les reconnaît à leur surface mamelonnée d'une certaine façon, et au défaut de verticalité des arbres dont les tiges s'inclinent en même temps que le sol.

Il est un autre cas où le torrent tire de son canal de réception une grande partie des matières qu'il charrie,

c'est lorsqu'il est parvenu à se creuser un lit profond et étroit dans l'intérieur d'anciens dépôts caillouteux que l'on observe souvent au pied des grands rochers escarpés. Les amas de débris qui ont été produits par ces rochers ne sont pas en effet tous du même âge. Il en est qui se forment et s'accroissent sous nos yeux; ceux-là ont en général une surface trop mobile pour que les eaux puissent y creuser des sillons bien profonds. Les autres, stationnaires depuis une époque immémoriale, sont même recouverts de bois touffus. Leur épaisseur et leur étendue en font de véritables terrains qui datent très-probablement du commencement de la période géologique actuelle, alors que les agents de dégradation opéraient sur une plus grande échelle que de nos jours. Lorsqu'à la suite d'un défrichement imprudent ou par l'effet d'une crue violente, les eaux sont parvenues à entamer la surface de ces anciens amas de débris et à s'y loger, elles y trouvent un magasin inépuisable de matières meubles qu'elles n'ont qu'à prendre et à transporter.

En résumé, les cailloux qui alimentent sans cesse la masse des matières charriées par les torrents ne résultent pas, comme on pourrait le croire au premier abord, de la destruction de rochers en place opérée par de fortes crues. Ce sont en général des débris déjà détachés et incohérents au moment où ils sont saisis par les eaux. Les uns sont le produit de la dégradation actuelle et incessante des rochers inclinés, les autres ont une origine pareille, mais plus ancienne, et remontent au delà des temps historiques. Ce fait explique comment les cailloux charriés par un torrent au moment d'une crue excessive, sont quelquefois en quantité si considérable que leur volume égale ou même surpasse celui de l'eau qui leur sert de véhicule.

Les cailloux dont nous venons d'indiquer l'origine sont transportés de deux manières différentes, *partiellement* ou *en masse*.

Le transport est *partiel* lorsque les eaux n'ayant pas une force suffisante pour entraîner toutes les matières exposées à leur action, n'en roulent qu'une partie. Dans ce cas les cailloux les plus volumineux épars à la surface du lit restent en place. Tous les autres, au-dessous d'une certaine limite de grosseur, sont emportés successivement en commençant par ceux qui offrent le moins de résistance. Les matières transportées n'étant pas assez rapprochées pour se gêner mutuellement, se meuvent avec des vitesses très-inégales, suivant les lois qui ont été exposées plus haut. Ainsi, on voit le sable et le menu gravier fuir avec rapidité, tandis que les galets, voisins par leur volume de ceux qui restent immobiles, roulent péniblement en s'arrêtant par intervalles.

Le transport *en masse* a lieu à l'époque des plus grandes crues, lorsque la force du courant est telle, que toutes les matières meubles du lit jusqu'à une certaine profondeur, quel que soit leur volume, sont entraînées simultanément. Quand cela arrive, les cailloux charriés étant très-nombreux et en contact les uns avec les autres, ne sont plus indépendants dans leur mouvement. Les plus lents sont poussés par ceux qui se meuvent derrière avec plus de rapidité; ceux-ci sont retardés par la rencontre des premiers; il en résulte une certaine vitesse moyenne à peu près commune à tous. Au moment où un pareil transport s'effectue dans le sein d'un grand torrent ou d'une rivière torrentielle, la section du courant offre deux zones distinctes par leur vitesse et la proportion des matières étrangères qui y sont contenues. L'une supérieure, est composée

d'eau mêlée seulement d'une petite quantité de limon; l'autre inférieure, plus ou moins épaisse suivant la vitesse et la hauteur d'eau du courant supérieur, renferme moins de liquide que de sable, de gravier et de galets mêlés confusément. Cette dernière zone que l'on pourrait appeler *chaotique* est une espèce de magma caillouteux qui coule avec lenteur en comparaison du fluide superficiel. Lorsqu'une crue excessive est dans sa période de décroissance, l'épaisseur de la zone chaotique diminue par l'arrêt successif des matières en mouvement, en commençant par les plus inférieures; cet arrêt est à peu près simultané pour tous les graviers et le sable de la même couche, comme l'était leur mouvement. A la fin, le transport n'a plus lieu que tout à fait à la surface du lit; il devient alors partiel.

La distinction que nous venons de faire entre le transport partiel et le transport en masse est fondée sur l'observation. En effet, si l'on examine les coupes faites quelquefois dans le lit des rivières pour l'exploitation du gravier, on y remarque constamment deux parties nettement séparées, ainsi que l'indique la *fig. 7*. L'une *s*, peu épaisse et superficielle, est composée de galets de diverses grosseurs sans mélange de sable ni de menu gravier; l'autre *i* située immédiatement au-dessous et d'une épaisseur indéfinie présente un mélange confus de matières qui contrastent par la diversité de leurs dimensions. Le sable fin, le galet volumineux et le menu gravier y sont entassés pêle-mêle. Leur proportion relative est d'ailleurs fort variable; en général, c'est le sable et le menu gravier qui dominent. Il est clair que ces deux couches distinctes du lit correspondent à deux régimes différents de la rivière. Les matériaux qui composent l'inférieure paraissent avoir été charriés et déposés tous à la fois, comme

s'ils avaient été invariablement liés entre eux : ils sont le résultat d'un transport en masse. Dans la couche supérieure il y a eu au contraire triage ; les eaux ont laissé les gros galets et en ont extrait le sable et les petits cailloux qui sont allés se déposer ailleurs ; le transport a été partiel.

L'art de préparer mécaniquement les minerais nous fournit un autre exemple de ces deux sortes de transport bien propre à en faire ressortir la différence. Lorsqu'un minerai a été bocardé et classé par le dépôt, c'est-à-dire amené à l'état d'un sable dont toutes les molécules sont à peu près de la même grosseur, il reste à séparer par le lavage les parties métalliques de la gangue. Pour cela on étend la matière en couche sur une table inclinée où l'on fait couler une nappe d'eau très-mince. Cette eau emporte peu à peu les particules terreuses et laisse les grains métalliques qui à raison de leur densité résistent à l'entraînement ; le transport est alors partiel. Mais, si par accident, au lieu d'une lame d'eau très-mince, on fait arriver un courant considérable, en un instant tout ce qui se trouve sur la table est balayé sans distinction de densité et de volume ; le transport s'opère en masse. Ce qui se passe dans ce cas sur la table de lavage, est la représentation exacte de ce qui a lieu en grand dans le lit d'un torrent suivant qu'une crue est faible ou très-forte.

Régime  
des torrents.

Considéré au point de vue du régime, un torrent peut affecter trois états différents qui sont le *régime normal*, la *crue modérée* et la *crue excessive*.

Nous entendons par régime normal l'état ordinaire d'un torrent lorsque n'étant grossi ni par la pluie ni par la fonte des neiges, il se trouve à sec ou alimenté seulement par des sources intarissables dont le volume varie lentement suivant les saisons. Ce régime est ca-

ractérisé par le *repos* des matières de transport. Cela est rigoureusement exact pour les torrents dont le régime normal est la siccité complète ; cela est encore vrai pour les autres si l'on fait abstraction du limon tenu en suspension et du sable dont l'eau courante roule toujours quelques particules. Ce repos des matières de transport est facile à expliquer. Lorsqu'un cours d'eau, après une crue accidentelle, revient à son état normal, il éprouve une diminution notable dans sa puissance d'entraînement et par suite la plupart des graviers en mouvement s'arrêtent. Ceux qui, à raison de leur légèreté, continuent à marcher, finissent par arriver dans une région du lit où l'affaiblissement toujours croissant de la pente les force à se déposer. Au bout d'un certain temps il s'établit nécessairement un équilibre entre l'action du courant et la résistance du lit dans toute son étendue. A partir de ce moment, si le torrent charrie encore quelques matières, elles ne proviennent pas du fond du lit devenu inattaquable, mais des berges exposées à des dégradations accidentelles.

La crue *modérée* est celle qui interrompt le régime normal d'un torrent en donnant lieu à un transport *partiel* des matières renfermées dans son lit. On a vu précédemment ce qu'était le transport partiel. La crue modérée se trouve ainsi définie d'une manière précise. Les crues de cette espèce peuvent être plus ou moins fortes et leur degré d'intensité a pour mesure exacte le nombre et la grosseur des cailloux qu'elles déplacent.

La crue est excessive toutes les fois que les matières meubles du lit sont transportées en masse. Dans ce cas, ce ne sont plus des cailloux isolés que les eaux détachent et entraînent successivement, c'est une couche entière de gravier mêlé de sable et de gros blocs, qui est mise en mouvement comme d'une seule pièce.

L'épaisseur de cette couche est proportionnelle au degré de force de la crue. Il est à remarquer qu'un transport en masse est toujours précédé et suivi d'un transport partiel ; car les eaux n'acquièrent ni ne perdent tout à coup la force nécessaire pour pousser à la fois tous les cailloux du lit. Il en résulte, d'après nos définitions, qu'une crue n'est excessive que pendant une période de temps limitée, lorsque la puissance impulsive du courant a atteint un certain degré d'intensité. Cette période peut être très-courte et même ne durer qu'un instant. Il faut en général des circonstances météorologiques exceptionnelles, pour que les matières de transport d'un torrent soient charriées toutes à la fois. Aussi les crues modérées sont-elles bien plus fréquentes que les crues excessives ; elles sont aussi beaucoup plus longues.

Certaines crues torrentielles dont nous parlerons bientôt sont tellement subites, qu'on ne peut distinguer chez elles un accroissement ni un décroissement régulier. Elles sont spéciales aux petits torrents et à quelques torrents moyens. Les autres crues, surtout celles des grands torrents et des rivières torrentielles, durent au moins quelques heures, et se prolongent quelquefois pendant plusieurs jours. Elles offrent alors deux périodes, l'une ascendante et l'autre descendante, qu'il importe de distinguer, car pendant chacune d'elles l'action du courant sur le fond du lit est moyennement très-différente. Pendant la période ascendante, le cours d'eau n'est pas en général saturé de matières de transport, et même plus il grossit, plus il s'éloigne de cet état. Cela tient à ce qu'il faut beaucoup plus de force à un courant pour détacher un caillou du fond du lit que pour le rouler, et en outre à ce que la difficulté de l'érosion augmente avec le nombre des cailloux en mou-

vement. Pour ces deux raisons, la force d'un torrent qui grossit reste en excès sur celle qui est strictement nécessaire pour le transport des cailloux déjà en mouvement, et même cet excès va en augmentant. Il faudrait que sa puissance d'entraînement éprouvât quelque part une diminution énorme, pour qu'il y eût alors un dépôt.

Dès que la période de décroissance survient, la tendance à l'affouillement cesse, puis les matières charriées se meuvent avec une vitesse de moins en moins grande ; enfin, il survient un instant où elles commencent à se déposer sur les points où la puissance d'entraînement est la plus faible, et par conséquent dans le lit de déjection. Une fois que le dépôt a commencé en cet endroit, il continue sans interruption. C'est une espèce de point d'arrêt pour toutes les matières en mouvement, tant que dure leur transport. Nous appellerons cette phase de la crue sa période de saturation. Lorsqu'une crue se prolonge en décroissant, tous les gros cailloux s'étant déposés, les autres s'épuisent ; alors la saturation cesse et les eaux peuvent reprendre une partie des graviers déposés précédemment. L'érosion recommence, mais sur quelques points seulement et dans une faible mesure. L'action d'une même crue sur les matières meubles du lit est donc essentiellement variable. Pendant la période ascendante il y a une tendance toujours croissante à l'érosion. Lorsque survient la période descendante, les dépôts commencent à se former. Enfin, si la décroissance est de longue durée, il y a encore un changement de signe, et les eaux redevennent affouillantes.

L'expérience confirme en tous points ce que nous venons de dire. Lorsqu'une crue torrentielle a assez de force pour miner à leur base et faire écrouler des digues,

cela arrive toujours pendant la période ascendante. Si au contraire les digues sont encombrées par un amas considérable de déjections, c'est pendant la période descendante qu'a lieu cet accident non moins désastreux que le premier. Enfin on observe journallement qu'à la fin d'une forte crue les eaux arrivant presque pures, commencent à remanier leur lit et à entraîner une partie du menu gravier déposé pendant la période de saturation.

On voit quelquefois le chenal d'un cours d'eau torrentiel s'engorger rapidement avant qu'une crue ait dépassé ou même atteint son maximum d'intensité. Cela arrive lorsqu'il y a une rupture subite des digues et qu'il s'échappe par la brèche une partie notable du courant. Ce qui reste d'eau dans le lit éprouve alors une forte diminution comme si la crue était déjà à sa période décroissante, et un dépôt abondant ne manque jamais de se former. Cette exception apparente ne fait donc que confirmer les principes que nous venons d'établir.

Les torrents alpins des deux premières classes, surtout ceux dont le lit est habituellement à sec, sont sujets à certaines crues excessives, extraordinaires, qui méritent une description spéciale et dont nous essaierons de donner l'explication. Leur caractère distinctif est celui d'une *irruption soudaine* précédée à peine de quelques signes avant-coureurs. Ainsi, après une averse quelquefois médiocre dans la plaine, quoique épaisse sur le flanc des montagnes, les habitants riverains d'un torrent entendent tout à coup un bruit sourd, une espèce de mugissement lointain qui les remplit de terreur. Au même instant, il sort de la gorge, si elle est longue et profonde, un vent impétueux, capable quelquefois de faire rouler des pierres d'une grosseur

considérable (1). Puis on voit arriver une masse énorme demi-liquide et demi-caillouteuse qui descend avec une grande vitesse, presque à la manière d'un corps solide roulant sur un plan incliné. De gros blocs paraissent surnager à la surface de cette masse pâteuse. Leurs bonds sont si brusques et si impétueux qu'ils peuvent être projetés à droite et à gauche, hors du lit. On en a vu, ainsi que le rapporte M. Surell (2), qui se sont engagés dans la charpente des ponts en partie démembrés par la crue, et sont restés ainsi suspendus en l'air à plusieurs mètres de hauteur. Ces redoutables avalanches, qui détruisent tout ce qu'elles rencontrent, diminuent de vitesse à mesure qu'elles s'avancent dans la plaine. Là, n'étant plus encaissées, elles s'affaissent sur elles-mêmes et se divisent en plusieurs courants qui portent au loin la dévastation. Quelque rapide que soit la concentration de la pluie dans un bassin de réception, on conçoit difficilement qu'il puisse en résulter une pareille agglomération d'eau et de débris, si quelque cause particulière n'en favorisait la formation. Cette cause nous paraît être l'obstruction accidentelle du lit par l'entassement des matières de transport. De là vient que ces crues sont si soudaines qu'en général elles ne durent que *quelques minutes*, le lit du torrent ne contenant avant et après qu'une quantité d'eau médiocre. Citons un exemple.

Le village de Goncelin, situé à 3 myriamètres en amont de Grenoble, est bâti à l'entrée d'une gorge ouverte dans le sein des montagnes de la rive gauche de l'Isère. Le torrent qui s'échappe de cette gorge a un bassin de réception presque régulièrement conique,

(1) Surell, page 55.

(2) *Idem*, page 51.

dont l'intérieur est bien boisé. Cette circonstance, en diminuant les dégradations du sol et la rapidité avec laquelle les eaux pluviales se concentrent, rend les ravages peu fréquents; cependant elle n'est pas contre eux un préservatif certain, ainsi qu'on va le voir. Le 14 juin 1827, vers sept heures du soir, des nuages noirs amoncelés au-dessus du bassin de réception se fondirent en une pluie diluvienne, accompagnée d'éclairs et de tonnerre. Bientôt le torrent grossi commença à déborder dans la partie inférieure du village. L'alarme fut donnée, et l'on se hâta de prendre des précautions, lorsque les eaux, éprouvant une diminution sensible, rentrèrent d'elles-mêmes dans leur lit comme si la crue avait touché à sa fin. Les habitants rassurés pensaient en être quittes pour une inondation passagère, mais leur sécurité ne fut pas de longue durée; presque aussitôt, ils virent sortir de la gorge une montagne d'eau qui se précipita sur eux avec fureur. Quarante-deux maisons furent englouties ou renversées, et vingt-huit personnes surprises par les eaux y trouvèrent la mort. On remarqua que des quartiers de rocher d'un volume prodigieux avaient été transportés à de grandes distances. Près de la moitié du village se trouvant ensevelie sous une couche de boue, de cailloux et de blocs, on fut obligé d'élever de nouvelles habitations sur ces amas de ruines. Une pareille irruption ne peut être assimilée qu'à une *débâcle*. Ce caractère commun à beaucoup de crues excessives a frappé Saussure, qui, témoin oculaire de l'une d'elles, a cru devoir l'attribuer à la rupture de quelque barrage. Nous allons citer textuellement le célèbre observateur :

« Un danger plus extraordinaire que l'on court quelquefois sur cette route (*la route de Sallenche à Chamouny*), est celui d'être surpris par des torrents qu'

» se forment subitement et descendent avec une violence  
 » incroyable du haut des montagnes qui sont sur la  
 » gauche de la grande route. Ces montagnes, presque  
 » toutes d'ardoise et en plusieurs endroits d'ardoise dé-  
 » composée, renferment des espèces de bassins fort  
 » étendus dans lesquels les orages accumulent quelque-  
 » fois une quantité immense d'eau. Ces eaux, lors-  
 » qu'elles parviennent à une certaine hauteur, rompent  
 » tout à coup quelque'une des parois peu solides de leur  
 » réservoir et descendent alors avec une impétuosité;  
 » terrible. Ce n'est pas de l'eau pure, mais une espèce  
 » de boue liquide mêlée d'ardoise décomposée et de  
 » fragments de rochers. La force impulsive de cette  
 » bouillie dense et visqueuse est incompréhensible,  
 » elle entraîne des rochers, renverse les édifices qui se  
 » trouvent sur son passage, déracine les plus grands  
 » arbres et désole les campagnes en creusant de pro-  
 » fondes ravines et en couvrant les terres d'une épais-  
 » seur considérable de limon, de gravier et de frag-  
 » ments de rocher. Lorsque les gens du pays voient  
 » venir ce torrent, qu'ils nomment le *Nant Sauvage*, ils  
 » poussent de grands cris pour avertir ceux qui sont  
 » au-dessous de fuir loin de son passage. On comprend  
 » que dès que le réservoir est vidé, le torrent cesse ou  
 » diminue considérablement; il dure rarement plus  
 » d'une heure. Cet accident est très-rare; je ne l'ai vu  
 » qu'une seule fois, le 7 août 1767, et quoiqu'au mo-  
 » ment où je l'ai rencontré il fût déjà sur son déclin,  
 » j'en vis assez pour m'en former une idée. On ne peut  
 » pas imaginer un spectacle plus hideux; ces ardoises  
 » décomposées formaient une boue épaisse dont les  
 » vagues noires rendaient un son sourd et lugubre, et  
 » malgré la lenteur avec laquelle elles semblaient se  
 » mouvoir, on les voyait rouler des troncs d'arbre et

« des blocs de rocher d'un volume et d'un poids considérables (1). »

Il n'y a rien à ajouter à ce tableau si saisissant de vérité. Nous ferons seulement observer qu'on ne saurait en général attribuer les débâcles torrentielles à la rupture de barrages formés de roches en place, puisque une fois l'obstacle détruit, le phénomène ne se reproduirait plus; ce qui est contraire à l'observation. L'obstruction du lit nous paraît résulter dans chaque cas particulier de l'entassement des matières de transport dont il existe des amas considérables dans la partie la plus élevée du cours des torrents. On doit se rappeler que les canaux de réception présentent deux parties distinctes, savoir les ramifications qui se subdivisent en remontant jusqu'au sommet des rochers nus et le tronc dont la pente est beaucoup moindre, et où viennent s'accumuler les fragments caillouteux que les agents de dégradation détachent sans cesse. Cette distinction est surtout très-nette dans les bassins appartenant au premier et au deuxième type, dont les parois sont très-inclinées et fournissent beaucoup de débris. Lorsqu'un orage éclate dans un bassin de ce genre, on comprend que les filets d'eau doivent descendre avec une rapidité extrême le long des escarpements et en suivant les ramifications du canal de réception; mais il n'en est plus de même lorsqu'ils arrivent dans la partie du tronc où commence l'accumulation des débris. Ici leur vitesse éprouve une variation brusque, soit parce que la pente est beaucoup moindre, soit surtout à cause de la résistance que les menus fragments de rocher et les blocs entassés présentent à l'écoulement de l'eau. Ces matières, poussées confusément par le courant, gênent sa

(1) Saussure. *Voyages dans les Alpes*, § 485.

marche et donnent lieu, en s'amoncelant, à une espèce de barrage mobile, qui d'abord se meut avec lenteur et permet par conséquent aux filets liquides qui continuent à affluer derrière, de s'agglomérer et d'acquérir un volume énorme. Enfin la débâcle a lieu. Les matières amoncelées et l'eau qui leur sert de véhicule ne forment plus qu'une seule masse, dont la vitesse, en s'accélégrant, devient quelquefois prodigieuse. Douée d'une force impulsive irrésistible, ainsi que le fait remarquer de Saussure, elle s'assimile en roulant tout ce qui se trouve sur son passage. Elle entraîne des quartiers de rocher, déracine des arbres, et ne s'arrête que dans le fond des vallées, en produisant toutes les dévastations qui ont été décrites.

Un fait qui nous a été certifié par toutes les personnes bien placées pour observer les torrents, vient à l'appui de la théorie précédente. Les crues excessives dont les caractères sont résumés par les mots *irruption*, *avalanche*, *débâcle*, employés plus haut, n'arrivent ordinairement que lorsqu'une averse épaisse succède à une longue sécheresse. Si cette averse a été précédée de plusieurs petites pluies ayant donné lieu à des crues modérées, la crue excessive qui vient après perd son caractère irruptif et n'occasionne pas de ravages. Si, comme nous le croyons, cette remarque est vraie, ne doit-on pas en tirer cette conclusion que les pluies médiocres, en entraînant au loin les détritiques pulvérulents et les menus fragments de rocher qui s'entassent journellement dans le lit supérieur des torrents, ont pour effet de nettoyer le canal de réception et de rendre plus difficiles les agglomérations d'eau et de cailloux, causes des débâcles?

Ce que nous venons de dire nous conduit à l'examen d'un fait très-remarquable, celui de l'action opposée des

Effets opposés  
des crues sur les  
lits de déjection.

crues sur les lits de déjection, suivant qu'elles sont excessives ou modérées.

Si l'on parcourt un lit de déjection après un débordement dû à une crue excessive, on ne voit pas de trace du chenal dans lequel le torrent coulait auparavant; il a été entièrement comblé. De longues traînées de matières fraîchement déposées indiquent seulement que les eaux se sont déversées à droite et à gauche. On remarque en outre à la surface du sol un grand désordre. La boue, les gros blocs et les menus fragments caillouteux y sont entassés confusément et distribués d'une manière irrégulière. Si quelque temps après, en supposant que dans l'intervalle il soit survenu des crues modérées, on visite le même lit de déjection, son aspect n'est plus le même. Les eaux, au lieu de couler en nappe ou en filets très-divisés, comme après le débordement, sont parvenues à se creuser un lit dans le sein des déjections. Ce lit est en général sur le prolongement de la direction que le courant tend naturellement à prendre. Dans son intérieur, la boue et les petits débris ont disparu; il n'y reste que des cailloux de diverses grosseurs. Si les crues modérées continuent, ce chenal s'agrandit de plus en plus. Au bout d'un certain temps il est assez profond pour contenir toutes les eaux du torrent à l'époque des crues médiocres. Cet état de choses persiste jusqu'à ce qu'il survienne une autre crue excessive. Alors les matières charriées en grande masse comblent de nouveau le chenal qui avait été si laborieusement creusé, et un second débordement a lieu; puis l'érosion recommence et le torrent parvient encore à s'encaisser. Cette alternative de dépôt et d'érosion est un fait général, quelle que soit la classe à laquelle le torrent appartient; ses résultats sont surtout manifestes à l'époque de l'étiage, dans les rivières torrentielles. On voit alors

ça et là de grandes nappes de cailloux à surface à peu près horizontale, qui indiquent le niveau du lit au moment de la dernière crue excessive. La continuité de ces nappes caillouteuses est interrompue par des sillons plus ou moins larges, quelquefois très-profonds, qui sont évidemment le produit d'une érosion postérieure, soit que cette érosion ait eu lieu à la fin de la crue excessive, ou que plutôt elle soit due aux crues modérées qui l'ont suivie.

Ces observations prouvent qu'il y a des crues d'un caractère très-différent: les unes étant encombrantes et les autres affouillantes. On en tire cette autre conséquence, que l'exhaussement annuel d'un lit de déjection est toujours la différence des effets opposés de ces crues, c'est à-dire égal à l'excès de l'apport des premières sur le déblai opéré par les secondes.

Il nous reste à expliquer pourquoi les crues excessives sont toujours encombrantes dans les lits de déjection, tandis que les crues modérées donnent lieu à des affouillements, surtout quand elles se succèdent à de courts intervalles: cela tient aux modes de transport essentiellement différents qui les caractérisent. Une crue excessive, en remuant jusque dans ses profondeurs le lit supérieur d'un torrent, met en mouvement une masse énorme de graviers et de cailloux de toutes les dimensions, depuis le grain de sable jusqu'au gros bloc. Lorsque survient la période de saturation, leur dépôt est continu et abondant; ils ont bientôt comblé le chenal du lit de déjection; de là des débordements et l'abandon par le torrent de toutes les matières charriées. Si la crue est modérée, le transport n'est que partiel; il s'exerce seulement sur des cailloux de la surface et de médiocre grosseur. Leur quantité est par conséquent fort petite relativement à ceux du transport

en masse, et s'ils viennent à se déposer, ils n'encombrent pas le lit que les eaux se sont creusé. En outre, et c'est là une remarque essentielle, leur nombre est limité, en sorte que, si les crues modérées se multiplient, elles finissent par les enlever au torrent dans toute son étendue, depuis sa source jusqu'au lit de déjection *inclusivement*.

Pour bien comprendre la propagation de cet affouillement, remontons jusqu'aux fragments de rocher de grosseurs diverses que les éboulements accumulent dans la partie la plus élevée d'un canal de réception, et supposons qu'ils soient atteints par une crue modérée. Plusieurs de ces cailloux ayant un volume suffisant pour résister à l'action de l'eau resteront en place; les autres seront emportés, et s'ils sont nombreux ils se déposeront plus bas, là où par l'affaiblissement de la pente, la force du courant sera beaucoup moindre. A une seconde crue, les eaux descendront pures ou presque pures de la région supérieure où il ne restera plus de menus débris, et n'étant pas saturées comme la première fois, elles reprendront d'abord les graviers déposés précédemment; puis elles détermineront un affouillement dont le produit sera transporté encore plus loin, et ainsi de suite jusqu'au lit de déjection. Ici l'érosion ne sera ni moins longue ni moins profonde que dans le canal de réception, parce que, si la pente est plus faible, le volume des matières à entraîner est en général moindre. Il n'y aura en ce point, comme sur les autres, d'autre limite à l'action affouillante de l'eau que la résistance due à l'accumulation toujours croissante des cailloux trop gros pour être déplacés par les crues d'une médiocre intensité.

Plusieurs crues modérées successives ont donc pour résultat: 1° de débarrasser le canal de réception dans

toute son étendue des graviers et des cailloux de petites dimensions, et de n'y laisser que les blocs et les galets volumineux qui, en faisant l'office de radier, empêchent l'entraînement des matières placées au-dessous; 2° de creuser un chenal dans le lit de déjection et d'approfondir celui du lit d'écoulement. Ces crues sont par conséquent bienfaisantes; elles tendent à améliorer le régime du torrent et à prévenir les submersions.

Les crues excessives sont, au contraire, très-funestes; car leurs effets sont en tout opposés aux précédents. Outre qu'elles donnent lieu à des débordements désastreux, elles bouleversent le lit de fond en comble dans toute l'étendue du canal de réception; ce qui fait surgir à la surface une multitude de graviers et de cailloux d'un petit volume dont le transport en aval est pendant longtemps une cause d'encombrement. Le lit de déjection ayant été complètement nivelé, le danger des submersions subsiste jusqu'à ce que les eaux soient parvenues à se creuser un autre chenal suffisamment profond. Il faut une longue suite de crues modérées pour réparer le mal d'une seule crue excessive.

Nous terminerons la première partie de notre mémoire en disant quelques mots sur les variations que le temps fait éprouver aux torrents. Il y en a qui, après être restés longtemps inoffensifs, recommencent tout à coup leurs ravages. Quelques-uns même sont entièrement nouveaux et prennent naissance sous les yeux des habitants du pays. Ailleurs on observe tout le contraire. Des torrents dont les débordements étaient annuels éprouvent, sans que rien ait pu le faire prévoir d'avance, une amélioration sensible dans leur régime. Il eût été extrêmement intéressant de rechercher dans chaque cas particulier les causes de pareilles modifications; malheureusement personne ne s'en est occupé.

D'après les documents que nous avons pu recueillir et d'après nos propres observations, une recrudescence dans l'action dévastatrice des torrents coïncide presque toujours avec quelque éboulement considérable de menus fragments de rocher dans le bassin de réception. On conçoit, en effet, qu'un pareil accident doit avoir pour conséquence immédiate d'augmenter notablement la proportion des cailloux charriés. D'autres fois, à la suite d'un défrichement ou par la chute accidentelle d'une grande masse d'eau, un petit ravin se creuse dans le sein d'un terrain auparavant intact. Une fois formé, le ravin en attirant les eaux s'agrandit avec rapidité et se transforme en un torrent dangereux. Il arrive aussi assez souvent que les propriétaires de terres dominées par de grands escarpements encaissent les petits torrents qui en descendent. En concentrant ainsi les eaux, ils leur donnent assez de force pour transporter plus loin et en plus grande quantité les débris caillouteux. De là des ravages sur des terres cultivées situées au-dessous, et en général plus fertiles que celles que l'on a voulu préserver. Dans ce cas, on ne peut accuser que la main des hommes. Quant à l'amélioration en apparence permanente que l'on remarque dans le régime de certains torrents, nous l'attribuons, en général, à l'action bienfaisante d'une longue suite de crues modérées. C'est un fait constaté par l'expérience que la longueur et la fréquence des pluies médiocres, qui peuvent occasionner le débordement des grandes rivières, n'ont pas la même influence sur les torrents. Il faut à ceux-ci des saisons sèches et des pluies d'orage. S'il survient une série d'années pluvieuses, un torrent pourra perdre ses habitudes de ravages, et, comme le lit se sera raffermi par l'accumulation des gros blocs restés en place, cet heureux changement de

régime persistera même lorsque les circonstances météorologiques auront cessé d'être les mêmes. Cependant, hâtons-nous de le dire, la sécurité ne doit jamais être complète. Plus la période d'inaction d'un torrent a été longue et plus il est terrible quand il en sort; car il ne peut en être tiré que par une pluie d'une intensité extraordinaire, qui finit tôt ou tard par arriver quand on embrasse un laps de temps considérable. La Roise, torrent du département de l'Isère, dont nous nous occuperons bientôt, était resté soixante-quatre ans sans faire la moindre irruption, lorsqu'en 1851 il a failli engloutir le bourg de Voreppe et a couvert de ses déjections plusieurs hectares de terrain cultivé. Un torrent est comme un volcan, son repos est plein de menaces. Quelque ancienne que soit la date des derniers ravages, on doit craindre et se prémunir.

## II. — MOYENS DE DÉFENSE QU'IL CONVIENT D'OPPOSER AUX TORRENTS A LITS DE DÉJECTION.

Les torrents à lits de déjection sont nuisibles de plusieurs manières : d'abord ils enlèvent à l'agriculture une vaste étendue de terres cultivables, et en général ce sont les meilleures; ensuite ils interrompent les communications. Il est, en effet, impossible d'entretenir une bonne route dans une vallée dont le sol à la suite de chaque pluie un peu forte est sillonné de courants d'eau et encombré de graviers. Ce n'est pas tout : la surface des déjections étant bombée, elles maintiennent le torrent comme suspendu au-dessus du terrain environnant et lui donnent beaucoup de facilité pour se déverser, au moment des crues excessives, à droite ou à gauche, et atteindre à de grandes distances les terres cultivées, les habitations et même les villages. Quel-

Inconvénients graves des lits de déjection.

quelquefois, pour se garantir, on élève autour des lits de déjection des digues ou des murs épais, et l'on se hasarde à cultiver les terres abritées derrière. De pareils travaux ne constituent point une défense. Outre que l'on abandonne au torrent tout le terrain qu'il a conquis, on est obligé, à mesure que les déjections s'exhaussent, d'élever en même temps le mur d'enceinte; le danger et les dépenses vont toujours en croissant. Il n'y a qu'un seul moyen efficace de combattre un lit de déjection, c'est de le *supprimer*.

Deux procédés  
pour la défense.

D'après la théorie du lit de déjection, on n'a le choix qu'entre deux procédés pour arriver à le supprimer.

Le premier consiste à *augmenter assez la puissance d'entraînement du torrent dans la traversée du lit de déjection pour qu'il puisse transporter plus loin toutes les matières qui y sont amenées*. Ce procédé est celui que l'on emploie actuellement lorsqu'on cherche à se garantir. Nous en ferons ressortir tout à l'heure l'insuffisance et les dangers.

Le principe du second procédé est tout différent. Nous l'énoncerons ainsi : *retenir dans la partie supérieure du cours du torrent assez de matières de transport pour que celles qui arriveront dans le lit de déjection ne dépassent pas la quantité maximum que les eaux peuvent charrier jusqu'à la rivière*. Ce procédé n'offre pas les mêmes inconvénients que le précédent, et dans la plupart des cas il est d'une application plus sûre. Nous croyons, par conséquent, qu'il doit lui être substitué.

1<sup>er</sup> procédé :  
ses défauts.

L'art ne possède qu'un seul moyen d'augmenter la puissance d'entraînement d'un torrent dans une partie déterminée de son cours, c'est d'accroître sa vitesse.

On accroît la vitesse d'un cours d'eau soit en augmentant la pente, soit en faisant disparaître les contours brusques et les autres obstacles qui gênent le mouve-

ment de l'eau, soit enfin en diminuant le rapport qui existe entre le périmètre mouillé et la section (1).

Presque jamais on ne peut modifier directement la pente d'un cours d'eau. Il faudrait pour cela des remblais et des déblais énormes inexécutables dans la pratique. Mais si le lit est sinueux, on peut le *rectifier* et accroître ainsi sa pente en diminuant son développement. Par la même opération, on supprime les coudes qui ralentissent la vitesse.

Pour diminuer le rapport du périmètre mouillé à la section, il faut resserrer le lit entre des digues; c'est ce qui constitue l'*endiguement*. Ce moyen d'augmenter la puissance d'entraînement d'un torrent est le plus énergique; car, outre que l'eau acquiert plus de vitesse, sa profondeur devient plus grande.

En résumé, la rectification et l'endiguement, tels sont les moyens employés généralement aujourd'hui pour faire cesser l'exhaussement des lits de déjection.

On peut faire plusieurs reproches à ce système de défense. Le premier est son insuffisance fréquente; en effet, il y a ordinairement une telle différence de pente entre les gorges d'où descendent les torrents et les plaines où s'étalent leurs lits de déjection, que, quoi que l'on fasse, il y a toujours en ce point une diminution notable dans la puissance d'entraînement. L'augmentation de vitesse que l'on obtient par l'endiguement et la

(1) Il existe encore un autre moyen d'augmenter la vitesse d'un cours d'eau torrentiel, mais il est d'un usage très-restreint: il consiste à faire disparaître les frottements dus aux aspérités de son lit. On y parvient en construisant un pavé à surface unie et bien dressée sur lequel l'eau et les matières de transport glissent facilement. Ce procédé, qui évidemment n'est applicable qu'aux petits torrents habituellement à sec, est souvent employé dans la vallée de l'Isère.

rectification n'est pas indéfinie; elle est, au contraire, comprise entre des limites assez étroites; si elle n'atteint pas le degré voulu, on échoue complètement. Malheureusement c'est le cas le plus ordinaire. Souvent, surtout pour les torrents des deux premières classes, l'inefficacité de l'endiguement est si peu douteuse que l'on se garde bien d'y avoir recours. On prévoit qu'au bout de quelques crues, l'intérieur des digues serait nivelé jusqu'à leur couronnement. D'autres fois, l'insuccès étant moins évident d'avance et de grands intérêts exigeant que l'on se mette à l'abri, on essaye des travaux défensifs où l'on déploie toutes les ressources de l'art. Pendant quelques années, on croit avoir réussi; puis il survient une crue extraordinaire, et à la suite une avalanche de cailloux qui comble les digues, bouche l'ouverture des ponts et ensevelit les routes. Toutes les dépenses qui avaient été faites sont perdues (1).

Un autre reproche que l'on peut faire à ce système de défense, c'est que même en cas de succès, il n'est pas exempt d'inconvénients. Supposons que l'on soit parvenu à augmenter assez la vitesse d'un torrent dans son lit de déjection pour qu'il n'y ait plus de dépôt, les matières entraînées plus loin ne sont pas par cette raison anéanties (2). Comme en général la pente du lit va toujours en diminuant, elles se déposent en aval et créent de nouveaux dangers. Si en diguant de proche en proche,

(1) Ces mécomptes sont connus de tous les habitants des Alpes. (Voyez l'ouvrage de M. Surell, pages 76, 77, 88 et 89.)

(2) Il est vrai que par l'effet du frottement les roches tendres, qui sont les plus nombreuses dans la nature, s'usent assez promptement, et se réduisent en sables et en menus graviers. Mais ce serait une grande erreur de croire qu'ainsi divisées, ces matières ne peuvent pas contribuer à exhausser le lit d'une rivière. Il suffit d'examiner la composition des lits de déjection pour être convaincu du contraire. Des expériences faites sur

on parvient à les pousser jusqu'à la rivière qui reçoit les eaux torrentielles, celle-ci à son tour est encombrée. Le raisonnement que nous avons fait pour le torrent est exactement applicable à la rivière, et comme en définitive on ne peut espérer de faire arriver jusqu'à la mer qu'une faible partie de la masse des matières charriées, il en résulte que tous les travaux entrepris dans le but de les pousser en avant n'aboutissent qu'à déplacer le mal et non à le supprimer. Ils sont inutiles, si, au lieu de considérer une portion déterminée d'un bassin, on l'embrasse dans son ensemble.

Nous ajouterons que l'endiguement, quand il est exécuté sur une grande étendue, a l'inconvénient de précipiter les eaux en aval et d'y produire des crues plus fortes et plus soudaines, ce qui est un changement de régime désavantageux.

En résumé, le premier procédé pour supprimer un lit de déjection est souvent impraticable, ou bien son succès est incertain. Quand il réussit il ne fait que déplacer le mal. Il est donc très-défectueux et doit être abandonné.

Il reste le second procédé; nous avons à démontrer qu'il est possible, applicable à tous les torrents, et qu'il n'offre pas les mêmes inconvénients que le premier; ici commence la partie la plus importante de notre tâche. Nous examinerons d'abord de quelle ressource

divers points du grand dépôt des déjections du Vénéon et de la Romanche dans la plaine du Bourg-d'Oisans (Isère), nous ont appris que sur 100 parties en volume de ce dépôt, il y en avait au moins 60 de sable fin et de gravier ayant moins de 0<sup>m</sup>.02 de diamètre et 7 à 8 parties seulement de galets ayant plus de 0<sup>m</sup>.06, le reste étant intermédiaire. Des proportions à peu près pareilles s'observent sur plusieurs points des lits de l'Isère et du Drac. Ce mélange de matières de grosseurs si différentes s'explique par le *transport en masse*.

peut être le boisement du sol comme moyen d'exécution de ce procédé.

2<sup>e</sup> procédé :  
emploi  
de la végétation.

Il n'est pas douteux que théoriquement la végétation ne soit un excellent moyen de diminuer la masse des cailloux que les torrents charrient. Elle tend à ce résultat de deux manières : en s'opposant à la dégradation des montagnes et en changeant le régime des crues. Par leurs racines, les plantes consolident le sol et le recouvrent d'une enveloppe difficilement affouillable ; par leurs troncs, leurs branches et leurs feuilles et aussi par l'humus qui s'accumule à leur pied, elles divisent les eaux pluviales et en absorbent une partie. Elles doivent donc retarder beaucoup leur écoulement et empêcher que les crues ne soient subites et excessives.

L'expérience est pleinement d'accord avec ces idées théoriques. Les torrents qui ont leur source dans le sein de montagnes dénudées et d'une facile dégradation sont les plus dangereux ; ceux au contraire dont les bassins de réception sont entièrement boisés, n'ont pas de lit de déjection et sont le plus souvent inoffensifs. Comment se fait-il donc que le boisement du sol ne soit pas employé depuis longtemps pour faire disparaître les ravages torrentiels ? Nous allons essayer de l'expliquer. Pour exercer par la végétation une influence sensible sur le régime des torrents, il faudrait attaquer directement le mal à sa source, c'est-à-dire couvrir de plantations : ici les flancs d'une montagne qui, minée par les ravins, tombe en ruines ; là, des amas de cailloux sans consistance et sans terre végétale ; ailleurs, les parois d'un rocher à pic dont la surface en décomposition se renouvelle sans cesse : c'est là qu'est la difficulté. Tous ceux qui se sont occupés de sylviculture savent que s'il est facile de faire naître des arbres sur la lisière d'une forêt ou dans l'intérieur de ses clairières, il n'en est plus

de même quand il s'agit de boiser un terrain nu, exposé sans défense aux intempéries atmosphériques. Une jeune plante ne peut vivre qu'autant qu'elle est à l'abri des ardeurs du soleil en été et des tempêtes en hiver. Le sol ne doit pas être mobile ni raviné par les eaux pluviales ; il faut qu'il soit à l'abri des éboulements et des avalanches. Or ces conditions ne se trouvent réunies dans les hautes régions des Alpes que sur le bord ou dans l'intérieur des forêts épaisses. Lorsque celles-ci sont très-touffues, et qu'elles occupent de vastes espaces, la fraîcheur continuelle qu'elles communiquent au sol donne lieu à des cas de végétation extraordinaire qui évidemment ne se produiraient pas dans toute autre circonstance. Ainsi dans les forêts de la Grande-Chartreuse, près de Grenoble, on voit de grands arbres reposer sur des blocs de pierre isolés ou sortir de la paroi verticale d'un rocher à pic. En s'approchant on reconnaît que la pierre est un calcaire compacte et qu'il a suffi d'une petite fissure remplie de matière marneuse pour que le végétal, en y insérant ses racines, ait pu s'y implanter solidement et prospérer. On doit conclure de là que pour boiser les rochers nus dont la dégradation est la source des ravages torrentiels, il faudrait préalablement créer des massifs de forêts aux dépens des terres cultivées des environs. C'est en effet ainsi que procéderait la nature si on la chargeait de l'opération. Supposons que l'homme cesse d'habiter les Alpes et abandonne le sol à ses productions spontanées. Les végétaux vivaces et à tige ligneuse deviendront peu à peu les plus nombreux et finiront par dominer exclusivement. Ce n'est pas dans les régions élevées et sur les pentes dénudées qu'ils commenceront à s'établir, mais dans le fond des vallées et au sein des meilleures terres ; de là ils s'étendront sur le flanc des montagnes

et pénétreront dans les bassins de réception. En affermissant le sol de proche en proche, en y apportant de l'humidité, en y créant de l'humus, en améliorant peu à peu le régime des torrents par la division des eaux pluviales, ils parviendront à envahir les lits de déjection ainsi que le fond des canaux de réception, à couvrir et à envelopper les amas de cailloux mobiles situés au pied des escarpements et à remonter de là jusqu'au sommet des rochers les plus élevés. Au bout de quelques siècles, les Alpes ne formeront plus qu'une forêt. Cela fait, si l'homme venait de nouveau à habiter le pays et s'il se bornait à défricher la plaine, il pourrait en jouir paisiblement; les torrents seraient pour lui un fléau inconnu; mais si les défrichements s'étendaient sur le flanc des montagnes et atteignaient l'intérieur des bassins de réception, les ravages torrentiels recommenceraient et même ils iraient en augmentant, car l'équilibre étant rompu dans les régions supérieures entre la force de la végétation et celle des nombreux agents de dégradation qui tendent à la détruire, ceux-ci achèveraient peu à peu de ruiner les bois que la main de l'homme aurait épargnés. On verrait donc disparaître ces hautes forêts dont la création due au travail long et patient de la nature avait exigé des siècles, et alors le mal serait sans remède (1).

L'hypothèse que nous venons de développer n'est point une supposition imaginaire. Le phénomène des

(1) Il existe dans les Alpes des versants de montagnes tout à fait inaccessibles où ni l'homme ni les troupeaux ne peuvent contrarier les efforts de la végétation spontanée. Cependant ces lieux jadis couverts de bois restent aujourd'hui entièrement nus. On ne peut attribuer l'impuissance actuelle de la nature à les boiser qu'à la destruction des forêts des environs opérée et entretenue depuis que l'on a commencé à défricher.

*anciens lits de déjection* (1) est une preuve qu'autrefois les Alpes ont été entièrement dénudées, puis qu'à une époque plus récente, quoique antérieure aux temps historiques, cette chaîne de montagnes s'est reboisée spontanément, et qu'alors il n'y avait plus de torrents à lits de déjection. Ceux-ci n'ont commencé à reparaitre que lorsque le pays a été habité et cultivé.

Nous résumerons ainsi les conséquences qui se déduisent des considérations précédentes.

En premier lieu, il est d'une extrême importance de conserver, d'améliorer et d'étendre autant que possible les forêts encore existantes dans les Alpes; car il est incontestable que ces forêts limitent l'action dévastatrice des torrents déjà formés et s'opposent à ce qu'il en naisse d'autres.

En second lieu, le boisement des surfaces entièrement dénudées nécessaire pour arrêter leur dégradation et prévenir les ravages torrentiels doit être regardé comme une opération en général impossible, puisque dans l'état actuel de ces surfaces nulle plante ne peut y croître et que, pour les disposer à se couvrir de végétation, il faudrait préalablement convertir en forêts épaisses une partie des terres cultivées environnantes, ce qui est impraticable au point de vue économique.

L'emploi de la végétation pour empêcher que les cailloux ne descendent dans les lits de déjection, présentant dans la pratique des difficultés qui paraissent insurmontables, il faut avoir recours à d'autres moyens. Nos études nous ont conduit à proposer les suivants (2).

Autres moyens  
proposés  
pour  
le 2<sup>e</sup> procédé.

(1) Voyez notre mémoire déjà cité: *Annales des mines*, 4<sup>e</sup> série, tome XIV.

(2) Le système que nous proposons a été développé pour la première fois d'une manière très-explicite dans un opuscule

Retenue complète  
des cailloux.

Avant de déboucher dans les vallées où sont les lits de déjection, les torrents coulent pendant un certain temps dans le sein des montagnes, où souvent ils traversent de petits bassins peu productifs et quelquefois même entièrement incultes. En examinant ces bassins, nous avons reconnu qu'il serait possible, dans un grand nombre de cas, d'y faire divaguer les eaux torrentielles en les forçant à se diviser, ce qui aurait pour résultat de produire un affaiblissement notable dans leur puissance d'entraînement, et par suite de faire déposer la plupart des matières charriées. C'est précisément parce qu'un pareil affaiblissement a lieu dans les vallées que les cailloux s'y arrêtent. Il est clair qu'en transportant cette cause du dépôt dans le bassin de réception, on y transportera le dépôt lui-même. Il n'est pas moins certain qu'en débarrassant d'avance le torrent de l'excès de cailloux qu'il aurait été obligé de laisser dans le lit de déjection, on supprime ce dernier par le fait même; on le transforme en un lit d'écoulement. Le bénéfice de l'opération est d'ailleurs évident. On retire le lit de déjection du sein d'une grande vallée où sont les terres fertiles, les villages et les grandes routes pour le reléguer dans l'intérieur des montagnes, où il occupe des terrains sans valeur. Dans le premier cas, il était susceptible d'une extension presque illimitée; dans le second, il est contenu entre des barrières naturelles infranchissables; il cesse d'être nuisible.

Nous désignerons ce premier système de défense par le nom de *retenue complète des cailloux*. Il est applicable à tous les torrents de la première et de la deuxième

---

que nous avons publié en 1850 sous le titre de *Exposé d'un nouveau système de défense contre les torrents des Alpes*. Nos droits de priorité sont par conséquent incontestables.

classe dont le canal de réception traverse des bassins dans l'intérieur des montagnes, pourvu que les trois conditions suivantes soient remplies. Il faut : 1° que les bassins ne renferment pas d'habitations ni de propriétés d'une grande valeur; 2° que leur étendue soit assez grande pour que les déjections puissent s'y accumuler pendant un laps de temps en quelque sorte indéfini; 3° qu'il n'y ait pas de débordement à craindre en dehors de limites déterminées, ou, en d'autres termes, que la configuration des lieux soit telle qu'après avoir divagué sur un certain espace, les eaux soient obligées de rentrer dans leur lit.

Tous les cours d'eau torrentiels ne satisfont pas aux trois conditions précédentes. Ceux dont le volume d'eau est habituellement considérable charrient à l'époque de leurs crues trop de cailloux pour qu'il soit possible de les retenir quelque part d'une manière complète. Parmi les torrents de la deuxième classe, il en est un certain nombre dont le canal de réception est partout étroitement encaissé; l'espace manque alors pour y transporter le lit de déjection. Dans ces cas, il faut avoir recours à un autre système de défense un peu différent du précédent, mais non moins efficace. Nous allons en faire connaître le principe.

Nous avons insisté plus haut sur ce fait que l'exhaussement d'un lit de déjection était la différence de deux effets opposés, savoir : de l'encombrement produit par les crues excessives et du déblai dû aux crues modérées. Lorsque les matières apportées sont en grand excès sur celles qui sont entraînées, l'observation prouve que cela tient aux causes suivantes. Une crue excessive en faisant arriver tout à la fois une grande masse de cailloux dans le lit de déjection, comble ordinairement le chenal que les eaux s'étaient creusé. Il en

Retenue  
partielle.

résulte que le torrent en se dispersant éprouve une diminution énorme dans sa puissance d'entraînement, et qu'une bonne partie des matières qui aurait traversé le lit de déjection sans s'y arrêter, si l'encaissement des eaux s'était maintenu, est obligée de se déposer. Lorsque plus tard il survient des crues modérées, l'affouillement des déjections commence, mais ses progrès sont très-limités, surtout à cause des blocs et des cailloux volumineux amenés par le transport en masse. Ces cailloux résistent à l'action des crues ordinaires, et en s'accumulant au fond du lit créé par l'érosion, ils forment bientôt une espèce de radier qui met à l'abri de l'entraînement les menus graviers placés au-dessous, en sorte que les crues modérées qui arrivent après, quels que soient leur nombre et leur durée, sont sans effet utile. Ainsi, d'un côté, les débordements, et, de l'autre, la présence des gros cailloux dans le lit de déjection, telles sont les deux causes principales du défaut d'équilibre entre les crues encombrantes et les crues affouillantes.

Supposons maintenant que par quelque moyen artificiel on parvienne à retenir en amont d'un lit de déjection, au moment des crues excessives, une quantité de matières assez notable pour empêcher les débordements. Admettons aussi que les cailloux les plus volumineux soient compris parmi les matières retenues. Il est évident, d'après ce qui précède, que le résultat d'une pareille opération sera, d'un côté, de diminuer l'apport des crues encombrantes, et, de l'autre, de favoriser l'affouillement par les crues modérées. Par suite l'exhaussement des déjections, qui n'est autre chose que l'excès de l'apport sur l'affouillement, deviendra moindre, et on pourra le rendre complètement nul si l'on est le maître de pousser à un degré suffisant l'un

ou l'autre de ces deux effets opposés. Ce principe est celui qui sert de base à notre second système de défense. On peut l'énoncer ainsi : *Diminuer d'un côté l'arrivée des matières de transport dans le lit de déjection et augmenter de l'autre leur départ jusqu'à ce que l'équilibre soit établi.* Nous verrons bientôt que le moyen à employer pour arriver à ce résultat est d'une exécution facile. En principe, il consiste, comme nous venons de le dire, à retenir *en quantité suffisante* dans le canal de réception, au moment des crues excessives, une partie des matières charriées, et notamment les plus volumineuses.

Ce système de défense, que nous appellerons *retenue partielle des cailloux*, présente un cas particulier qu'il est utile de mentionner : c'est celui où la retenue à opérer est à peu près nulle, parce qu'il suffit, pour prévenir l'exhaussement du lit de déjection, d'y favoriser l'entraînement des matières en prévenant les débordements. Ce cas est applicable à une classe assez nombreuse de torrents que l'on rencontre surtout dans les vallées très-étroites, comme celles des Hautes-Alpes et des Basses-Alpes. Ces torrents n'ont pas de lit d'écoulement, et leur lit de déjection est très-incliné. Malgré cette forte inclinaison et la rareté des gros blocs roulés, il y a encombrement toutes les fois qu'il se forme quelques-unes de ces énormes agglomérations d'eau et de cailloux qui donnent aux crues excessives les caractères d'une débâcle. Lorsque ces masses demi-liquides débouchent dans la vallée, elles sont trop volumineuses pour être contenues dans le chenal que le torrent s'est creusé; il y a débordement, et par suite un dépôt abondant. Si, sans rien changer à la quantité totale des matières amenées, on faisait en sorte qu'elles ne vissent pas toutes à la fois, leur encaissement sub-

sisterait toujours et elles seraient entraînées sans accident jusqu'à la rivière. Il suffirait donc, pour prévenir les ravages exercés par cette classe de torrents, de rendre successive l'arrivée aujourd'hui simultanée des matières charriées, c'est-à-dire de *régulariser leur transport*.

Nous ferons observer que le système de la *retenue partielle* est moins parfait que celui de la *retenue complète*, parce qu'il favorise l'entraînement d'une portion des matières jusqu'à la rivière qui reçoit les eaux du torrent, ce qui est un inconvénient quand on embrasse un bassin hydrographique dans son ensemble. Toutefois l'inconvénient est toujours moindre que si l'on avait recours à l'endiguement, puisque l'entraînement n'est que partiel et ne s'exerce que sur les cailloux les moins encombrants.

Résumé  
des  
moyens proposés.

En résumé, les moyens de défense que nous proposons constituent deux systèmes distincts.

Dans le premier, on retient dans l'intérieur des bassins de réception à peu près la totalité des matières de transport charriées par les crues excessives. Au lieu de les laisser arriver jusque dans la plaine où elles seraient une source de désastres, on les force à se déposer dans des espaces incultes où leur accumulation est inoffensive.

Dans le second système on supprime l'exhaussement du lit de déjection et les débordements en retenant une partie seulement des matières charriées, et entre autres les plus volumineuses; ce qui facilite l'entraînement du reste par les crues affouillantes. Quelquefois même la retenue définitive d'une partie des matières n'est pas nécessaire, il suffit d'empêcher qu'en arrivant toutes à la fois elles n'encombrent le chenal du

torrent; ce qui s'obtient par le simple allongement ou la *régularisation* du transport des cailloux.

Il nous reste à indiquer par quels travaux d'art on peut réaliser ces deux systèmes et à montrer par des exemples que leur application n'offre aucune difficulté.

#### 1° *Retenue complète des cailloux.*

Lorsque la configuration des lieux où coule un torrent se prête au déplacement complet de son lit de déjection, on peut toujours l'opérer par l'établissement de *barrages insubmersibles*.

Emploi  
des barrages  
insubmersibles.

Il est clair que si l'on construit de pareils ouvrages dans l'intérieur d'un bassin de réception, les eaux seront entièrement rejetées hors de leur lit et qu'au moment des crues elles se diviseront en un grand nombre de petits courants suivant la forme et les accidents du terrain à la surface duquel on les fera couler. Il est également évident que le torrent ainsi divisé éprouvera dans sa puissance d'entraînement une diminution énorme qui pourra être poussée aussi loin que la dispersion des eaux elles-mêmes. Le dépôt de presque toutes les matières charriées en sera la conséquence nécessaire. Pour que l'opération ait un succès complet et durable, une seule précaution devra être prise, mais elle est essentielle: c'est que le cours d'eau une fois jeté hors de son lit ne s'en creuse pas un autre dans l'étendue de l'espace destiné aux divagations. Cette condition ne sera pas en général difficile à remplir pour les torrents habituellement à sec auxquels les barrages insubmersibles sont spécialement applicables, car les cours d'eau de cette espèce ne peuvent affouiller qu'à d'assez rares intervalles au moment de leurs crues. Pour empêcher qu'à la longue ces affouillements ne fassent

des progrès, il conviendra en général d'établir plusieurs barrages insubmersibles; savoir: un barrage principal pour faire sortir les eaux de leur lit et d'autres subsidiaires pour les diviser et les subdiviser jusqu'à ce qu'elles soient impuissantes à entamer le sol. L'entretien de ces divers travaux exigera une certaine surveillance qui sera peu coûteuse si elle est continue. Tout le monde sait qu'il est aisé de diriger à son gré des eaux courantes lorsqu'elles sont faiblement encaissées. La difficulté commence lorsque avec le temps elles sont parvenues à se creuser un lit profond. Nous devons ajouter que la construction de barrages insubmersibles sur de petits torrents sera presque toujours une chose facile. La plupart des ouvrages opposés aux cours d'eau périssent par l'affouillement de leur base. Ici rien de pareil n'est à craindre puisque le torrent est complétement détourné. On obtiendra en général à peu de frais un barrage d'une solidité suffisante en comblant le lit avec de gros blocs de rocher entassés jusqu'à une certaine hauteur.

Quelques exemples de torrents dont le lit de déjection est susceptible d'être déplacé, montreront encore mieux que tout ce que nous venons de dire, la possibilité et l'efficacité d'un pareil mode de défense.

Le Gamond est un petit torrent situé à 7 ou 8 kilomètres de Grenoble sur la rive droite de l'Isère. Il coule entre Biviers et Meylan et menace à la fois les propriétés de ces deux communes. Ainsi que le montre la *fig. 6, Pl. I*, il a sa source dans les anfractuosités d'une ligne de rochers A, B, C, à parois très-inclinées et d'une immense hauteur. Deux ravins principaux *ao* et *bo*, auxquels s'embranchent quelques autres sillons moins considérables, tels que *ce* et *df*, recueillent les eaux pluviales qui descendent de ces rochers et les conduisent

au point *o* où elles sont toutes réunies. A partir de là, le torrent a un lit unique qui se dirige presque en ligne droite vers la grande route et s'étend au delà en traversant des terres d'une grande fertilité. Les ravins *ao* et *bo* profonds de plusieurs mètres sont creusés dans le sein d'un terrain meuble d'une grande épaisseur entièrement composé de blocs et de menus fragments de calcaire et de marne. Ces débris ont été produits par la destruction lente du rocher supérieur et se sont accumulés depuis des siècles. La pente du sol et des ravins qui y sont creusés est excessive; elle atteint 30 degrés environ dans le voisinage du rocher; plus bas, un peu au-dessus du point *o*, elle est encore de 15 à 20 degrés. Au-dessous de ce point, l'inclinaison du torrent diminue beaucoup et ses berges deviennent moins élevées. C'est à partir de là que commencent les débordements.

Le Gamond est habituellement à sec, même par une pluie ordinaire; il ne devient dangereux qu'à la suite des fortes averses produites par les orages. Les eaux pluviales qui descendent alors en filets serrés des rochers A, B, C, se concentrent rapidement dans les ravins *ao* et *bo*. Ainsi réunies et douées d'une force impulsive très-considérable en rapport avec la forte inclinaison du sol, elles attaquent facilement le terrain meuble sur lequel elles coulent et poussent devant elles les matières qui s'en détachent. Celles-ci en s'entassant les unes sur les autres gênent le courant, et il en résulte le plus souvent une de ces grandes agglomérations d'eau et de cailloux dont nous avons donné plus haut la théorie détaillée. Cette masse caillouteuse en s'arrêtant plus bas, lorsque la pente et le resserrement du lit deviennent moindres, obstrue le cours du torrent et le fait déborder.

Pendant longtemps les ravages ont eu lieu immédia-

tement au-dessous du point *o* sur une longueur de quelques centaines de mètres. Les terres environnantes étaient les seules exposées. Afin de se défendre, les propriétaires riverains ont resserré cette partie du lit et l'ont revêtue d'un radier ou pavé en pierres à surface bien dressée. Ce travail a été couronné d'un succès assez complet. En diminuant les frottements et la largeur de la section, on a facilité l'écoulement des matières de transport en aval, mais le mal n'a été que déplacé. Si les ravages commencent moins haut, ils s'étendent plus bas, et comme la valeur des terres et le nombre des habitations riveraines augmentent en descendant, il en résulte qu'au point de vue de l'intérêt général la situation est devenue pire.

La cause du mal étant connue, il est évident qu'on la supprimerait en empêchant que les eaux pluviales ne restent encaissées dans le sein des ravins *ao* et *bo* où se forment les agglomérations caillouteuses, et pour cela il suffirait de les faire divaguer dans une partie de l'espace intermédiaire *aob*. Cela n'entraînerait aucun inconvénient parce que, sauf quelques ares de vignes d'un faible rapport, cet espace est entièrement nu ou occupé par des bois taillis en mauvais état et presque sans valeur. Les intéressés pourraient donc acquérir à peu de frais une portion de ce terrain dans le voisinage du point *o*. Il leur serait ensuite facile d'y rejeter le torrent. A cet effet deux barrages principaux construits avec de gros blocs de pierre seraient établis à peu près aux points *x* et *y*. Immédiatement en amont de ces barrages, l'une des berges du ravin serait échancrée et l'autre exhaussée de manière que les eaux ne pussent se répandre que dans l'intérieur de l'angle *xoy*. Là, disséminées sur un espace en partie boisé et subdivisées par les inégalités de sa surface, par la rencontre de gros

blocs et par d'autres obstacles que l'on multiplierait à dessein, elles abandonneraient tous les cailloux entraînés de plus haut et seraient impuissantes à produire de nouveaux affouillements. Rentrées dans leur lit aux environs du point *o*, elles suivraient leur cours ordinaire sans qu'aucun débordement ne fût à craindre, la cause des encombrements ayant été radicalement détruite.

D'après les études faites sur les lieux, la quantité de terrain à acheter serait d'environ 5 hectares dont la valeur ne dépasserait pas 2.600 francs. En y ajoutant 200 francs pour les barrages insubmersibles et les autres obstacles propres à diviser les eaux, on aurait pour les frais la somme totale de 2.800 francs.

On peut estimer à 55.000 ou 40.000 francs au moins la plus-value qu'acquerraient les terres et les habitations riveraines lorsqu'elles seraient délivrées des dangers que le torrent leur fait courir. L'opération serait donc très-avantageuse.

Le Bresson est un des torrents les plus redoutables du département de l'Isère par l'étendue et la violence de ses ravages. On le rencontre tout près du bourg du Touvet, à 3 myriamètres environ nord-est de Grenoble. La grande route de Grenoble à Chambéry est coupée à niveau par son lit de déjection et éprouve chaque année des avaries considérables; souvent le passage est interrompu. Malgré la grande étendue du terrain abandonné aux divagations des eaux torrentielles, celles-ci font des irruptions assez fréquentes sur les propriétés cultivées; on cite particulièrement celles qui ont eu lieu en 1816, 1855 et 1845. En 1816, près de 50 hectares de bon terrain furent recouverts de cailloux et rendus pour longtemps stériles.

Le bassin de réception de ce torrent, *fig. 4* et *5*, appartient au troisième type. Sa partie escarpée est

formée d'une ligne de rochers calcaires A, B, C, d'une hauteur à pic de 300 à 400 mètres, dont les flancs, presque entièrement nus, présentent des sillons irréguliers peu profonds, qui partant de la base s'étendent presque jusqu'au sommet. Au-dessous il y a un bassin spacieux, creusé dans l'intérieur d'une série de couches marneuses qui servent de support aux massés calcaires, ainsi que le montre la coupe *fig. 5*. Ce bassin, en forme d'entonnoir, a pour issue unique une fracture étroite, ouverte dans une seconde ligne de rochers moins puissants et moins élevés que les premiers, dont les bancs s'enfoncent sous les couches marneuses, comme celles-ci sous la grande assise calcaire qui couronne la montagne. Les eaux pluviales qui descendent des escarpements supérieurs sont reçues par des ravins *abm*, *acm*, *adm*, très-inclinés, qui ne tardent pas à se réunir à un tronc commun *mop*. Celui-ci, dont la pente moyenne est de 15 à 20 centimètres par mètre, a été profondément creusé dans le sein d'un amas de débris calcaires peu consistants, qui est en partie couvert de bois et occupe presque en entier le fond du bassin. Ce terrain caillouteux a une épaisseur inconnue, il est le résultat de la dégradation séculaire de la grande ligne de rochers A, B, C. A la suite des pluies violentes et continentes, les eaux qui descendent en abondance de ces rochers se concentrent rapidement dans le ravin principal *mop* et acquièrent bientôt assez de force pour le dégrader; elles s'accumulent derrière les masses énormes de cailloux qui se détachent alors des berges et les poussent dans la plaine avec d'autant plus de violence que la résistance a été plus considérable. Le terrain détritique qui fournit les cailloux ne s'épuise pas; car outre qu'il est fort épais, il est entretenu par les dégradations toujours incessantes des rochers qui

le dominant. Au point *p*, la pente devenant de plus en plus faible, le torrent n'a plus assez de force pour entraîner toutes les matières dont il est chargé. C'est là que commence leur dépôt, qui se poursuit sur une longueur de plusieurs centaines de mètres. Le bourg du Touvet est bâti sur le bord de ce lit de déjection, et par conséquent sans cesse menacé par ses débordements. Pour s'en préserver, les habitants ont construit depuis plusieurs années des murailles élevées et très-épaisses, formant une enceinte presque continue autour des déjections. Comme il était aisé de le prévoir, cette espèce de fortification n'a pas arrêté le dépôt; il continue comme par le passé, et même sa hauteur est annuellement plus considérable, parce qu'il s'étend sur une superficie moindre. Un jour les cailloux, en s'amoncelant, atteindront le couronnement des murailles rendues inutiles, et le torrent, énormément exhaussé, en sera devenu beaucoup plus dangereux. Avant d'arriver jusqu'à l'Isère, les eaux, dont les divagations diminuent à mesure qu'elles abandonnent leurs matières de transport, finissent par se réunir en deux branches *rs* et *tu*, qui représentent le lit d'écoulement. L'espace compris entre deux est néanmoins inculte, personne n'étant assez hardi pour le défricher.

Il résulte des détails dans lesquels nous venons d'entrer que, sauf les dimensions beaucoup plus grandes de son bassin de réception, le torrent de Bresson offre une grande analogie de constitution physique avec le Gamond. L'origine de ses cailloux est semblable et ses ravages ont également pour cause première l'encaissement du canal de réception dans un terrain de débris sans consistance. Les mêmes moyens de défenses lui sont aussi applicables. On doit regarder en effet comme évident que si, au lieu de laisser le torrent couler dans

le ravin *mo*, où au moment des crues il peut détacher du sol beaucoup de cailloux et les pousser au loin, on le divisait en un grand nombre de petits courants superficiels, sa force d'érosion et de transport serait d'un seul coup anéantie. Comme pour le Gamond, la configuration des lieux se prêterait parfaitement à cette opération. A droite et à gauche du canal de réception, il y a un espace de plusieurs centaines de mètres de largeur occupé par des bois taillis et des broussailles de peu de valeur, dont on pourrait disposer pour en faire un champ de divagation. Le défilé *o* étant un point de passage obligé pour toutes les eaux qui descendent du bassin de réception, celles du torrent rentreraient dans leur lit en cet endroit, à peu près pures de matières de transport. Les barrages insubmersibles à établir sur le ravin en deux ou trois points choisis convenablement, par exemple en *x*, *y* et *z*, seraient composés de gros blocs de pierre, pris sur les lieux et entassés jusqu'au-dessus des berges; on les enchaînerait en partie si cela était jugé nécessaire. Quoique le sol où l'on forcerait les eaux à se diviser présente une surface difficilement affouillable, à cause des bois et d'un grand nombre de gros cailloux qui la recouvrent, il serait à craindre que le torrent, s'il était abandonné à lui-même, ne parvînt à la longue à se creuser un second lit aussi profond que celui dont il aurait été chassé. Pour prévenir un pareil accident, il suffirait de visiter après chaque crue le bassin de réception en aval des barrages. Aussitôt qu'il se formerait un sillon un peu profond, on le comblerait avec de grosses pierres et l'on détournerait les eaux en les barrant avec quelque quartier de rocher. La dispersion torrentielle serait ainsi maintenue à peu de frais, et tant qu'elle subsisterait on n'aurait à redouter aucun dépôt dans la plaine.

Nous avons évalué à 12.000 ou 15.000 francs au plus le prix d'acquisition par voie amiable ou par expropriation forcée du terrain nécessaire à la dispersion du torrent, ainsi que les frais de construction des barrages insubmersibles à établir aux points *x*, *y*, *z*. Cette somme sera jugée minime si l'on songe que le résultat de l'opération doit être de rendre plus tard cultivable près de 100 hectares de terrain, de délivrer un bourg populeux et les propriétés environnantes du danger toujours imminent d'une irruption désastreuse, et d'assurer en tout temps le passage sur une route importante.

Nous pourrions, sans sortir de la vallée de l'Isère, citer d'autres torrents auxquels les barrages insubmersibles seraient applicables; mais les exemples qui précèdent nous paraissent suffire pour donner une idée nette de ce mode de défense et de la facilité de son application.

#### 2° Retenue partielle des cailloux.

Lorsque le déplacement du lit de déjection d'un torrent dans un bassin situé en amont n'est pas possible, cela tient ordinairement à ce que la masse des cailloux charriés étant très-considérable, l'espace manque pour les faire déposer. Cette difficulté disparaît si la retenue, au lieu de s'exercer sur tous les cailloux indistinctement, ne s'opère, ou tout au moins n'est définitive que pour les blocs de rocher et les galets volumineux; car ceux-ci ne sont en général qu'une fraction assez petite de la masse des matières charriées, et l'on peut toujours, sans sortir du torrent et en embrassant une étendue suffisante de son cours, trouver des emplacements assez vastes pour leur accumulation pendant une longue suite d'années.

Les travaux d'art les plus simples et les plus efficaces pour opérer la retenue partielle des cailloux sont les

Barrages  
submersibles;  
leur théorie.

*barrages submersibles*. Afin d'expliquer clairement la théorie de ces sortes de barrages et de montrer combien ils sont propres à l'usage nouveau auquel nous les destinons, nous prendrons immédiatement un exemple. Nous allons considérer un canal de réception auquel nous supposerons une largeur assez considérable pour que le torrent ne puisse en occuper qu'une faible partie, même au moment des grandes crues, ce qui est un cas assez fréquent. Nous avons dit, en décrivant les lits de déjection, que leurs limites n'étaient pas nettes et que le dépôt des matières de transport se prolongeait dans le canal de réception jusqu'à une certaine distance. Il en résulte que souvent les eaux torrentielles commencent à divaguer dans l'intérieur des gorges avant de déboucher dans les vallées. En se portant tantôt vers une rive, tantôt vers l'autre, elles les corrodent et produisent un élargissement considérable du lit hors de proportion avec le volume du courant. Soit *abcd* (fig. 8) la section transversale d'un canal de réception qui se trouve dans ce cas : s'il survient une crue excessive, il ne faut pas croire que les eaux occuperont toute cette étendue en présentant partout à peu près la même profondeur ; cela n'a jamais lieu. On observe constamment que le torrent se jette tout d'un côté ou tout de l'autre (1). Ce fait est d'ailleurs facile à comprendre : les graviers n'offrant pas la même résistance et la force

(1) En général, c'est vers la rive la plus escarpée que le courant tend à se fixer. Cette tendance, depuis longtemps remarquée, n'a pas encore été expliquée d'une manière bien nette. Nous pensons qu'on doit l'attribuer à ce que la vitesse d'un cours d'eau n'étant jamais exactement parallèle à l'axe de son lit, est brisée par la rencontre d'une berge, lorsque celle-ci est verticale ou fortement inclinée. Il en résulte une chute intermittente le long de cette berge qui a pour effet d'en creuser le pied.

du courant n'étant jamais parfaitement égale sur tous les points de la même section, il est inévitable que certaines parties du lit soient plus affouillées que d'autres. Dès qu'il s'est établi une différence de niveau un peu sensible, les eaux se portent de préférence vers l'endroit le plus bas. Leur profondeur et leur vitesse deviennent donc plus grandes là où l'érosion a été la plus active et par ce fait même l'érosion augmente encore. Il y a ici deux actions, alternativement cause et effet, dont l'énergie va toujours en croissant et qui tendent ensemble à concentrer le torrent sur un même point. Il en résulte un courant unique, profond, d'une puissance irrésistible ; quelquefois à côté les graviers sont apparents ou recouverts seulement de quelques centimètres d'eau. Soit maintenant *mn* (fig. 9) le profil en long du canal de réception dont la fig. 8 offre la section transversale. Supposons qu'au point *o* on construise un barrage submersible occupant toute la largeur de la section, sa hauteur étant représentée par la ligne *oh*. Un pareil ouvrage modifiera le lit de deux manières. D'abord la pente moyenne sera diminuée en amont, et même, si l'on mène par le sommet *h* du barrage une ligne horizontale *hi* prolongée jusqu'à la rencontre du gravier, il y aura contre-pente dans tout l'espace *ohi*, dont l'étendue sera d'autant plus grande que le barrage sera plus élevé. En second lieu, les eaux du torrent, quand elles arriveront sur le barrage, ne pourront plus comme auparavant se concentrer sur un seul point ; elles trouveront là un seuil résistant, horizontal, qui les obligera à s'étendre et à couler en nappe. Il y aura donc un élargissement considérable dans la section du courant, ce qui déterminera une diminution proportionnelle dans sa profondeur. Comme ces deux modifications sont de nature à affaiblir très-notablement la puissance d'entraî-

nement du torrent, on doit en conclure qu'elles auront pour effet de provoquer le dépôt d'une partie des matières charriées.

L'expérience est parfaitement d'accord avec le raisonnement précédent. L'observation prouve, en effet, que toutes les fois qu'un barrage submersible construit sur un cours d'eau torrentiel produit, outre une diminution de pente, un élargissement considérable de section, il se forme en amont un atterrissement qui ne cesse de faire des progrès que lorsque par suite de l'accumulation des matières de transport et de l'encaissement du cours d'eau dans leur sein, les profils en long et en travers du lit sont devenus à peu près semblables à ce qu'ils étaient d'abord. Ce principe est fondamental.

L'expérience prouve aussi que la diminution de pente et l'élargissement de section ne contribuent pas dans le même rapport à la formation de l'atterrissement. C'est l'élargissement de section qui a le plus d'influence. En effet, si l'on barre une rivière renfermée entre des berges verticales et assez élevées pour que la section du courant n'augmente que dans le sens de la hauteur, il ne se produit pas de dépôt sensible en amont du barrage, quoique la vitesse de l'eau ait éprouvé une diminution notable. Ce fait, en apparence singulier, s'explique cependant par cette considération que si d'un côté le barrage diminue la pente, de l'autre elle augmente la profondeur de la rivière. Ces deux effets, en agissant en sens contraire sur la puissance d'entraînement, se neutralisent en partie. Il faudrait donner au barrage une hauteur inusitée pour que, sous l'influence seule de l'affaiblissement de la pente, il se formât en amont un dépôt considérable.

Après avoir montré que la construction du barrage submersible *oh* (fig. 9) aura nécessairement pour effet

de provoquer le dépôt des matières charriées, il nous reste à examiner suivant quelles lois se fera ce dépôt. Sa formation comprendra deux périodes qu'il importe de distinguer : pendant l'une, l'espace *ohi*, où il y a contre-pente, se comblera jusqu'au niveau d'un plan horizontal passant par la ligne *hi*; pendant l'autre, il s'accumulera au-dessus de ce plan horizontal une certaine quantité de matières jusqu'à ce qu'enfin le torrent puisse s'encaisser dans leur sein et recouvrer sa pente primitive. Il est aisé de voir que pendant la première période les progrès de l'atterrissement doivent être très-rapides; car par l'effet de la contre-pente et surtout par la nécessité où sont les eaux de couler constamment en nappe mince, le barrage occasionne une diminution énorme dans la puissance d'entraînement. Non-seulement les gros cailloux, mais le menu gravier et même le sable fin amené par les crues les plus faibles seront retenus. Par conséquent, si la masse des matières charriées par le torrent est considérable, comme c'est l'ordinaire, la durée de cette première période sera très-courte. Au commencement de la seconde, lorsque les déjections ont atteint le plan horizontal *hi*, il est évident que leur exhaussement doit continuer, car si la pente n'est plus négative dans l'intérieur de l'espace *ioh*, elle y est encore nulle, et la dispersion des eaux par l'effet du barrage subsiste dans toute son intégrité. A la première occasion, il se formera donc au-dessus du plan horizontal un nouveau dépôt plus ou moins épais dont la section longitudinale *ihk* sera en général de forme triangulaire, ainsi que le montre la fig. 9. A partir de ce moment, l'atterrissement fera encore des progrès, mais ils ne seront plus continus comme auparavant, à cause de l'action opposée des crues qui, suivant leur degré d'intensité, seront les unes affouillantes

et les autres encombrantes. Supposons d'abord qu'il survienne une crue faible, telle que le courant puisse s'encaisser en entier, sur une petite largeur, dans l'épaisseur du prisme d'alluvion *ihk*. Comme une pareille crue devient bientôt affouillante pour peu qu'elle se prolonge, elle se creusera un lit. Le barrage étant alors sans influence pour diminuer la puissance d'entraînement des eaux, celles-ci continueront à exercer leur action érosive sur les alluvions déjà déposées et en feront disparaître une partie. Considérons maintenant une crue trop forte pour que les eaux, en se creusant un lit dans le sein des alluvions, puissent y être contenues entièrement. Dans ce cas, leur dispersion sera forcée, leur puissance d'entraînement éprouvera un affaiblissement notable, et une partie des cailloux charriés se déposeront en amont du barrage; en sorte que le prisme d'alluvion *ihk*, au lieu d'être diminué s'accroîtra. Il est essentiel de remarquer que les cailloux amenés par une forte crue étant ordinairement d'un volume très-inégal, ce sont les plus gros qui se déposeront de préférence à la rencontre du barrage submersible. Lorsqu'après ce dépôt il surviendra des crues affouillantes, un nouveau triage aura encore lieu; le menu gravier et les cailloux de médiocre grosseur seront emportés par l'érosion, tandis que les gros blocs et les galets volumineux resteront en place. Ceux-ci s'entasseront donc avec le temps et, à la longue, ce sont eux qui formeront un atterrissement difficilement affouillable, dans le sein duquel le torrent finira par s'encaisser d'une manière permanente.

On voit par l'analyse précédente qu'il en est d'un lit de déjection créé artificiellement à l'aide d'un barrage submersible comme des lits de déjection naturels. Leur exhaussement est la différence de deux actions oppo-

sées, l'une encombrante et l'autre érosive. Il n'y a, en effet, aucune raison pour qu'il n'en soit pas ainsi; car un cours d'eau doit agir de la même manière sur toutes les parties de son lit qui se trouvent dans les mêmes conditions relativement à sa puissance d'entraînement. Nous ferons observer aussi que la présence d'un barrage, loin de nuire à l'action des crues affouillantes, comme on pourrait d'abord le croire, tend au contraire à la favoriser. Lorsque dans les lits de déjection ordinaires les eaux d'une crue modérée attaquent un dépôt de cailloux, elles ne tardent pas à s'y encaisser profondément, en sorte que toutes les crues qui viennent après sont obligées de suivre les mêmes traces. Comme la résistance du lit ainsi creusé va toujours en croissant à cause de l'accumulation des gros cailloux qui restent en place, il arrive bientôt un moment où l'érosion ne fait plus de progrès. Quand il y a un barrage, les eaux ne peuvent pas affouiller beaucoup en profondeur, mais rien ne gêne leur action érosive latéralement, et dans ce sens, la résistance ne va pas en augmentant. En outre, le sillon tracé par une crue étant peu profond n'est pas nécessairement le même que celui de la crue suivante. Toute la surface des alluvions est par conséquent exposée successivement à l'érosion. Si la divagation naturelle des crues affouillantes n'était pas suffisante, il serait facile de l'augmenter artificiellement en barrant les sillons à leur origine.

Ce que nous venons d'exposer peut être résumé en quelques mots, en disant que *lorsqu'il s'est formé un atterrissement par l'effet d'un barrage submersible, les crues qui surviennent tendent à le diminuer ou à l'augmenter suivant qu'elles peuvent ou ne peuvent pas s'encaisser dans le sein des alluvions déjà déposées*. On doit ajouter que les crues excessives ayant pour effet d'a-

mener des cailloux volumineux qui résistent à l'action des crues affouillantes; ces cailloux en s'accumulant sans cesse doivent former à la longue un dépôt assez épais pour que le torrent puisse s'y creuser un lit permanent.

Faits à l'appui  
de la théorie  
précédente.

La théorie précédente n'est point une pure conception de l'esprit : elle est fondée sur l'observation. Nous avons fait construire sur le torrent de Roise (Isère) plusieurs barrages dont il sera question dans la suite. L'un d'eux, qui a 26 mètres de longueur et 2<sup>m</sup>,50 de hauteur, a été entièrement achevé dans le courant du mois de juillet 1853. Depuis cette époque, le torrent a éprouvé un grand nombre de crues, les unes fortes, les autres faibles. Voici quel a été l'effet de ces diverses crues : Celles qui sont arrivées immédiatement après la construction du barrage ont comblé très-rapidement l'espace de réservoir créé en amont. Cet espace, ainsi nivelé, a présenté d'abord une surface sensiblement horizontale, puis une faible pente qui s'est accrue peu à peu et qui s'augmente encore aujourd'hui, mais de moins en moins, à mesure qu'elle s'approche d'une certaine limite que le temps fera connaître. Malgré l'accroissement de la pente, la surface de l'atterrissement est restée sensiblement plane depuis 1853, sauf la présence de quelques sillons peu profonds creusés dans son sein tantôt sur un point, tantôt sur un autre. Lorsqu'il survient une crue un peu forte, les sillons disparaissent; les eaux coulent en nappe sur toute l'étendue du barrage. C'est alors que le dépôt déjà formé s'accroît d'une nouvelle couche et que sa pente augmente. Si au lieu d'être forte, la crue est très-faible, le courant étant peu volumineux s'encaisse dans le sein des graviers. De là des sillons qui tendent à s'élargir et dont le creusement a pour effet de faire disparaître une partie des matières

déposées. L'accroissement des alluvions retenues par le barrage n'est donc plus aujourd'hui et depuis longtemps que l'excès d'une série de dépôts intermittents sur des affouillements successifs, peu énergiques, mais nombreux.

On voit par ces détails que l'observation confirme tous les raisonnements que nous avons faits sur l'action opposée des crues, d'après leur degré d'intensité, ou pour parler plus exactement et d'une manière plus conforme à la marche suivie dans nos études, nous dirons que c'est sur ces faits et d'autres semblables que nous avons fondé notre théorie.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire des barrages submersibles que si l'on établit un ouvrage de cette espèce en travers d'un cours d'eau torrentiel, de manière à produire un élargissement considérable dans la section du courant, on obtiendra successivement deux effets distincts. En premier lieu et pendant un certain temps, toutes les fois qu'il y aura une crue, qu'elle soit faible ou forte, les matières charriées s'arrêteront sans distinction de grosseur; il y aura une *retenue complète des cailloux*. En second lieu, pendant une autre période de temps, s'il survient une crue excessive, les matières charriées seront encore obligées de se déposer au moins en grande partie, mais il arrivera ensuite des crues affouillantes qui attaqueront le dépôt formé, en sépareront le menu gravier et ne laisseront que les galets et les blocs trop pesants pour être entraînés; il y aura une *retenue partielle des cailloux* comprenant les plus volumineux. Ces effets sont précisément ceux qui servent de base aux deux systèmes de défense que nous avons proposés. Les barrages submersibles sont donc propres à réaliser l'un et l'autre, toutefois avec un succès inégal. La plupart

Emploi  
des barrages  
submersibles.

des cours d'eau torrentiels charrient trop de gravier, de sable et de cailloux pour que la *retenue complète* de ces matières en amont d'un barrage puisse durer longtemps, quand même on donnerait à l'ouvrage une grande hauteur. Au bout de quelques crues, les alluvions auront atteint son couronnement. L'expérience a déjà prouvé dans plusieurs cas qu'il en était ainsi. Quant à la *retenue partielle*, elle n'est pas sujette à la même objection. Tout indique, au contraire, qu'elle doit être de longue durée. L'atterrissement qui se forme dans ce cas n'est composé que des plus gros cailloux ; or leur proportion est fort petite relativement au sable, au gravier et aux galets de dimensions médiocres qui composent presque en totalité les matières charriées par les torrents. En outre, les crues excessives qui amènent les gros cailloux sont heureusement les plus rares ; les crues modérées qui déblayent le lit sont les plus nombreuses et les plus longues. L'excès des dépôts sur les affouillements sera par conséquent en général peu considérable, ou, en d'autres termes, il faudra un temps très-long avant que l'accumulation des blocs et des cailloux volumineux nécessite la construction d'un nouvel ouvrage. D'un autre côté, il est essentiel de remarquer qu'indépendamment des gros cailloux, les autres matières étant retenues, au moins en partie, au moment des crues excessives et n'étant entraînées ensuite que peu à peu, *leur transport est régularisé*. Dans aucun cas elles ne peuvent arriver en masse et toutes à la fois dans le lit de déjection du torrent, ce qui prévient les débordements. Les barrages submersibles sont donc éminemment propres à réaliser notre second système de défense dans toute son étendue. Ce sont d'ailleurs des travaux simples, en général peu coûteux et d'une exécution facile.

Les règles à suivre pour l'emploi des barrages submersibles se déduisent du but que l'on se propose. Un barrage de cette espèce étant destiné à provoquer le dépôt des matières de transport au moment d'une crue excessive, et ce résultat étant principalement obtenu par la dispersion des eaux, il est clair que son efficacité sera d'autant plus grande qu'il aura plus de longueur à son couronnement. Ainsi, il conviendra en général de choisir pour son emplacement l'endroit où le lit du torrent sera le plus large. Plus le seuil sur lequel les eaux seront obligées de s'étendre sera long, plus elles éprouveront de diminution dans leur puissance d'entraînement ; plus, par conséquent, le dépôt des cailloux sera assuré et complet. D'un autre côté, il y aura avantage à ce que les matières déposées occupent une vaste surface ; elles auront moins d'épaisseur et seront plus facilement attaquables par les crues affouillantes qui doivent les dépouiller de leur menu gravier. La durée de l'efficacité de l'ouvrage sera augmentée.

Pour que les eaux soient forcées de s'étendre en une nappe partout d'égale épaisseur, il faudra en général que l'arête culminante du barrage soit bien horizontale. Cependant cette règle pourra souffrir des exceptions. Si, par l'effet de la configuration des lieux, le torrent avait une tendance marquée à se porter plutôt d'un côté que de l'autre, il conviendrait de donner plus de hauteur à la partie du barrage faisant face à la direction du courant. Par l'effet de cet exhaussement, l'eau et les matières charriées, s'il survenait une crue, seraient dispersées d'une manière plus égale. Le but qu'il s'agit d'atteindre ayant été clairement défini, c'est lui qui devra servir de guide dans chaque cas particulier.

La hauteur à donner à un barrage dépend des cir-

constances; en général il ne faut pas qu'elle soit considérable. Avant d'adopter une grande hauteur, par exemple, celle de 2 à 5 mètres, on devra peser les avantages et les inconvénients. Les avantages sont un affaiblissement plus grand de la pente, et ordinairement une augmentation de longueur dans le couronnement de l'ouvrage. Cette augmentation est surtout sensible quand un torrent est compris entre des berges très-évasées. Les inconvénients sont une augmentation de dépense, résultant surtout de ce que, plus un barrage est élevé, plus il faut prendre de précautions pour empêcher qu'il ne périsse par l'affouillement de sa base. On doit aussi avoir égard à l'encaissement plus ou moins profond du torrent et ne pas élever son lit au point que des débordements soient à craindre.

Le nombre des barrages qu'il conviendra d'établir dans le lit supérieur d'un torrent est un point délicat et d'une grande importance. De là dépend la suppression plus ou moins complète du lit de déjection. Il est évident que plusieurs barrages placés à la suite les uns des autres agissent dans le même sens, et que leurs résultats s'ajoutent. On devra donc régler leur nombre d'après la quantité de cailloux qu'il sera nécessaire de retenir au moment des crues excessives. Le mieux sera de s'aider de l'expérience dans cette détermination difficile. Après avoir construit un ou deux de ces ouvrages, on observera pendant quelques crues leur effet sur le lit de déjection. Si cet effet est insuffisant, on cherchera à calculer dans quel rapport il faudrait l'augmenter pour obtenir un plein succès. La plupart des torrents ont un canal de réception assez étendu pour qu'on puisse y multiplier les barrages en les espaçant convenablement. On sera donc toujours le maître de proportionner l'énergie de ce système de défense à la grandeur du mal que l'on

aura à combattre. Nous pensons qu'il n'est pas de lit de déjection où l'on ne puisse prévenir par ce moyen l'arrivée en masse des cailloux et les débordements qui en sont la conséquence.

La construction des barrages submersibles exige beaucoup plus de soins que lorsqu'ils sont insubmersibles, à cause des dangers que fait naître la chute des eaux. Pour que de pareils ouvrages ne soient pas emportés, il faut, en les établissant, satisfaire aux trois conditions suivantes: 1° la crête doit offrir une résistance telle que le passage des cailloux ne puisse l'entamer; 2° le pied doit être garanti contre l'affouillement par un radier ou par des enrochements inébranlables; 3° enfin il faut que les extrémités soient enracinées assez profondément dans les berges pour que le torrent ne puisse les tourner. L'expérience nous a appris que l'on satisfaisait très-bien à ces trois conditions, quelque impétueux que fût le torrent, en construisant le barrage avec de grosses pierres contiguës, disposées par files et superposées les unes aux autres, de manière à former une série de gradins. Les blocs de la file la plus élevée ou du couronnement sont tous reliés, soit entre eux, soit aux berges, par des chaînons en fer. Il en est de même de la file la plus basse qui, étant enterrée dans les graviers, fait l'office de radier. Quand les berges n'offrent pas un point d'attache d'une solidité suffisante, on en crée un artificiellement par l'entassement d'un certain nombre de gros blocs également enchaînés. Les pierres sont employées à l'état brut; souvent on les trouve éparses dans le lit même du torrent. La construction du barrage est alors fort peu dispendieuse.

Dans les localités où il serait difficile de se procurer des pierres d'une grosseur suffisante, si ce n'est à grands frais, on pourrait former les barrages d'une

file de pieux et de palplanches profondément enfoncés dans le sein du gravier, reliés à leur partie supérieure par des moises et recouverts d'un chapeau horizontal en charpente. On ne mettrait alors des enrochements qu'à la base en aval, afin de prévenir les affouillements.

Barrages  
échelonnés.

Nous avons supposé jusqu'ici que la partie du canal de réception d'un torrent où l'on établissait un barrage submersible offrait une grande largeur relativement à celle du courant au moment des crues. Cela n'est pas toujours vrai. Quelquefois un canal de réception est partout étroit, profondément encaissé et à berges très-convergentes, ainsi que le montre la *fig. 10*; ce qui fait que le torrent l'occupe en entier lorsqu'il grossit. Si dans ce cas on se bornait à barrer le fond du lit, on n'obtiendrait pas un espace d'une étendue suffisante pour la retenue, même partielle, des cailloux, et la régularisation de leur transport. Il faut, pour créer cet espace, exhausser le niveau des graviers jusqu'à ce que la largeur du lit submersible soit devenue au moins double ou triple de ce qu'elle était. On y parviendra, soit à l'aide d'un seul barrage très-élevé, soit par le moyen de plusieurs barrages échelonnés les uns au-dessus des autres : ce dernier système paraît préférable. On commencera par établir un barrage d'une médiocre hauteur; puis, lorsque l'espace situé immédiatement en amont aura été nivelé, on en construira un second semblable au premier, à quelques mètres de distance, et ainsi de suite en s'élevant sur les atterrissements au fur et à mesure de leur formation. La vitesse de l'eau qui tombera de cascade en cascade sera brisée à chaque chute, et les affouillements ne seront pas difficiles à prévenir. Les remblais ne coûteront d'ailleurs rien, puisqu'ils seront opérés par le torrent lui-même.

Les torrents à canaux de réception en forme de V, que nous considérons ici, sont précisément ceux dont le fond est susceptible d'être barré momentanément par leurs matières de transport, ce qui donne naissance aux grandes agglomérations d'eau et de cailloux, et par suite aux débâcles désastreuses dont il a déjà été question plusieurs fois. Il est évident que les barrages échelonnés dont nous venons de parler, en produisant de distance en distance des élargissements considérables dans la section du lit et en brisant la vitesse du courant par des chutes multipliées, auront pour effet de dissoudre ou d'allonger extrêmement les agglomérations caillouteuses, si elles se forment, et par conséquent d'en faire disparaître tout le danger. Cet effet des barrages, dans ce cas particulier, nous paraît certain. Il est d'une haute importance, car les crues irruptives caractérisent un grand nombre de torrents; c'est même le trait le plus distinctif de ceux que l'on rencontre habituellement dans les Hautes-Alpes et les Basses-Alpes.

Quelquefois, bien que cela soit assez rare, un torrent, avant de déboucher dans son lit de déjection, coule dans une fente étroite et à parois presque verticales, comme celle que représente la *fig. 11*. Lorsqu'il en est ainsi, les barrages submersibles ne peuvent plus être employés, parce que, même en les échelonnant les uns au-dessus des autres, on ne parviendrait pas à augmenter suffisamment la largeur du lit. Il faut donc, pour opérer la retenue des cailloux, avoir recours à des travaux d'une autre espèce. Ceux dont nous proposerons l'emploi sous le nom de *labyrinthe de retenue* consistent en un barrage insubmersible AB, *fig. 12*, ayant au milieu un pertuis *o* assez large pour le libre passage des eaux lorsque les crues sont modérées, et insuffisant

Labyrinthes  
de retenue.

quand elles sont excessives ; ce qui donne lieu , dans ce dernier cas à un reinou. En outre, on établit en amont, à une distance convenable, un massif inébranlable M, à base triangulaire, destiné à briser la vitesse des eaux et à diviser le courant au moment des fortes crues. Il est clair qu'un pareil système de travaux aura une grande influence pour diminuer la puissance d'entraînement du torrent quand ses eaux seront très-grosses, et qu'il en résultera un dépôt abondant pendant leur période de saturation. Cette influence sera au contraire nulle en temps de crue ordinaire, parce que le courant pourra alors passer tout entier à droite ou à gauche de l'obstacle M et par le pertuis o; par conséquent si la crue est affouillante, rien n'empêchera son action érosive. Il est vrai qu'il y aura sinuosité dans le parcours des eaux, mais la diminution de vitesse que cela pourra occasionner sera largement compensée par la chute due à l'accumulation des matières retenues antérieurement. Il y aura donc, comme en amont des barrages submersibles, dépôt des matières charriées quand les crues seront excessives, et affouillement du dépôt quand elles seront modérées. La retenue ne sera définitive que pour les cailloux les plus volumineux, le transport du reste étant simplement régularisé.

En faisant varier la disposition des diverses parties qui composent un labyrinthe, on pourra augmenter ou diminuer à volonté sa puissance de retenue. On l'augmentera en diminuant l'ouverture du pertuis o et en rapprochant l'obstacle M de ce pertuis; on la diminuera en faisant tout le contraire. Il est clair aussi que l'effet sera doublé si l'on place deux labyrinthes à la suite l'un de l'autre, comme dans la *fig. 12*.

Comme l'efficacité des labyrinthes, d'après la théorie que nous venons d'en donner, est indépendante de la

largeur plus ou moins grande du lit, il est clair que l'on pourrait s'en servir dans tous les cas où nous avons proposé d'établir des barrages submersibles. Nous n'avons donné la préférence à ces derniers que parce qu'ils sont d'une construction plus simple, et que l'expérience a déjà prouvé qu'ils favorisaient l'action des crues affouillantes, ce qui est important afin que l'ouvrage ne soit pas encombré au bout de peu de temps.

Il est des circonstances où l'emploi simultané des labyrinthes de retenue et des barrages submersibles pourrait être avantageux, les premiers devant servir d'auxiliaires aux seconds : par exemple si les barrages établis n'ayant pas assez de longueur, ou étant trop peu nombreux faute d'emplacements convenables, on sentait la nécessité d'augmenter leur puissance de retenue. Ce cas pourrait se présenter si le canal de réception d'un torrent était très-court, ou s'il avait une section intermédiaire entre celles des *fig. 10* et *11*. C'est l'étude des lieux qui devra décider dans chaque cas particulier de la meilleure combinaison de travaux à adopter.

Le canal de réception d'un torrent, quelle que soit sa forme, peut être rapporté à l'un des trois types représentés par les *fig. 8, 10* et *11*.

Généralité  
des moyens  
de défense  
précédents.

Le premier type est celui d'un lit trop large pour que le courant, quelque forte que soit la crue, puisse l'occuper en entier. Cela arrive lorsque la pente du sol étant faible et sa résistance à l'érosion médiocre, le torrent charrie beaucoup de cailloux. Il divague alors entre ses berges, attaque tantôt l'une et tantôt l'autre et finit par envahir un espace considérable.

Le deuxième type est celui d'un lit très-étroit et à berges évasées : tels sont la plupart des ravins. Ce cas se réalise lorsque le torrent a une inclinaison très-forte et coule sur un sol friable. Alors l'influence toute-puis-

sante de la pesanteur ne permet pas aux eaux de divaguer et les fixe sur la ligne de plus grande pente; ce qui n'empêche pas aux berges de se dégrader et de prendre un talus plus ou moins considérable.

Le troisième type comprend les fentes étroites, ouvertes dans le sein de roches très-dures. Lorsqu'un torrent est ainsi encaissé, ce qui est accidentel, il occupe en entier le fond de son lit. Celui-ci n'est pas l'ouvrage des eaux; il est surtout le résultat des dislocations géologiques éprouvées par le sol.

D'après ce qui précède, notre deuxième système de défense est applicable aux trois formes de lit que nous venons de distinguer. On emploie pour la première des barrages submersibles d'une faible hauteur; pour la seconde, un système de barrages échelonnés, et pour la troisième, des labyrinthes de retenue. On peut même se servir simultanément des barrages et des labyrinthes afin de suppléer à l'efficacité des uns par celle des autres. En outre on est le maître, soit en multipliant ces sortes d'ouvrages, soit en faisant varier les détails de leur construction, de régler à volonté leur puissance de retenue et de la proportionner à l'effet que l'on veut obtenir. Nos moyens de défense conviennent donc à tous les torrents dans quelques conditions physiques qu'ils se trouvent.

Réduction  
des lits  
de déjection.

Nous avons supposé jusqu'à présent que les barrages submersibles destinés à la retenue partielle des cailloux étaient placés dans le canal de réception d'un torrent. Dans un assez grand nombre de cas on peut les établir dans le lit de déjection même qu'il s'agit de combattre. Cela est possible toutes les fois que celui-ci est très-étendu et que sa partie supérieure est comprise entre des limites naturelles que les déjections ne peuvent franchir. En construisant un barrage dans

toute sa largeur, on le divise alors en deux régions qui deviennent très-distinctes. Dans l'une qui est la plus élevée et où nous supposons les divagations torrentielles naturellement bornées, on concentre les dépôts; dans l'autre située immédiatement en aval, on supprime l'exhaussement: par cette opération on réduit le lit de déjection.

Il est souvent plus facile de réduire un lit de déjection que de le supprimer parce qu'en plaçant un barrage submersible dans son sein, on peut en général lui donner une grande longueur, et que l'on dispose d'un vaste espace pour l'accumulation des matières retenues. Cette réduction n'est d'ailleurs qu'un cas particulier de la suppression complète et a pour base la même théorie. Elle convient surtout aux grands torrents et aux rivières torrentielles qui charrient une masse considérable de cailloux.

Après que l'on a établi en nombre suffisant les ouvrages propres à supprimer ou à réduire un lit de déjection, il est souvent nécessaire, afin de mieux assurer la défense, d'en construire d'autres complémentaires dont il nous reste à parler.

Barrages  
complémentaires.

Lorsqu'un lit de déjection est très-vaste, sa pente n'est pas ordinairement la même dans toute son étendue. Elle peut être beaucoup plus forte dans la région voisine du canal de réception qu'à l'extrémité opposée. Si, par l'effet des barrages de retenue, les eaux arrivent pures ou presque pures dans cette région où sont entassées des matières sans consistance, elles les attaqueront avec facilité. Les produits de l'affouillement entraînés plus bas se déposeront sur les points où la pente sera plus faible, en sorte que l'exhaussement sera seulement déplacé; il se fera dans le voisinage du canal d'écoulement et avec des matières arrachées au lit de déjection

lui-même (1). Pour prévenir un pareil accident, il suffit de s'opposer à l'affouillement des déjections. Les travaux qu'il convient d'employer dans ce but sont encore des barrages submersibles, mais de dimensions beaucoup moindres que ceux dont la destination est de retenir les matières de transport. Quelquefois ces ouvrages sont construits au niveau des graviers ou même un peu au-dessous; on les appelle alors des *barrages-radiers*. Le plus souvent on leur donne une certaine élévation; ils sont alors connus dans les Alpes sous le nom de *murs de chute*.

Les barrages-radiers et les murs de chute sont employés depuis longtemps comme moyens de défense, afin de protéger contre l'érosion les berges et le fond du lit d'un cours d'eau, mais jamais pour produire un élargissement de section et provoquer par là un atterrissement. Aussi les règles à suivre pour leur emplacement sont-elles toutes différentes de celles que nous avons données pour les grands barrages submersibles. Au lieu de les placer comme ceux-ci sur les points où le torrent en divagant occupe un grand espace, on les construit dans les parties les plus resserrées du lit, là où l'affouillement est à craindre.

(1) Le torrent de la Sigouste, près de Montmaur (Hautes-Alpes) offre un exemple remarquable du remaniement des déjections. Ce torrent, après avoir dépassé le village, s'étend sur une grande surface et abandonne toutes ses matières de transport. Les filets d'eau épars se réunissent ensuite et acquièrent bientôt assez de force pour raviner le sol caillouteux sur lequel ils coulent. Le produit de cet affouillement va se disposer plus loin et recouvre quelquefois la grande route de Gap à Veynes. La Sigouste a donc deux lits de déjection: l'un est alimenté par des débris de rocher venant directement des sources du torrent, et l'autre par ces mêmes débris déposés à une certaine époque et repris une seconde fois par les eaux.

Les murs de chute, quoique plus coûteux que les barrages-radiers, nous paraissent en général préférables, parce qu'ils ont l'avantage de régulariser la pente, ce qui est le meilleur moyen d'empêcher qu'un affouillement, en se faisant sur un point, ne donne lieu à un exhaussement sur un autre. Soit *ab* (fig. 13) le profil en long d'un lit de déjection dont la pente (beaucoup exagérée dans la figure) n'est pas uniforme. Pour la régulariser, il suffira d'établir sur un certain nombre de points *s, t, v, u* des murs de chute à chacun desquels on donnera une hauteur convenable facile à calculer. Considérons, par exemple, le mur de chute à élever au point *u*; soit *P* la pente moyenne du lit entre ce point et l'emplacement *v* du barrage immédiatement supérieur. Appelons *p* la pente moindre et uniforme que l'on veut donner au lit; *L* la distance horizontale *vi* des points *v* et *u*; *h* la hauteur cherchée *uk* du mur de chute. Comme *P* et *p* sont représentés par leur tangente, on aura  $P = \frac{h + ki}{L}$  et  $p = \frac{ik}{L}$ , d'où l'on tire  $h = L(P - p)$ . Comme il y aurait des inconvénients à ce que *h* fût très-grand, on serait obligé, si *P* avait une valeur considérable, de diminuer *L*, c'est-à-dire que les murs de chute devront être d'autant plus rapprochés que la pente à réduire sera plus forte.

Lorsque par de grands barrages submersibles on a supprimé l'exhaussement d'un lit de déjection, et que par des barrages-radiers ou des murs de chute on a empêché que les déjections ne soient elles-mêmes affouillées et n'occasionnent des dépôts en aval, on a fait tout ce qui est nécessaire pour que le torrent ait un lit permanent et régulier. S'il est coupé par une grande route, rien n'empêchera alors d'établir un pont au point d'intersection. Dans ce cas, il est encore une

précaution essentielle à prendre. Quand on construit un pont, on protège les culées sur chaque rive en amont et en aval par le moyen d'un perré de quelques mètres de longueur. En outre, le lit étant resserré entre les culées, et les affouillements étant plus particulièrement à craindre sur ce point, on les prévient par la construction d'un radier. Ces divers travaux, en diminuant les résistances et l'étendue du périmètre mouillé, augmentent la vitesse du torrent, et cette vitesse, en se propageant en amont jusqu'à une certaine distance, a pour effet d'occasionner des affouillements dont les produits, en se déposant plus bas, encombreront souvent le lit. Nous pourrions citer des cas où le dépôt ayant été très-considérable et s'étant fait immédiatement au delà du pont, l'ouverture de celui-ci a été complètement obstruée. Il suffira, pour prévenir un pareil accident, d'élever un mur de chute immédiatement en amont des ouvrages destinés à protéger les culées. Il est clair que ce barrage sera un obstacle direct à l'affouillement qu'il s'agit d'éviter.

Quoique nous n'ayons parlé des ouvrages complémentaires de la défense qu'à la suite des barrages submersibles et des labyrinthes de retenue, il est évident que leur utilité est indépendante des moyens employés pour supprimer l'exhaussement d'un lit de déjection; ils conviennent aussi bien lorsque la retenue des cailloux a été complète que lorsqu'elle n'a été que partielle. Le torrent de Bresson, que nous avons pris pour exemple en exposant notre premier système de défense, ayant un lit de déjection très-étendu et traversé par une grande route, est précisément un de ceux où il serait le plus nécessaire d'employer des murs de chute. Nous nous bornons à indiquer le fait, ce que nous venons de dire nous dispensant d'entrer dans plus de détails.

Nous allons maintenant citer quelques torrents auxquels les barrages submersibles peuvent être appliqués avec avantage.

La Roise (*fig. 14*) est un torrent considérable qui traverse le village de Voreppe (Isère) en suivant l'arête culminante d'un ancien lit de déjection. Sa pente est très-forte et surpasse presque partout 5 à 6 centimètres par mètre, sauf dans la partie la plus inférieure de son cours, près de l'Isère. Il y a en cet endroit un espace inculte presque horizontal, où s'accumulent les graviers amenés de plus haut. De ce point jusqu'à Voreppe, sur une longueur d'environ 1.100 mètres, le torrent est contenu entre de fortes digues qui laissent entre elles un débouché de 12 à 14 mètres. Au-dessus du village, il coule dans une gorge, en se dirigeant d'abord vers le nord-nord-est jusqu'au hameau de Malossanne. Un peu au delà, il tourne brusquement vers l'est-sud-est, en faisant un coude à angle droit. Son encaissement devient alors profond et resserré; sa pente augmente rapidement; il finit par se transformer en un ravin abrupt, inaccessible, qui se perd dans les flancs d'un rocher d'une immense hauteur. Avant d'arriver à Voreppe, la Roise reçoit deux affluents principaux, l'un à droite, nommé la *Roissette*, qui prend naissance au nord-est du village de Pommier et reçoit les eaux de la plus grande partie de son territoire; l'autre à gauche dit le *Refuron* qui descend de la montagne de Chaleys. Ces deux affluents amènent plutôt de l'eau que des cailloux. Ceux-ci proviennent principalement soit des grands escarpements calcaires, entièrement nus, qui constituent la région la plus élevée du bassin de réception, soit des collines de molasse et de poudingue dans le sein desquels le lit est profondément encaissé en amont de Malossane. Une faible partie de ces matières

Application  
à la Roise.

est charriée par les crues ordinaires jusque dans la plaine. Le reste, composé de cailloux trop gros pour être facilement entraînés et de menus fragments engagés entre les blocs et protégés par eux, s'accumule sans cesse dans l'intérieur de la gorge qui est devenue un réservoir inépuisable d'où le torrent peut tirer en un instant, au moment des crues excessives, une masse énorme de matières de transport de toutes les dimensions.

La Roise ayant une pente considérable et étant contenue partout entre des berges élevées, déborde très-rarement. Il faut pour cela des circonstances météorologiques exceptionnelles qui malheureusement ne sont pas impossibles, ainsi que l'expérience l'a prouvé. Le 31 juillet 1851, après une pluie violente de trente-six heures suivie d'une averse épaisse continue pendant près d'une journée, ce torrent a éprouvé une crue extrêmement forte qui a été aussi remarquable par sa durée que par son volume et son impétuosité. Elle a présenté comme à l'ordinaire deux périodes principales. La première a été celle de l'affouillement. Le courant était alors doué d'une force irrésistible; outre qu'il roulait avec facilité une grande quantité de cailloux mêlés de quartiers de rocher d'une dimension prodigieuse, il attaquait les berges avec violence. Les digues en aval de Voreppe n'ont pu lui résister, et une vaste étendue de terres a été ravagée. La seconde période a été celle de l'exhaussement. Elle a succédé à la première aussitôt que la crue a commencé à baisser d'une manière sensible. Le dépôt, qui d'abord ne se faisait qu'à l'extrémité inférieure des digues, s'est étendu successivement plus haut et a remonté jusqu'au-dessus du village; c'est alors que les habitants, maîtres des eaux et croyant n'avoir plus rien à redouter, se sont aperçus

avec consternation que le lit du torrent était à peu près complètement nivelé.

Depuis ce désastre, on a rétabli les digues en y ajoutant des barrages-radiers pour rendre les affouillements plus difficiles. On a retiré de l'intérieur du lit les plus gros blocs en laissant aux crues modérées le soin d'emporter le reste, ce qui a eu lieu en effet. Le mal étant à peu près réparé, on a dû songer à l'avenir. Des précautions ont été prises contre l'affouillement, ainsi que nous venons de le dire, mais ce n'est là que la moitié du danger. Il reste celui de l'exhaussement dont les conséquences ne sont pas moins à redouter. Afin de le prévenir autant que possible, nous avons fait établir, sur la demande du syndicat, trois barrages qui occupent aux points  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (*fig. 14*) toute la largeur de la gorge où coule le torrent. Ces barrages éloignés respectivement de Voreppe de 600, 1.300 et 1.800 mètres, ont été entièrement construits avec de gros blocs pris dans le lit et enchaînés entre eux de la manière qui a été indiquée plus haut. Leur prix de revient n'a été en moyenne que de 700 à 800 francs. Le premier et le troisième de ces ouvrages ont été établis à peu près au niveau des graviers, et le second n'a au-dessus d'eux qu'une hauteur de 2<sup>m</sup>.50; ils sont par conséquent sans influence sensible pour diminuer la pente du torrent qui dans cette partie du lit est de 8 à 10 centimètres. Leur destination unique est de disperser les eaux lorsqu'elles seront très-grosses. Dans ce but, on leur a donné autant de longueur que les circonstances locales ont pu le permettre. Cette longueur étant moyennement de 35 mètres au moins, on peut estimer que le courant obligé d'occuper toute cette étendue aura une profondeur six à sept fois moindre que s'il avait pu affouiller les graviers et s'y encaisser. Sa puissance

d'entraînement éprouvera donc une diminution extrêmement sensible.

D'après ces considérations, on doit admettre que s'il survenait une crue extraordinaire analogue à celle de 1851 (1), les barrages construits auraient pour résultat : 1° d'arrêter à leur passage et de retenir définitivement les gros blocs de pierre ayant quelquefois près d'un mètre cube de volume que le transport en masse fait descendre aujourd'hui jusqu'au delà de Vorrepe; 2° de faire déposer pendant la période de saturation de la crue, non-seulement les gros blocs, mais une grande partie des matières charriées, et d'empêcher ainsi l'encombrement des digues qui défendent les terres cultivées. Indépendamment de ces deux effets, qui sont les plus importants, les barrages, en opposant au courant un seuil inaffouillable, empêcheront l'érosion du fond du lit et des berges jusqu'à une certaine distance en amont. Cette action protectrice s'étendra même en aval, car lorsqu'un courant a été affaibli par sa dispersion à la rencontre d'un obstacle, il ne peut pas reprendre sa force primitive immédiatement au delà.

Les trois barrages établis sur la Roise seront donc utiles. Ce qui est beaucoup moins certain, c'est qu'ils soient en nombre suffisant pour prévenir dans tous les cas le dépôt des cailloux dans l'intérieur des digues. L'expérience ayant prouvé qu'au moment des crues

(1) Depuis la rédaction de ce mémoire, écrit avant les grandes inondations de 1856, la Roise a éprouvé une très-forte crue qui a complètement confirmé nos prévisions. Les barrages ont retenu une masse considérable de cailloux mêlés de gros blocs dont nous avons évalué le volume à 300 mètres cubes environ. Ce dépôt a été ensuite affouillé et a disparu en partie. S'il survient une nouvelle crue extraordinaire, les mêmes barrages pourront encore fonctionner.

excessives, la masse des matières charriées était énorme, il serait plus sûr de multiplier ces ouvrages et d'en porter le nombre à dix ou douze par exemple. Leur construction étant peu coûteuse, la dépense totale ne serait pas très-forte. On pourrait d'ailleurs la répartir sur plusieurs années.

Le Bourg-d'Oisans, chef-lieu du canton le plus montagneux du département de l'Isère, est situé dans l'intérieur d'un petit bassin à fond plat entouré de hautes sommités presque coupées à pic, qui forment tout autour comme une enceinte de murailles gigantesques. Ce bassin, nommé *plaine du Bourg-d'Oisans*, est allongé du Sud-Sud-Est au Nord-Nord-Ouest. Sa longueur est de 12 kilomètres environ sur une largeur qui varie de 1400 à 1800 mètres; sa pente, dirigée du Sud au Nord, est moyennement de 2 millimètres par mètre. Le sol est composé d'alluvions d'une grande fertilité. Toutes les récoltes y poussent avec une vigueur étonnante et réussissent très-bien, à moins que les inondations auxquelles le pays est exposé, ne fassent pourrir leurs racines. Deux torrents impétueux, la Romanche et le Vénéon, débouchent à l'extrémité sud de cette plaine et y mêlent leurs eaux (*fig. 15*). La Romanche prend sa source dans les glaciers du Villard d'Arène (Hautes-Alpes). A partir de ce village, elle coule de l'est à l'ouest entre de hauts escarpements de granit et de gneiss; sa pente jusqu'à son confluent avec le Vénéon, sur une longueur d'environ 26 kilomètres, est en moyenne de 34 millimètres; un peu avant son entrée dans la plaine, elle est encore de 9 à 10 millimètres. Le Vénéon, alimenté par les glaciers qui environnent de tout côté le hameau de la Bérarde, a un cours encore plus accidenté et plus incliné que celui de la Romanche; il est également étroitement encaissé entre

Application  
à la Romanche.

des roches granitoïdes. Sa pente, à peu de distance de la plaine, n'est pas moindre de 13 à 14 millimètres; plus haut, elle est irrégulière et entrecoupée de fortes chutes; en remontant jusqu'à la Bérarde, sur une longueur de 25 kilomètres et demi, elle peut être estimée moyennement à 4 centimètres. La Romanche, après avoir reçu les eaux du Vénéon, coule dans le sens longitudinal du bassin du Bourg-d'Oisans et le parcourt dans toute son étendue; arrivée à son extrémité nord, elle tourne à l'ouest et s'engage dans un long défilé qui la conduit jusqu'à Vizille. Dans la traversée de la plaine, les eaux ont une vitesse très-moderée qui contraste avec celle dont elles sont animées dans le sein de leurs gorges. Il y a en effet, entre les pentes, une différence énorme, ainsi qu'on peut en juger par les chiffres donnés plus haut.

La Romanche et le Vénéon, en coulant au fond des gorges étroites et profondes dont nous venons de parler, reçoivent une grande quantité de cailloux de toutes grosseurs, qui, pour la plupart, sont à base feldspathique et par conséquent très-durs. Ils se détachent sans cesse des rochers à pic qui dominent les deux torrents et ils tombent dans leurs lits, ou bien ils y sont entraînés par les nombreuses ravines qui descendent des montagnes environnantes. A l'époque des crues, ces débris caillouteux sont charriés en masse par les eaux, douées alors d'une force impulsive considérable, et parviennent jusque dans la plaine, où ils se déposent presque tous. Le lit de déjection où le dépôt s'effectue est immense et occupe plus de 200 hectares de superficie. Sa forme est celle d'un quadrilatère allongé; il est limité: au sud, par le pied des rochers escarpés dans lesquels s'ouvre la gorge du Vénéon; à l'ouest, par une longue digue dite de la *Croix-du-Plan*;

à l'est, par la digue du hameau des Alberges, qui, sur une grande portion de son étendue, ne s'élève aujourd'hui que de quelques décimètres au-dessus des déjections. Il en est de même de la digue de la *Croix-du-Plan*, quoiqu'elle ait été récemment exhauscée. Pendant de longues années, les eaux réunies des deux torrents, en divaguant dans l'espace ci-dessus, y déposaient à peu près la totalité de leurs cailloux. Les eaux, parvenues à l'extrémité de cette grande plage de déjection, entraînent dans un lit d'écoulement sinueux peu incliné et bordé de simples levées en gravier facilement submersibles au moment des fortes crues. Pour ces diverses raisons, le courant n'y acquerrait jamais une grande vitesse, et il n'y entraînait qu'une proportion de matières de transport assez petite pour ne pas dépasser la puissance d'entraînement des eaux dans leur traversée de la plaine. En 1840, époque de l'achèvement de la partie de la grande route comprise entre le Bourg-d'Oisans et le pont St-Guillaume, on sentit la nécessité de mettre cette route à l'abri des inondations et de préserver également les terres cultivées qui se trouvaient sur la rive gauche. On éleva dans ce but deux lignes de digues dites de la *Bayette*, qui partant du pont situé en face du Bourg-d'Oisans, furent prolongées sur une longueur de deux kilomètres jusqu'au point C, commencement de la plage des déjections. Le lit du torrent fut rectifié et resserré et on le débarrassa de tout ce qui gênait l'écoulement. Ces travaux ont eu pour conséquence d'accroître sensiblement la vitesse des eaux dans cette partie de leur cours; ce qui a déterminé des affouillemens qui, en se propageant en amont sur une certaine longueur, ont augmenté la pente du lit de déjection à son extrémité inférieure, et par suite en ont provoqué l'extension. Les matières

qui auparavant s'arrêtaient au-dessus du point C étant soumises maintenant à une force d'impulsion plus considérable sont entraînées en partie au delà jusque dans le lit encaissé du torrent, où, par l'affaiblissement toujours croissant de la pente, elles sont obligées de se déposer. Depuis 1840, le dépôt a continué sans interruption. Pendant les premières années jusqu'en 1849, il a été surtout sensible à l'issue des digues qui se terminaient au pont établi sur la grande route; une échelle hydrométrique placée en cet endroit a permis de constater un exhaussement moyen annuel d'environ 10 centimètres (1). Depuis 1849, on a prolongé l'endiguement de la Romanche jusqu'à 3 ou 4 kilomètres en aval du pont. Il en est résulté un allongement du dépôt sans que pour cela il ait cessé de faire des progrès; il continue toujours et l'on peut prédire dès à présent qu'il persistera quand même le torrent serait canalisé dans toute l'étendue de la plaine. En effet, à partir d'un point situé un peu en aval des digues actuelles jusqu'au confluent du torrent nommé l'Olle (2), sur une longueur de 3.260 mètres, la pente de la Romanche n'est que de 0<sup>mm</sup>,600, tandis qu'à l'entrée des digues de la Bayette, elle surpasse 2 millimètres. Quoi-

(1) Il n'est pas douteux, suivant nous, que ce dépôt énorme n'ait été occasionné par l'endiguement de la Romanche. En effet, depuis plus de cent ans que ce torrent a un lit fixe dans la plaine, il passe précisément au point où le pont est construit. Si, pendant ce laps de temps, l'exhaussement avait été à peu près ce qu'il est aujourd'hui, le fond du lit se serait trouvé en 1836, année où l'on a placé l'échelle hydrométrique, à 9 ou 10 mètres au-dessus des terres environnantes. Or, à cette époque, il y avait une différence en sens contraire d'environ 0<sup>m</sup>,50.

(2) L'Olle se jette dans la Romanche près de l'extrémité nord de la plaine du Bourg-d'Oisans; leurs eaux réunies coulent ensuite vers l'ouest et ne tardent pas à entrer dans la gorge qui conduit à Vizille.

que l'on fasse, on n'obtiendra jamais que la puissance d'entraînement de l'eau à l'une de ces extrémités soit la même qu'à l'autre.

L'exhaussement du lit encaissé de la Romanche, depuis 1840, a déjà été pour les habitants du Bourg-d'Oisans et pour l'état une source de dépenses considérables, parce que l'on a été obligé à plusieurs reprises de relever le niveau des digues. En outre, on doit lui attribuer, sinon exclusivement au moins en partie, les débordements multipliés qui ont désolé le pays.

De 1845 à 1849, leur nombre a été de onze en sept ans. En 1852, une irruption encore plus violente que les précédentes a emporté la digue de la Croix-du Plan et submergé la plus grande partie de la plaine. Les terres sont restées pendant plusieurs mois sous l'eau et toutes les récoltes ont été perdues. Si depuis 1852 jusqu'en 1855 il n'est pas survenu de nouveaux désastres, on le doit probablement aux circonstances météorologiques exceptionnelles de ces dernières années qui dans les Alpes ont été peu favorables aux inondations; mais le danger subsiste toujours et même il augmente sans cesse (1). Dans un pareil état de choses se borner à relever les digues et à les fortifier, à mesure que l'exhaussement du lit fait des progrès, n'est pas apporter un remède au mal, c'est suivre une voie où les dépenses sont énormes et les périls sans cesse renaissants, ainsi que l'expérience l'a déjà prouvé. D'ailleurs, en procédant ainsi, une catastrophe finale paraît inévitable, savoir l'invasion permanente de la plaine par les

(1) En 1856, à l'époque où de grandes inondations ont désolé une partie de la France, la plaine du Bourg-d'Oisans n'a pas été épargnée; elle a été submergée par suite de la rupture des digues sur deux points différents. L'exhaussement du lit de la Romanche a fait de nouveaux progrès qui sont effrayants.

torrents qui y débouchent. Certainement il ne serait pas possible de relever à la fois les digues de la Romanche et celles de ses affluents torrentiels jusqu'à la hauteur de plusieurs mètres nécessaire pour la régularisation de la pente. Les dépenses qu'entraîneraient l'établissement et l'entretien de travaux aussi gigantesques seraient hors de proportion avec les intérêts qu'il s'agit de défendre.

Cette situation si grave de la plaine du Bourg-d'Oisans est très-propre à mettre en évidence les avantages du système de défense que nous nous efforçons de faire prévaloir. Nous croyons en effet que l'emploi des barrages submersibles résoudrait la question d'une manière satisfaisante. Il nous paraît d'abord évident qu'un premier barrage placé au point C, à l'entrée des digues de la Bayette, aurait pour résultat d'établir une solution de continuité très-nette entre le lit de déjection et le lit encaissé. La pente du premier deviendrait moindre à son extrémité inférieure et la vitesse de l'eau dans le second serait sans influence pour déterminer plus haut des affouillements. En un mot, les choses, quant au régime des eaux dans le lit de déjection, seraient remises dans le même état qu'avant la construction des digues. La cause de l'exhaussement continu du lit de la Romanche dans la plaine serait donc détruite à sa source. Pour déterminer exactement la hauteur à donner au barrage RC, il faudrait connaître quel a été l'accroissement de pente à l'extrémité inférieure du lit de déjection par l'effet des digues. Malheureusement on manque de renseignements sur ce point et l'on sera obligé de procéder par voie de tâtonnement. On pourrait adopter provisoirement une hauteur de 0<sup>m</sup>,50, sauf à l'augmenter dans la suite si cela était jugé nécessaire, ce qui paraît peu probable. La construction de ce bar-

rage n'entraînerait d'autre inconvénient que l'obligation d'exhausser également de 0<sup>m</sup>,50 d'un côté la digue de la Croix-du-Plan, de l'autre celle qui protège la grande route, ce relèvement devant avoir lieu sur toute la longueur du remou occasionné par le barrage. La pente en amont du point C étant aujourd'hui d'environ 0<sup>m</sup>,005, la longueur de ce remou calculée approximativement serait de 200 à 300 mètres.

Le barrage RC, en mettant un terme aux dépôts qui ont lieu actuellement dans l'intérieur des digues, diminuerait le danger des inondations sans le faire cesser complètement. Il suffit de jeter les yeux sur le plan des environs du Bourg-d'Oisans, *fig. 15*, pour voir que les eaux réunies de la Romanche et du Vénéon tendent à se porter directement contre la digue de la Croix-du-Plan. En cas de forte crue il y a donc toujours lieu de redouter que cette digue ne soit emportée ou surmontée, ainsi que cela a déjà eu lieu en 1852; le péril augmente même chaque année, à mesure que les déjections en s'accumulant approchent d'atteindre son niveau. Nous ne voyons qu'un moyen de prévenir sûrement le retour d'un pareil désastre qui achèverait de ruiner ce malheureux pays, c'est de rompre la vitesse des eaux en amont de la digue YNPR et d'empêcher en même temps aux graviers de s'accumuler à son pied. Pour y parvenir nous proposons d'établir un grand barrage XY de 765 mètres de longueur, qui d'un côté s'appuierait contre la digue dite des Alberges et de l'autre contre l'extrémité sud de la digue de la Croix-du-Plan. Comme ce barrage aurait une longueur excessive, on pourrait se dispenser de lui donner une grande hauteur, au dessus du niveau moyen des graviers; celle de 0<sup>m</sup>,25 à 0<sup>m</sup>,30, par exemple, suffirait. Par suite de cet exhaussement on serait obligé de relever d'autant l'extrémité sud de la

digue de la Croix-du-Plan du point Y, jusqu'à la rencontre des rochers, et la digue des Alberges sur une longueur de 150 à 200 mètres à partir du point X. Partout ailleurs les déjections étant limitées par des escarpements à pic, il n'y aurait aucune précaution à prendre. Le débit de la Romanche et du Vénéon réunis pouvant être évalué à 250 mètres cubes par seconde au moment de leurs plus fortes crues, un calcul très-simple prouve qu'un pareil volume d'eau obligé de se déverser sur un seuil de 763 mètres de longueur, se réduirait à une lame épaisse tout au plus de 52 centimètres. Par l'effet d'une aussi grande diminution dans leur profondeur et de l'immensité du périmètre mouillé, les eaux des deux torrents perdraient presque en totalité leur puissance d'entraînement aujourd'hui énorme sur les points où le courant est encaissé. Ce grand barrage serait donc très-propre à atteindre le double but indiqué plus haut : d'un côté il obligerait la plupart des cailloux arrivant des gorges à se déposer en amont de la ligne XY ; de l'autre il briserait la vitesse du courant dirigée contre la digue YNPR. Les eaux, après leur chute, seraient divisées en mille filets qui suivraient naturellement la pente du sol vers le point C. Afin d'éviter que ces filets réunis plus bas en un courant volumineux ne déterminassent un affouillement considérable dans l'étendue de l'espace YRCX, il conviendrait d'établir en aval au moins deux autres barrages NM et PO uniquement destinés à servir de radier. On les construirait au niveau des graviers ; mais au lieu de donner à leur couronnement une horizontalité parfaite, on le rendrait légèrement concave, de manière à attirer les eaux vers le centre de l'espace YRCX et à les éloigner par conséquent soit de la ligne YNPR, soit de la grande route.

En résumé le système de défense que nous proposons consiste en quatre barrages. Le plus étendu, établi suivant la ligne XY, a pour objet de réduire le lit de déjection en concentrant en amont de cette ligne les dépôts qui s'étendent aujourd'hui jusqu'au pied de la digue de la Croix-du-Plan ; il doit aussi briser la vitesse du courant dirigé contre cette digue. On ne lui donnerait qu'une hauteur de 0<sup>m</sup>,25 à 0<sup>m</sup>,30, qu'il serait facile d'augmenter dans la suite lorsqu'on en sentirait le besoin. Le niveau de son couronnement serait réglé de manière à produire le mieux possible la dispersion des eaux sur toute sa longueur. Les trois autres barrages MN, OP, RC, sont destinés à empêcher que les graviers de l'espace YRCX ne soient affouillés et entraînés dans l'intérieur des digues. Deux de ces barrages, MN et OP, placés au niveau moyen des graviers seraient légèrement concaves, afin d'éloigner les eaux des digues latérales qu'il importe de protéger ; le troisième, RC, serait horizontal et assez élevé pour détruire l'augmentation de pente que la construction des digues de la Bayette a produite dans la partie inférieure du lit de déjection. Il nous reste à donner un aperçu des dépenses qu'occasionnerait ce système de défense.

Les barrages ci-dessus pourraient être établis, soit avec des pieux et des palplanches enfoncés dans le gravier, soit au moyen de gros blocs de pierre juxtaposés et arrangés avec soin. Ce dernier mode de construction, déjà employé sur la Roise, nous paraît encore préférable dans la circonstance actuelle, parce que les enrochements sont peu coûteux et faciles à se procurer aux environs du Bourg-d'Oisans, et que les barrages composés de pareils éléments sont indestructibles. La pente de la Romanche entre les lignes XY et RC étant infé-

rieure à 1 centimètre, nous croyons qu'il serait inutile d'enchaîner les blocs, pourvu qu'ils eussent au moins  $\frac{1}{6}$  de mètre cube. Les cailloux entraînés jusque dans cette partie du lit de déjection, et dont le volume donne une mesure de la force des eaux, sont bien éloignés d'avoir de pareilles dimensions. Des blocs ayant  $\frac{1}{6}$  de mètre cube pourraient être enfouis sur place, mais non déplacés. Comme cet enfouissement a des limites, il serait toujours possible d'entasser sur le même point une quantité suffisante d'enrochements pour donner au barrage une base inébranlable. On peut évaluer à 5 mètres cubes le volume des enrochements qui seraient consommés par mètre de longueur pour rendre l'ouvrage inaffouillable, et à 7 francs environ le prix du mètre cube mis en place. D'après cette estimation, que nous considérons comme un maximum, le mètre courant reviendrait à 35 francs. La longueur des quatre barrages réunis étant de 1.575 mètres, la dépense serait de 55.125 francs. Il faudrait y ajouter environ 6.000 fr. pour relèvement de digues sur une longueur de 900 à 1.000 mètres, ce qui porterait la dépense totale à 61.125 francs. Elle n'est pas exorbitante, car les sommes déjà englouties pour réparer les désastres des inondations et donner à la plaine du Bourg-d'Oisans une sécurité qu'elle n'a pas encore, s'élèvent à plusieurs centaines de mille francs.

Application  
aux rivières  
torrentielles.

Les rivières torrentielles des Alpes affligent les yeux par l'aspect des espaces immenses qu'elles ont envahis. En voyant des vallées spacieuses changées en plages de gravier complètement stériles, on ne peut s'empêcher de regretter et même de s'étonner qu'un terrain aussi précieux soit perdu sans qu'on fasse rien pour le conquérir. La rivière n'occupe jamais son domaine en entier, même au moment des plus grandes crues; elle se

porte alors tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, et comme si l'espace abandonné à ses divagations ne lui suffisait pas, elle attaque souvent les berges avec fureur. Cet état de choses, si triste, tient à ce que beaucoup de grands torrents des Alpes ont pour lit de déjection la rivière même qui reçoit leurs eaux. Celle-ci s'encombre à chaque crue, et il lui est impossible d'avoir un lit permanent. L'endiguement et la rectification sont des remèdes inefficaces, par les raisons qui ont déjà été développées. Quelques travaux que l'on entreprenne, on ne fera jamais qu'un cours d'eau, dont la pente n'est que de quelques millimètres, puisse charrier autant de matières que l'ensemble de ses affluents, qui ont une inclinaison moyenne de 5 à 6 centimètres, et quelquefois plus. Il y a là une impossibilité physique contre laquelle il est inutile de lutter. S'il en est ainsi, il faut accepter ce fait et s'arranger de manière à en diminuer autant que possible les inconvénients. Le meilleur système à suivre pour cela nous paraît être de partager le cours d'une rivière torrentielle en un certain nombre de bassins successifs, alternativement destinés à servir, les uns de lit de déjection, les autres de lit d'écoulement. On arriverait à cette division en construisant en travers de la rivière, de distance en distance, une série de grands barrages submersibles convenablement placés. Les lits de déjection seraient en amont des barrages, et les lits d'écoulement immédiatement en aval. Les eaux divagueraient librement dans toute l'étendue des premiers; elles seraient au contraire encaissées dans le parcours des seconds. Quant au raccord de chaque lit d'écoulement avec le lit de déjection situé au-dessous à une certaine distance, il se ferait d'une manière insensible, ainsi que cela a lieu dans la nature entre les canaux de réception et les lits de déjection qui viennent après.

Comme il serait important de donner aux lits de déjection moins de longueur qu'aux lits d'écoulement, on établirait en général les barrages un peu au-dessous de l'embouchure des affluents qui charrient le plus de cailloux, et, autant que possible, sur les points où la rivière est profondément encaissée, afin de pouvoir y entasser une plus grande hauteur de déjections. Comme celles-ci s'étendraient sur de vastes espaces et que les barrages fonctionneraient en ne retenant d'une manière définitive que les gros cailloux, il faudrait beaucoup de temps avant que, par l'exhaussement successif du lit, la sûreté des terres riveraines fût compromise. Lorsque ce moment serait arrivé, on aurait encore la ressource de barrer à leur embouchure les grands affluents qui amènent les cailloux et de reporter les dépôts plus haut, en dehors du lit de la rivière principale.

Les avantages d'un pareil système de défense nous paraissent évidents. Le cours des rivières torrentielles des Alpes n'est aujourd'hui qu'un long lit de déjection. A l'aide des barrages transversaux, on le réduirait immédiatement de moitié, peut-être même dans une proportion plus forte, et en même temps que l'on rendrait cultivables de vastes plages caillouteuses, on protégerait efficacement contre l'érosion une grande partie des terres riveraines.

Les barrages submersibles dont nous venons d'indiquer l'application aux rivières torrentielles et à des torrents considérables comme la Roise et la Romanche, peuvent aussi être employés avec avantage contre les petits torrents. Parmi ceux-ci, il en est beaucoup dont le bassin de réception ne consiste qu'en un rocher nu et escarpé, à la base duquel les eaux ont creusé dans un terrain plus tendre, un ravin très-incliné. Les fragments caillouteux qui se détachent de la surface du

Application  
aux  
petits torrents.

bassin de réception se réunissent peu à peu au fond de ce ravin, surtout dans sa partie inférieure où la pente est moindre. Ils y forment avec le temps des amas épais que les eaux, après les pluies d'orage, font descendre sur le flanc des côteaux ou dans les vallées. Dans la plupart des cas, il serait possible de retenir une grande partie de ces débris au pied même des escarpements qui les fournissent, en leur donnant pour points d'appui des barrages formés de blocs de pierre solidement enracinés dans le sol. Ces barrages, que l'on échelonnerait pour leur donner une hauteur suffisante, auraient pour effet de combler en partie les ravins qui recueillent les débris et de leur substituer de larges cônes de cailloux, à la surface desquels les fragments de rocher s'éparpilleraient en tombant, et où les eaux qui descendent des escarpements, étant obligées de se diviser, seraient sans force pour les entraîner. Ces cônes une fois formés jusqu'à une certaine hauteur par l'accumulation naturelle des fragments caillouteux, seraient revêtus autant que possible de végétation ou recouverts par des lignes transversales de gros blocs; ce qui rendrait leur surface inattaquable. Nous ne dirons rien de plus de ces cônes de cailloux, parce que nous avons déjà traité ce sujet avec assez de détails dans notre premier travail sur les torrents des Alpes (1). Nous croyons devoir y renvoyer.

Ce mémoire est fort peu étendu pour un sujet aussi important et aussi complexe que celui des moyens de défense à opposer aux torrents à lits de déjection. Aussi ne doit-on pas le considérer comme un traité sur cette matière. Nous avons voulu seulement poser des principes, et ce n'est que pour les rendre plus clairs et

Conclusion.

(1) *Exposé d'un nouveau système de défense*, etc., p. 106.

montrer qu'ils sont facilement applicables, que nous avons pris quelques exemples. D'un autre côté, ce sujet est tellement neuf au point de vue où nous l'avons considéré, qu'avant d'en faire l'objet d'un grand travail, il est nécessaire de l'éclairer par des expériences faites en nombre suffisant et dans des cas variés. Nous demandons qu'elles soient entreprises en nous appuyant sur les raisons suivantes. Si l'on fait abstraction des labyrinthes de retenue qui ne nous paraissent nécessaires que dans quelques cas exceptionnels, nos moyens de défense se réduisent à des barrages dont les uns sont insubmersibles et les autres submersibles. Ces ouvrages bien qu'entrepris jusqu'à ce jour dans un but différent de celui que nous avons indiqué, n'en sont pas moins usités depuis longtemps dans l'art des constructions hydrauliques. Ainsi, ce ne sont pas des travaux nouveaux que nous proposons, mais une application nouvelle de travaux déjà connus et dont la construction n'offre en général aucune difficulté. D'ailleurs l'effet de ces travaux peut être prévu d'avance et il est difficile de ne pas admettre qu'ils seront utiles au moins dans une certaine mesure. Nos barrages insubmersibles, en divisant les eaux dans l'intérieur des bassins de réception, leur feront nécessairement abandonner une grande partie des matières amenées de plus haut et les empêcheront d'affouiller. Les barrages submersibles, quand ils n'auraient d'autre effet que de changer le transport en masse des matières en transport partiel et de retenir au moment des grandes crues les cailloux volumineux, rendront un très-grand service en prévenant l'encombrement des lits de déjection et en favorisant le déblai opéré par les crues modérées. Il nous paraît donc incontestable que ces ouvrages, même établis à titre d'essai, produiront une amélioration et que l'on ne courra aucun

risque d'une dépense inutile. Mais les barrages offrent trop de ressources pour n'espérer d'eux qu'une simple amélioration. Nous sommes convaincu, et nous croyons avoir justifié notre opinion, que si on les emploie d'une manière judicieuse et en nombre suffisant, on pourra dans tous les cas supprimer les lits de déjection, c'est-à-dire, gagner à l'agriculture des vallées entières, y rendre possible l'établissement de bonnes routes et prévenir une foule de désastres particuliers qui font des torrents alpins un véritable fléau. Certes l'expérience vaut la peine d'être tentée; ajoutons qu'il sera facile de la rendre promptement concluante en la faisant sur des torrents dont les débordements sont annuels.

---

## NOTE

sur

LES RECHERCHES QUI ONT ÉTÉ EXÉCUTÉES LE LONG DE LA FRONTIÈRE  
NORD-EST DU DÉPARTEMENT DE LA MOSELLE  
POUR Y DÉCOUVRIR LE PROLONGEMENT DU BASSIN DE LA SARRE.

Par M. E. JACQUOT, ingénieur des mines.

La recherche du prolongement du bassin de la Sarre a donné lieu, dans ces dernières années, à des travaux considérables sur la frontière nord-est du département de la Moselle. Ces travaux ont été, pour la plupart, entrepris d'après nos conseils et sur les indications que nous avons puisées dans l'étude du terrain houiller de Sarrebruck ; nous les avons suivis jour par jour avec un intérêt qui était suffisamment justifié par l'importance que nous attachions à voir fonder, sur le territoire français, des exploitations de combustible minéral qui puissent, dans un avenir prochain, faire concurrence aux mines prussiennes. Bien qu'ils ne soient pas encore terminés, les résultats obtenus jusqu'ici présentent déjà un ensemble assez satisfaisant, et qui ne permet plus guère de douter que le but que l'on a en vue sera prochainement atteint. Cette considération, non moins que les appréciations diverses et quelquefois profondément erronées dont les recherches de houille du département de la Moselle ont été l'objet, nous ont engagé à en tracer l'historique et à en faire connaître les résultats. Nous pensons, du reste, qu'après les travaux d'exploration qui ont été entrepris dans ces derniers temps, le

Exposé.

long de la frontière nord-est de la Moselle, et qui n'embrassent pas moins de trente-deux sondages disséminés sur près de 200 kilomètres carrés, il reste encore quelque chose à faire pour résoudre, d'une manière complète, la question du prolongement du terrain de la Sarre dans le département. Dans une étude que nous venons de faire de la partie du territoire français qui fait suite à celle sur laquelle les recherches ont porté, nous avons recueilli des faits que nous ne croyons pas sans intérêt pour la solution de cette question; nous les exposerons prochainement dans un mémoire où nous comptons indiquer en même temps dans quel sens les explorations futures devront être dirigées. Il nous a paru qu'avant d'exposer ces faits et d'en tirer des conclusions, il n'était pas hors de propos d'embrasser, dans leur ensemble, les recherches qui ont été faites jusqu'ici, de telle sorte que la présente notice peut être considérée comme une espèce d'introduction au mémoire dont nous venons de parler.

Il n'y sera point question des recherches qui ont été exécutées, il y a environ neuf ans, dans la vaste concession de Schœneck, et qui, après avoir été couronnées de succès, ont amené la reprise des travaux de reconnaissance de la mine de ce nom. Nous avons décrit ces recherches avec détail dans nos *Études géologiques sur le bassin houiller de la Sarre*, et nous avons fait connaître les résultats auxquels elles ont conduit. Nous ne nous occuperons que de ce qui a été fait, dans la Moselle, en vue de découvrir de nouveaux gîtes hors des territoires non encore concédés. Notre travail se partage naturellement en deux parties qui correspondent à deux périodes assez distinctes des recherches, ainsi qu'aux points différents sur lesquels elles ont eu lieu : dans la première, nous traiterons des travaux

d'exploration des environs de Forbach; nous ferons connaître, dans la seconde, tout ce qui a été tenté dans la plaine de Creutzwald en vue d'y mettre à jour le prolongement du terrain houiller de Sarrebruck.

### I. Recherches des environs de Forbach.

La petite ville de Forbach, dernière station de l'embranchement de Frouard à Sarrebruck, est assise sur un plateau élevé en moyenne de 250 mètres au-dessus du niveau de la mer, duquel se détachent çà et là quelques protubérances isolées, tels que le Schlossberg, dont l'altitude est de 340 mètres, et le Hiérable, qui atteint une hauteur de 332 mètres. Elle est traversée par la route impériale de Paris à Mayence, qui constitue la limite méridionale de la concession de Schœneck. Parallèlement à cette route, et un peu au sud, s'étend un escarpement qui s'élève d'une manière assez abrupte à une hauteur de 120 à 140 mètres au-dessus de la plaine; il forme le rebord d'un second plateau superposé au premier, et dont l'inclinaison est vers le sud-est, c'est à-dire vers Sarreguemines.

La constitution géologique de la contrée de Forbach offre assez de simplicité. La plaine, au milieu de laquelle cette ville est bâtie, est formée par les assises moyennes du grès vosgien, consistant en grès presque désagrégés; tandis que la partie supérieure de ce terrain paraît tant dans les protubérances isolées qui s'en détachent, qu'à la base de l'escarpement qui la domine du côté du sud. Quand on vient à gravir les pentes de cet escarpement, on rencontre les deux premiers membres du trias, le grès bigarré et le muschelkalk constitués, comme ils le sont habituellement en Lorraine, le premier par des grès, le second par un étage marneux gypsifère auquel

Position  
géologique  
de Forbach.

sont superposées des assises calcaires. Ce sont les couches supérieures de ce dernier terrain, les bancs fossilifères à *ammonites nodosus* et à *gervillia socialis* qui occupent la crête de l'escarpement; les marnes irisées ne se montrent généralement qu'à une distance assez considérable vers le sud, au pied des grands plateaux déclives que forme le muschelkalk. Les allures de toutes ces assises sont en relation évidente avec le relief du sol; leur direction est assez bien représentée par celle de l'escarpement qui court vers l'est 30° nord, et elles plongent vers le sud-est dans le sens de l'inclinaison du plateau.

Premières  
recherches  
aux environs  
de Forbach.

Les premières recherches du prolongement du bassin de la Sarre, dans le département de la Moselle, ont été faites aux environs de Forbach, le long de la bande large de 700 à 800 mètres qui s'étend entre la route de Mayence et l'escarpement triasique. Au printemps de l'année 1852, un sondage fut commencé au sud du hameau de Stiring, au lieu dit Heideneck, par une société qui entreprit également le forage du Schlossberg, situé à l'ouest de la colline de ce nom. Quelque temps après, une autre compagnie de recherches fit exécuter les sondages du Creutzberg et de Morsbach. A l'exception du sondage du Schlossberg, qui a été arrêté à 97 mètres dans le grès des Vosges, toutes ces recherches ont été poussées à des profondeurs assez considérables; celles de Heideneck et du Creutzberg ont mis à jour plusieurs veines de houille; celle de Morsbach est restée dans le terrain houiller, sans rencontrer de combustible.

Nous donnons ici la coupe du premier de ces forages, pour faire connaître la composition du terrain houiller dans les environs de Forbach.

NATURE DES TERRAINS TRAVERSÉS.		Épais- seur.	Houille.
		m.	m.
Grès des Vosges, 94 <sup>k</sup> .31.	Terre végétale. . . . .	1,50	»
	Sable rouge. . . . .	2,00	»
	Sable mêlé de galets de quartz. . . . .	2,96	»
	Grès tendre, peu agrégé, nuancé de rouge et de jaune. . . . .	9,20	»
	Grès rougeâtre et jaunâtre, très-dur. . . . .	13,90	»
	Grès tendre, jaunâtre, veiné de blanc et de rouge. . . . .	28,35	»
	Grès brun jaunâtre, très-dur. . . . .	7,60	»
	Grès rougeâtre et jaunâtre, argileux et micacé. . . . .	17,35	»
	Poudingue quartzifère. . . . .	11,45	»
		Grès houiller. . . . .	4,10
	Schistes grisâtres. . . . .	3,25	»
	Grès gris bleuâtre. . . . .	3,10	»
	Schistes grisâtres. . . . .	5,90	»
	Grès gris, très-dur. . . . .	0,78	»
	Schistes argileux, brunâtres. . . . .	4,34	»
	Grès grisâtre. . . . .	3,11	»
	Schistes argileux, brunâtres. . . . .	3,20	»
	Grès gris, très-dur. . . . .	5,52	»
	Schistes argileux d'un gris noirâtre. . . . .	1,00	»
	Grès grisâtre. . . . .	6,50	»
Terrain houiller, 186 <sup>m</sup> .69.	Grès brunâtre et grisâtre, très-dur. . . . .	8,55	»
	Schistes gris avec plaquettes de grès. . . . .	3,45	»
	Poudingues quartzifères. . . . .	71,97	»
	Schistes argileux gris veinés de rouge, avec rognons de dolomie et de minéral de fer rouge. . . . .	24,77	»
	Grès gris, dur. . . . .	12,09	»
	Schistes d'un gris foncé. . . . .	1,13	»
	Schistes argileux noirs, avec veinules de houille. . . . .	3,12	»
	Schistes d'un gris foncé, assez durs. . . . .	3,30	»
	Schistes bleuâtres. . . . .	0,93	»
	Schistes argileux, noirâtres. . . . .	0,63	»
	Houille. . . . .	0,42	0,42
	Schistes d'un gris noirâtre. . . . .	12,57	»
	Houille. . . . .	2,90	2,90
	Totaux. . . . .	382,00	3,32

Quant au sondage du Creutzberg, il a été poussé jusqu'à la profondeur de 552<sup>m</sup>, 18; il a traversé 162<sup>m</sup>, 21 de grès vosgien, et il est entré, à partir de là, dans le terrain houiller qu'il n'a plus quitté. Il a rencontré, à 305<sup>m</sup>, 84, une première veinule de houille de 0<sup>m</sup>, 34 d'épaisseur, et, jusqu'au fond, huit autres couches de combustible minéral qui sont toutes exploitables, et qui offrent une puissance totale de 16<sup>m</sup>, 82.

Le sondage de Morsbach est le plus profond de ceux qui ont été forés dans les environs de Forbach; il a atteint 352<sup>m</sup>, 71; mais il n'a guère traversé que 80 mètres de terrain houiller. La grande épaisseur du grès vosgien

recoupé dans cette localité s'explique par les accidents géologiques qui ont abaissé le niveau de la plaine au milieu de laquelle Morsbach est situé. Dans ma description géologique du bassin de la Sarre, j'ai montré que la partie apparente de ce bassin était coupée, tout le long de sa lisière méridionale, par une grande faille qui s'étend, sans discontinuité, depuis la plaine du Rhin jusqu'aux environs de Sarrebruck. On peut en suivre le prolongement sur le territoire français dans un accident très-apparent qui, s'éloignant peu de l'escarpement triasique, passe près de Spicheren, d'Etzling, de Behren, derrière Forbach et le Hiéraple, et qui traverse la plaine de Morsbach suivant une ligne qu'il est difficile de tracer par suite de l'impossibilité où l'on se trouve d'avoir des points de repère dans le grès des Vosges. Tous les terrains situés au sud de cette ligne se montrent déprimés par rapport à leurs analogues placés au nord, et c'est ce qui rend raison de la profondeur considérable à laquelle le terrain houiller a été rencontré à Morsbach.

Malgré cette circonstance défavorable, les recherches des environs de Forbach présentent des résultats assez satisfaisants. Elles ont montré que le terrain houiller avec gisement de houille se prolongeait vers le sud au delà du territoire anciennement concédé, et elles ont donné lieu, dans ces derniers temps, à l'institution d'une concession nouvelle, celle de Forbach, qui comprend 24 kilomètres carrés, 68 hectares. Les travaux de recherches n'ont pas fourni des renseignements très-complets sur l'allure du gîte dans l'étendue de ce territoire. S'il fallait en croire les résultats obtenus par M. Kind au trou de sonde du Creutzberg, la direction des veines de houille traversées vers 310 mètres de profondeur, ferait un angle de 20° avec le nord, du côté de l'est, et elles plongeraient vers l'ouest sous un

angle de 64°; mais, outre qu'il faut attribuer peu d'importance aux observations de direction faites sur une aussi faible étendue que celle qu'embrasse un trou de sonde, le procédé dont ce sondeur se sert est bien loin d'être infallible. En tenant compte des observations de direction faites dans la mine prussienne la plus voisine, celle de Gersweiler, et des renseignements fournis par les trois trous de sonde qui ont été forés près de Stiring, on arrive à conclure que la direction des couches de houille dans les environs de Forbach doit peu s'écarter de la ligne est-ouest, avec un plongement assez prononcé vers le sud. Ainsi on explique pourquoi le terrain houiller et la houille ont été rencontrés à une moindre profondeur dans le sondage de Heideneck que dans celui du Creutzberg. Les échantillons de houille ramenés par la cuiller dans ces deux sondages constituent un excellent combustible de grille.

La recherche du prolongement du bassin de la Sarre a donné lieu, dans ces derniers temps, à quelques autres travaux qui, étant situés entre Forbach et Sarreguemines, se rattachent naturellement à ceux dont il vient d'être question. Un sondage a été commencé dans la vallée de la Sarre, près de la route de cette dernière ville à Sarrebruck, le 14 novembre 1855; un autre a été mis en activité, le 15 juin suivant, au-dessous d'Alsting. Le 16 juillet 1856, ces forages étaient parvenus, le premier à la profondeur de 178 mètres (1), le second à celle de 125 mètres; ils se trouvaient encore l'un et l'autre dans du grès vosgien bien caractérisé.

La question de savoir quel est l'avenir réservé à ces

(1) Le 7 avril 1857, le forage de la vallée de la Sarre était arrivé à la profondeur de 527<sup>m</sup>; il se trouvait toujours dans le grès vosgien; le sondage d'Alsting a été abandonné vers la fin de l'année dernière, dans ce même grès, à 250<sup>m</sup> de profondeur.

recherches, évidemment situées, toutes les deux, au sud du prolongement de la faille qui limite la partie apparente du terrain houiller de la Sarre, peut être éclaircie par ce qui se passe de l'autre côté de la frontière. Il y avait un grand intérêt à rechercher si ce terrain ne se prolongeait pas au sud de cette faille et à reconnaître son allure. Deux sondages ont été entrepris dans ce but sur le sol bavarois, l'un près du chemin de Saint-Jngbert à Hassel, l'autre dans une petite vallée au nord-ouest de Neuhausel. Dans une excursion que nous avons faite à Saint-Jngbert, au mois de mars 1856, avec M. l'ingénieur en chef Daubrée, nous avons constaté que le sondage de Hassel était encore trop peu avancé pour avoir pu procurer des résultats; mais celui de Neuhausel, parvenu à 312 mètres et suspendu pour le moment, avait pénétré, depuis la profondeur de 215 mètres, dans du terrain houiller caractérisé, à sa partie supérieure, par des argiles rouges bigarrées de gris, et, dans le bas, par des argiles schisteuses noires, avec impressions de la flore houillère. On avait retiré du trou des échantillons cylindriques, qui montraient que ce terrain était presque horizontal. Les résultats obtenus à Neuhausel nous ont paru très-remarquables comme établissant d'abord l'existence du terrain houiller de Sarrebruck, sous une épaisseur de grès vosgien qui n'est pas très-considérable, au sud de l'accident qui en forme la limite apparente, et comme démontrant ensuite qu'il existe une grande différence entre les allures des deux parties qu'il sépare. Ainsi, tandis que dans les mines de Neunkirchen, situées à 5 kilomètres au nord du forage de Neuhausel, les assises du terrain houiller plongent vers le nord-ouest sous un angle de 30 à 40 degrés, et sont extrêmement riches en combustible minéral, elles sont presque horizontales

dans cette dernière localité, et on en traverse 99 mètres sans rencontrer une seule veinule de houille. On peut en inférer que, malgré la faible distance qui sépare ces deux localités, les couches recoupées à Neuhausel appartiennent à un autre étage que celles de Neunkirchen. On ne manquera pas de remarquer qu'avec un terrain aussi épais que celui de Sarrebruck, l'horizontalité était la circonstance la plus défavorable que l'on pût rencontrer dans les recherches; une inclinaison un peu prononcée des assises de la partie du bassin situé au sud de la faille aurait au moins laissé la chance d'atteindre, par des travaux peu profonds, le faisceau des couches de Neunkirchen. En résumé, la découverte du terrain houiller faite sur le sol bavarois, tout en établissant que le bassin déjà fort étendu de Sarrebruck est loin d'avoir été originairement limité à sa partie apparente, laisse bien peu d'espoir pour les recherches qui seront entreprises au sud de la grande faille terminale de ce bassin, et c'est pourquoi nous considérons que les sondages d'Alsting et de Grossbliedestroff offrent bien peu de chances de réussite. Notre opinion à cet égard est formée depuis longtemps déjà, et dans les conclusions de nos *Études géologiques sur le bassin de la Sarre*, après avoir exprimé la confiance que nous mettons dans la réussite des travaux à entreprendre au sud de la route de Mayence, nous ajoutions: « Il ne faut pas oublier que le terrain non concédé des environs de Forbach n'offre pas un champ d'exploration très-vaste. La plaine occupée par le grès vosgien est, en effet, limitée à une petite distance de la route par les contre-forts d'un plateau sur lequel les recherches offriraient de grandes difficultés. Il ne faut pas non plus perdre de vue que ce plateau est, à une petite distance de sa naissance, traversé par une faille dont

» nous avons suivi les traces depuis la vallée de la Sarre  
 » jusqu'à la Moselle, et que cette faille a probablement  
 » rejeté à une certaine profondeur le terrain houiller,  
 » comme elle l'a fait des formations plus modernes. »

## II. Recherches des environs de Creutzwald.

A l'encontre de ce qui a lieu pour les environs de Forbach, la plaine de Creutzwald nous a toujours paru offrir, pour les recherches de houille, un champ d'exploration aussi vaste que fructueux. Aussi, lorsqu'à la suite des premiers travaux dont nous venons de rendre compte, il fut question d'en entreprendre de nouveaux, nous les dirigeâmes de préférence dans cette plaine, que nous nous attachons d'abord à faire connaître.

Plaine  
de Creutzwald.

Parmi les compartiments naturels entre lesquels se divise le département de la Moselle, sous le rapport orographique, il n'y en a pas de mieux défini que la plaine de Creutzwald. Qu'on se figure un plateau très-légèrement accidenté, dont l'altitude moyenne est de 250 mètres, qui, du côté de l'est, s'étend jusqu'à la frontière, et qui est limité au sud, à l'ouest et au nord, par une chaîne continue de collines s'élevant de 100 à 150 mètres au-dessus de son niveau, et on se fera une idée aussi nette que possible de l'espace dans lequel les recherches de houille ont été circonscrites jusqu'ici. A l'exception de la région comprise entre Saint-Avold, Merlebach et Hombourg qui est beaucoup plus accidentée que le reste de la plaine, et où il y a des points qui atteignent une altitude supérieure à 300 mètres, celle-ci se détache nettement des coteaux entre lesquels elle est encaissée; sa forme se rapproche assez de celle d'un triangle dont la grande base comprise entre Merten et Cocheren est de 18 kilomètres et demi et dont la hauteur comptée entre Carling et Longeville-lès-Saint-

Avold est d'environ 15 kil.; sa superficie peut être évaluée à 150 kil. quarrés. La Rosselle et la Bisten sont les plus importants des cours d'eau qui arrosent ce plateau; ils le quittent, tous les deux, à la cote de 200 mètres, le premier près de Rosbruck, le second près de Merten.

Le sol de la plaine de Creutzwald est occupé par les assises moyennes du grès vosgien consistant le plus fréquemment en un grès quartzeux, peu agrégé, pénétré quelquefois d'infiltrations ferrugineuses. Dans l'escarpement qui la termine, on rencontre successivement la partie supérieure du grès des Vosges, les affleurements du grès bigarré et ceux du muschelkalk jusqu'aux couches les plus élevées de cette formation, celles qui renferment en abondance la *terebratula vulgaris*, la *gervillia socialis* et l'*ammonites nodosus*. Ces affleurements déterminent habituellement deux lignes de hauteurs disposées un peu en retraite l'une par rapport à l'autre, la première s'arrêtant aux grès marneux et dolomitiques qui constituent les assises supérieures du grès bigarré.

Si l'on n'a pas égard aux travaux qui remontent à une trentaine d'années et qui sont restés sans résultats, on peut dire que les recherches tentées dans la plaine de Creutzwald en vue d'y découvrir le terrain houiller de la Sarre, datent seulement de 1853. Rendant compte, en 1849, à l'administration supérieure des premières explorations que j'avais entreprises par ses ordres sur ce terrain, j'avais déjà indiqué la plaine dont il s'agit comme offrant pour les recherches un champ qui présentait beaucoup de chances de réussite. Ces conclusions plus nettement formulées dans un mémoire que je terminai au commencement de l'année 1852, à la suite d'une reconnaissance détaillée du bassin de la Sarre, conclusions que, dans l'intérêt d'une prompt solution, je n'ai jamais tenu secrètes, finirent par attirer l'attention de

Historique  
des travaux  
de recherches.

quelques personnes qui s'étaient déjà occupées, dans le département, de recherches d'un autre genre. Lorsque, constituées en société sous le nom de Compagnie houillère de la Moselle, elles m'eurent fait connaître leur intention d'entreprendre un sondage pour la recherche de la houille sur la frontière nord-est, je les conduisis à Creutzwald, point que je considérai comme un des plus avantageux; l'emplacement du sondage fut définitivement arrêté le 23 mars 1853, dans une dépression située le long du chemin de ce village à Lauterbach. Il importe de faire remarquer ici que cette première recherche de Creutzwald, du succès de laquelle allait dépendre l'avenir des travaux d'exploration dans cette région du département, fut commencée dans des conditions beaucoup plus défavorables que celles qui furent anciennement entreprises dans les environs de Schœneck, et qui amenèrent l'institution de la concession de ce nom. En effet, tandis que du lieu où ces dernières étaient situées, on pouvait apercevoir, de l'autre côté de la frontière, le terrain houiller et même une galerie d'exploitation, le forage de Creutzwald placé, à dessein, aussi près que possible de la frontière prussienne, se trouvait cependant à environ huit kilomètres de distance de Ludweiler et de Differten, points où le terrain houiller cesse d'être visible dans les vallées du Lauterbach et de la Bisten, et à dix kilomètres de Geislautern, la dernière exploitation que l'on rencontrait, en marchant de la Sarre vers la limite du département. Mais si, par suite de l'éloignement, le forage de Creutzwald présentait plus de chances d'insuccès que ceux de Schœneck, un intérêt d'autant plus considérable s'y trouvait attaché, car on pouvait raisonnablement penser que, la distance qui nous séparait de la partie apparente du bassin houiller étant une fois heureusement franchie, il serait

moins difficile de fournir les autres étapes nécessaires pour arriver à une exploration complète de la plaine.

Vers la fin de l'année 1853, un grand pas était déjà fait dans la voie que ce forage venait d'ouvrir; parvenu à un peu plus de cent mètres, il était entré dans du terrain houiller bien caractérisé. Rencontrer ce terrain sous une aussi faible épaisseur de grès des Vosges était une circonstance des plus heureuses, non-seulement pour l'avenir du trou de sonde de Creutzwald qui fut dès lors considéré comme assuré, mais encore pour l'ensemble des explorations à faire dans la plaine. Celles-ci ne se firent pas attendre. A peine le premier succès obtenu à Creutzwald, gage d'un succès plus décisif, était-il connu que la société qui avait entrepris ce forage décida l'exécution d'une seconde recherche à Carling, point que j'avais aussi recommandé comme un de ceux sur lesquels les explorations devaient d'abord porter, et elle le plaça tout près de la frontière à l'origine de la vallée du Lauterbach. Le premier coup de sonde fut donné à Carling le 23 janvier 1854.

En même temps, des sociétés nouvelles se formèrent à Paris, où le succès obtenu à Creutzwald avait trouvé de l'écho, pour continuer ce qui venait d'être si bien commencé. A ces sociétés j'indiquai la vallée de la Merle, sillon profond qui court parallèlement à la frontière prussienne depuis l'Hôpital jusqu'à Merlebach, comme le lieu où, après Creutzwald et Carling, il me paraissait que les recherches devaient être les plus fructueuses. L'une d'elles occupa la partie haute de la vallée où elle fit exécuter le sondage de l'Hôpital et plus tard le forage à la corde de Freyming; l'autre se plaça à son extrémité orientale; elle entreprit à la pointe de la forêt du Hochwald la recherche de ce nom, et elle compléta dans la suite ses explorations en faisant sonder

à Cochern, à Hombourg et à Merlebach. C'est également au milieu de l'année 1854 que remonte la mise en train du sondage de la tuilerie de Freyming, placée à 700 mètres seulement au sud de celui du Hochwald.

Vers cette époque, c'est-à-dire un peu plus d'un an après le commencement des travaux, la frontière nord-est du département était donc jalonnée par une ligne de sondages qui s'étendait depuis Creutzwald jusqu'à Cocheren sur une longueur de 15 kilomètres. Ici se place un fait qui devait avoir la plus grande influence sur le résultat des explorations : je veux parler de la découverte de la houille qui eut lieu simultanément le 18 juillet, dans les deux forages de Creutzwald et de Carling. Déjà, le 14 juin, une première constatation avait été faite, dans ce dernier, sur une petite veine de 23 centimètres, rencontrée à 160 mètres de profondeur. Mais les 20 et 21 juillet, les premiers gîtes exploitables reconnus dans la plaine de Creutzwald furent traversés en présence de l'ingénieur du département, celui de Creutzwald sur une épaisseur de 0<sup>m</sup>.95 et celui de Carling sur 1<sup>m</sup>.72, et, d'après la nature des terrains qui les accompagnaient, ces gîtes furent rapportés à la partie moyenne du groupe inférieur du terrain houiller, celle qui comprend les veines exploitées à Geislautern.

Le succès obtenu à la fois à Creutzwald et à Carling amena immédiatement la création de nouvelles sociétés d'exploration. Une des premières installées fut celle qui est connue sous le nom de compagnie houillère de l'Est. Les constatations qui venaient d'être faites dans ces localités, avaient appris que la houille se trouvait à Carling à 184<sup>m</sup>,15 ; tandis qu'à Creutzwald le premier banc exploitable n'avait été rencontré qu'à 212<sup>m</sup>,74. On en conclut faussement que les couches allaient en se relevant vers le sud, et on attacha un prix énorme à la

partie méridionale de la plaine qui n'avait pas encore été explorée. Ceci explique pourquoi la compagnie de l'Est choisit tout d'abord l'emplacement de sa première recherche fort loin des travaux en cours d'exécution, près d'Oderfang. En même temps, la compagnie houillère de la Moselle, qui avait fait exécuter les sondages de Carling et de Creutzwald, et qui venait d'en commencer un autre au Zang, un peu au sud du premier village, croyant voir, dans la compagnie de l'Est, la concurrence sous un autre nom d'une des sociétés déjà installées dans la vallée de la Merle, entreprit pour son compte, avec quelques associés nouveaux, un sondage non loin de celui d'Oderfang, près de Saint-Avold. Quelque temps après, la seconde compagnie ayant ouvert un sondage à l'ouest de cette ville, à l'embranchement de la route de Château-Salins sur celle de Metz à Forbach, la société houillère en plaça un autre à l'entrée du village de Longeville. Il y eut donc entre ces deux sociétés une véritable lutte ayant sa cause dans l'engouement qu'on avait pris tout d'un coup, sur de fausses indications, pour le territoire méridional de la plaine. On se plaisait alors à supposer que les couches de houille allant en se relevant vers Saint-Avold, on devait les rencontrer dans le sud très-près du sol. Une grande déception était réservée à cette manière de voir. Aussi, quand les sondages de Longeville, de la route de Château-Salins et de Saint-Avold furent parvenus à des profondeurs variables entre 150 et 200 mètres sans quitter le grès vosgien, les sociétés qui les avaient entrepris se déclarèrent-elles satisfaites, et elles les abandonnèrent. Le seul sondage d'Oderfang fut continué et poussé à une grande profondeur avec une persévérance digne d'éloges ; nous dirons plus loin ce qu'il a trouvé.

Ce n'était point sous son nom, mais sous un nom

d'emprunt, que la compagnie houillère de la Moselle avait poussé des reconnaissances dans le sud sur le territoire de la compagnie de l'Est. Il lui restait quelque chose de plus sérieux à faire pour compléter les explorations de son propre territoire; elle venait de découvrir la houille sur deux points de la frontière; il lui fallait une troisième recherche dans l'intérieur du territoire français pour motiver une extension de périmètre vers l'ouest. Nous fondant sur l'idée que nous nous étions faite de l'allure du terrain houiller dans cette région, allure que nous comparions à un dos d'âne dont l'arête passait entre Creutzwald et Carling dans une direction voisine du nord-est au sud-ouest, nous lui indiquâmes le village de Porcelette comme un point déjà suffisamment distant de la frontière, et où il nous semblait que le terrain houiller devait se trouver à la moindre profondeur. Le village lui parut un peu trop élevé; elle choisit le moulin qui n'en est distant que de 1.500 mètres, et elle y plaça un forage qui fut commencé le 6 septembre de cette même année 1854.

Vers cette époque, une société se forma à Metz pour explorer le territoire situé au nord du village de Creutzwald; elle prit le nom de société de la forêt de la Houve, qui indiquait que c'était principalement dans cette vaste forêt qu'elle comptait diriger ses explorations. Elle commença un premier forage, le 8 janvier 1855, à moitié chemin de Creutzwald à Merten, près de la frontière prussienne, qui est formée, dans cette région, par la rivière de Bisten.

L'année 1855 s'ouvrit de la manière la plus heureuse pour les travaux de recherches. Le 6 janvier, en effet, nous procédâmes à la constatation de la découverte d'une première couche de houille à la profondeur de 204<sup>m</sup>,47 dans le sondage de l'Hôpital, qui était entré depuis

quelque temps déjà dans du terrain houiller bien caractérisé. On reconnut, il est vrai, que la couche recoupée à cette profondeur n'avait que 0<sup>m</sup>,47 de puissance; mais la nature des terrains qui l'accompagnaient, et qui consistaient en schistes avec impressions de la flore houillère, ne permit pas de douter de la rencontre d'autres gîtes plus puissants. On tint également compte, comme d'une circonstance très-heureuse pour les recherches, de l'inclinaison peu considérable du terrain houiller perforé dans cette localité, inclinaison qui était de 12 à 15°. Le sondage de l'Hôpital mit en évidence un autre fait assez remarquable: c'est la rencontre qui a été faite entre 127<sup>m</sup>,20 et 176<sup>m</sup>,40 de la formation du nouveau grès rouge, caractérisée par des poudingues avec galets de mélaphyre légèrement décomposés et par des argiles bigarrées.

Quelque temps après la découverte de l'Hôpital, le 26 février et le 22 mars, nous fûmes appelé à constater la rencontre de deux couches de houille dans le forage du Hochwald, commune de Freyming; la première sur une puissance de 1<sup>m</sup>,85 à la profondeur de 227<sup>m</sup>,97, la seconde sur une épaisseur de 12<sup>m</sup>,16 à la profondeur de 241<sup>m</sup>,98. L'épaisseur tout à fait exceptionnelle de cette dernière pour le bassin de la Sarre fit supposer ou qu'il y avait là un renflement, ou que le terrain houiller était très-incliné. En découpant des carottes dans des schistes vers la fin du sondage, on reconnut que c'était à la dernière circonstance qu'il fallait rapporter la puissance considérable des couches recoupées.

Les découvertes presque simultanées de l'Hôpital et du Hochwald devinrent le point de départ de la formation de nouvelles sociétés de recherches qui s'organisèrent principalement à Nancy, sous les noms de sociétés

lorraine, de Falck, nancéienne et du nord. Ces sociétés dirigèrent surtout leurs explorations vers le nord et l'ouest de la plaine de Creutzwald. La société lorraine, la première installée, fit commencer un forage, dans le courant du mois de mai, près du village de Ham sous Varsberg. Les travaux de la société de Falck consistant en deux sondages placés, l'un au sud du village de ce nom, sur la route de Ham, l'autre au sud-ouest de Merten, ne furent entrepris qu'à partir du mois d'octobre. La société du Nord commença, dans le courant de ce mois, le sondage de Berweiller, placé dans une des vallées qui se détachent de la plaine. Enfin, à la fin du mois de septembre, la société nancéienne fut en mesure de pousser les travaux de son sondage de Porcellette.

A partir de cette époque, cinq sondages ont encore été entrepris dans la plaine de Creutzwald; mais un seul, celui de Hargarten, appartient à une société nouvelle; ce sont, suivant l'ordre des dates :

1° Le sondage de la forêt de Saint-Avold, commencé le 5 novembre 1855 par la compagnie houillère de l'Est, laquelle suspend, quelque temps après, les travaux de sondage d'Oderfang, parvenu à la profondeur de 447 mètres;

2° Le sondage de Boucheporn, foré dès le 5 décembre dans une vallée qui commence au-dessous du village du ce nom, et qui débouche à Varsberg, dans la plaine de Creutzwald; il appartient à la société lorraine;

3° Le sondage de Brouckwies, commencé le 26 février 1856, par la société de la Houve, dans la forêt de ce nom, sur la rive gauche de l'étang de Brouckwies;

4° Le forage de Dalheim, entrepris dans le courant du mois d'août par la société du nord;

5° Enfin le sondage de Hargarten-aux-Mines, placé un peu à l'ouest du village de ce nom, et dont la mise en

activité ne remonte pas au delà du mois de septembre 1856.

Ces dernières recherches ont porté à vingt-six le nombre des forages entrepris jusqu'ici dans la plaine de Creutzwald pour la recherche du prolongement du bassin de la Sarre (1).

Nous ne devons point quitter l'année 1855 sans signaler, comme un fait important pour l'exploration de la plaine, la découverte de la houille qui a lieu en novembre dans le sondage du moulin de Porcellette, et qui a établi pour la première fois l'existence d'un gîte exploitable à une distance assez considérable de la frontière prussienne.

Les quatre faits de l'année 1856 les plus saillants pour les recherches sont les découvertes successivement faites dans les sondages de la Houve, de l'Hôpital, de Ham sous Varsberg et de Falck, de gîtes de combustible. Nous extrayons des procès-verbaux que nous avons rédigés, à la suite de ces constatations, les circonstances les plus intéressantes pour l'exploration de la plaine.

11 et 12 janvier 1856. Constatation de la rencontre faite, dans la nuit du 14 au 15 décembre 1855, d'une couche de houille dans le sondage de la forêt de Houve. Le forage a traversé 114<sup>m</sup>, 53 de grès vosgien, consistant en grès plus ou moins agrégés, gris ou rougeâtres, et en quelques poudingues, et à partir de cette profondeur, du terrain houiller qui est caractérisé d'abord par des grès bleuâtres, puis par une série très-puissante d'argiles schisteuses bigarrées de rouge, de bleu et de

(1) On vient d'installer un nouveau forage dans la vallée entre Coumes et Denting; mais il se trouve en dehors des limites de la plaine, telle que nous l'avons définie plus haut.

gris, et enfin par des schistes d'un gris foncé couverts de fougères et de calamites. Vers la profondeur de 206 mètres, ces schistes ont présenté quelques veinules de houille; ils ont cela de remarquable, qu'ils renferment des rognons de minerai de fer carbonaté lithoïde, assez rares dans le bassin de la Sarre, au moins pour les assises voisines de la houille. La couche de charbon a été rencontrée à la profondeur de 262<sup>m</sup>,08, et traversée en notre présence sur une épaisseur de 0<sup>m</sup>,85: on a reconnu postérieurement qu'elle avait 1<sup>m</sup>,12 de puissance.

29 janvier 1856. Constatation de la découverte d'un nouveau gîte de combustible dans le sondage de l'Hôpital, à la profondeur de 346<sup>m</sup>,79. Depuis la rencontre de la petite couche de 0<sup>m</sup>,47, le trou de sonde a été approfondi dans des schistes d'un gris noirâtre renfermant quelques bancs de grès grisâtres. Il a rencontré plusieurs veines de houille, notamment à 206<sup>m</sup>,80 une veine de 0<sup>m</sup>,30; à 207<sup>m</sup>,23, une autre de 0<sup>m</sup>,25; à 214<sup>m</sup>,02, une troisième de 0<sup>m</sup>,32; à 238<sup>m</sup>,06, une quatrième de 0<sup>m</sup>,15; à 249<sup>m</sup>,15, une cinquième de 0<sup>m</sup>,52; à 277<sup>m</sup>,70, un groupe qui comprend d'abord une veine de 0<sup>m</sup>,60, du schiste mélangé de houille sur 1<sup>m</sup>,55 d'épaisseur; une seconde veine de 0<sup>m</sup>,70, du schiste sur 0<sup>m</sup>,40; une troisième veine de charbon de 0<sup>m</sup>,60, du schiste sur 0<sup>m</sup>,53; et enfin une quatrième veine de houille de 0<sup>m</sup>,20. La couche traversée à la profondeur indiquée plus haut a une puissance de 1<sup>m</sup>,22 au moment de la constatation; mais elle est immédiatement suivie de plusieurs autres qui constituent un faisceau ainsi composé: schistes 6<sup>m</sup>,14, couche de houille 1<sup>m</sup>,90, schistes 0<sup>m</sup>,25, houille 0<sup>m</sup>,75, schistes traversés par des veinules de houille 2<sup>m</sup>,80, grès houiller 0<sup>m</sup>,60, houille 5<sup>m</sup>,35.

11 avril 1856, reconnaissance de la découverte d'une première veine de houille à la profondeur de 257<sup>m</sup>,08 dans le sondage de Ham-sous-Varsberg. Cette veine, dont la puissance peut être évaluée de 0<sup>m</sup>,60 à 0<sup>m</sup>,75, se trouvait entièrement traversée avant notre visite. La circonstance principale reconnue sur les carottes qui ont été retirées du trou est que le terrain houiller est peu incliné dans cette localité.

5 août, constatation de la découverte de la houille dans le sondage de Falck. Le trou a été foré par le système de M. Kind, d'abord sur un diamètre de 36 centimètres jusqu'à 20 mètres, ensuite sur un diamètre de 30 centimètres jusqu'à 168 mètres, et enfin sur un diamètre de 0<sup>m</sup>,26 jusqu'au fond; il y a dans le trou trois colonnes de tubes dont les diamètres décroissants sont de 0<sup>m</sup>,30, 0<sup>m</sup>,26 et 0<sup>m</sup>,205; elles descendent, la première à la profondeur de 143<sup>m</sup>,25, la seconde à celle de 211<sup>m</sup>,81 et la troisième à celle de 216<sup>m</sup>,84. La sonde a traversé 171<sup>m</sup>,21 de grès vosgien consistant en grès peu agrégés et en poudingues à petites parties et ensuite le terrain houiller représenté dans cette localité par des argiles rouges bigarrées de gris et de vert et par des argiles schisteuses grisâtres. C'est dans ces dernières qu'à la profondeur de 217<sup>m</sup>,64 on a rencontré une première veine de houille un peu schisteuse qui a été traversée sur une épaisseur de 1<sup>m</sup>,02. Par les échantillons ramenés du fond du trou et qui en avaient conservé la forme cylindrique, on a pu reconnaître que l'inclinaison du gîte était extrêmement faible.

Il convient, après avoir fait l'historique des travaux de recherches de la plaine de Creutswald, de jeter un coup d'œil sur l'ensemble pour pouvoir en apprécier les résultats. En résumant les circonstances principales qu'ils présentent, on voit que le terrain houiller avec

État actuel  
des travaux.

gite de combustible se trouve être reconnu le long de la frontière depuis le sondage de la Houve au nord jusqu'à celui du Hochwald à l'est, c'est-à-dire sur une étendue qui embrasse 15 kilomètres, sans tenir compte des détours que celle-ci fait. Quant aux reconnaissances poussées vers l'intérieur, les résultats qu'elles ont fournis sont assez variables, suivant les points de la plaine que l'on envisage. Si l'on prend d'abord la partie la plus étendue de cette plaine, partie placée à gauche de la route de Saint-Avold à Sarrelouis et dont Creutzwald forme à peu près le centre, on voit que les forages situés vers l'ouest qui sont déjà parvenus dans des gites de combustible, tels que ceux du moulin de Porcelette, de Ham, de Falck sont situés à des distances de la frontière comprises entre 5 et 6 kilomètres, de telle sorte qu'il y a de ce côté une étendue assez considérable de terrain houiller reconnu. De plus, le sondage de Berweiller parvenu le 16 août 1856 à la profondeur de 195<sup>m</sup>,50 se trouvait dans du terrain houiller bien caractérisé depuis une trentaine de mètres; celui de Brouckwies y était entré à la profondeur de 215<sup>m</sup> (1), celui de Merten vers 140 mètres, celui de Porcelette à 265<sup>m</sup>,16, et la réussite complète de ces recherches n'était plus qu'une question de temps. Au milieu du mois de juillet, le forage de Boucheporn était arrivé à 242<sup>m</sup>,60 et celui de la forêt de Saint-Avold à 239 mètres sans avoir procuré de résultats; mais ces profondeurs n'étant point exagérées eu égard à la position qu'ils occupent, on ne peut tirer aucune conclusion de leur degré d'avancement (2). On ne peut davantage formu-

(1) On vient d'y découvrir un beau faisceau de veines de combustible à 303 mètres.

(2) Ils sont actuellement dans du terrain houiller bien caractérisé.

ler une opinion sur les sondages de Longeville, de la route de Château-Salins et de Saint-Avold qui sont restés dans le grès des Vosges à des profondeurs comprises entre 150 et 200 mètres bien évidemment inférieures à la puissance de cette formation dans les localités dont il s'agit. L'intérêt qui s'attache à la recherche de Longeville, point extrême de la plaine vers l'ouest, l'a fait reprendre dans ces derniers temps par la société lorraine. Les forages de Dalheim et de Hargarten-aux-Mines sont commencées depuis quelques jours seulement. Seul, le sondage d'Oderfang a été poussé à une profondeur de 447 mètres, laquelle est tellement considérable que l'on est tenté de regarder comme négatif le résultat qu'il a fourni. Toutefois, si l'on examine de près les échantillons retirés de ce trou de sonde, ceux surtout qui n'ont pas été broyés par le trépan, on reconnaît qu'ils ne peuvent plus être rapportés au grès vosgien. Quelques-uns de ces échantillons présentent des galets de mélaphyre décomposés qui prouvent que la sonde est entrée dans le grès rouge. Elle a même pénétré peut-être dans le terrain houiller, mais dans une partie de ce terrain qui ne ressemble plus à celle qui est reconnue plus au nord. Il y a donc là une anomalie qui, loin d'être particulière au sondage d'Oderfang, rappelle les faits constatés dans les recherches de la Bavière rhénane et que l'on verra se reproduire tout à l'heure avec plus d'évidence dans la partie orientale de la plaine. Elle laisse peu d'espoir de rencontrer des gisements de combustible, vers le sud, dans la région voisine de l'escarpement triasique.

En pénétrant dans la partie orientale de la plaine, nous trouvons d'abord, à 1.500 mètres au sud du village de Carling, le sondage du Zang qui est entré dans le terrain houiller à 164<sup>m</sup>,45 et qui parvenu au

milieu du mois d'août 1856, dans les schistes qui accompagnent habituellement la houille, ne peut tarder à mettre à jour des veines de combustible (1). Un peu plus bas dans la vallée de la Merle, nous rencontrons le sondage de l'Hôpital qui a été poussé à un peu plus de 400 mètres et qui a traversé de nombreuses couches de houille. Le sondage à la corde de Freyming qui a marché très-lentement et qui est poursuivi aujourd'hui par le procédé le plus usité, a pénétré dans le terrain houiller vers 240 mètres, après avoir traversé le nouveau grès rouge sur une faible épaisseur. Celui du Hochwald, placé à l'extrémité orientale de la vallée de la Merle, a présenté, à l'encontre de tous les autres, des assises très-inclinées. Il serait sans doute prématuré de porter un jugement sur la cause de cette anomalie; seulement il faut remarquer que ce sondage, un forage récemment entrepris dans la concession de Schœneck en au sud-est du village de Petite-Rosselle et qui a également mis à jour du terrain houiller fortement redressé, et le hameau même de Schœneck en où ont été ouverts autrefois les travaux de la concession de ce nom et où l'on a rencontré des dérangements considérables, sont situés à peu près sur une ligne droite qui ne s'éloigne pas de la direction du soulèvement du bassin de la Sarre. Les accidents dont cette portion du bassin a été le théâtre, sont accusés par des failles considérables dans les terrains supérieurs, failles qui ont placé, sur de nombreux points, le grès bigarré supérieur en con-

(1) Cette prévision s'est réalisée : la présence de la houille a été constatée dans le sondage du Zang, le 24 octobre, à la profondeur de 285<sup>m</sup>,50; la sonde a immédiatement traversé un faisceau composé de plusieurs couches assez épaisses; après quoi on a dû abandonner ce forage, qui était en très-mauvais état.

tact avec le grès des Vosges, comme cela se voit entre Freyming et Hombourg.

C'est également à une faille que nous rapportons la différence que les deux forages du Hochwald et de la tuilerie de Freyming ont présentée dans la nature des terrains rencontrés, bien qu'à vol d'oiseau ils soient à peine séparés par une distance de 700 mètres. On a vu que le premier avait pénétré, à la profondeur de 173<sup>m</sup>,99, dans du terrain houiller bien caractérisé où l'on n'avait pas tardé à recouper des bancs de combustible. Le second au contraire a été abandonné, dans le courant du mois de mai 1856, à la profondeur de 579<sup>m</sup>,71, sans avoir rencontré autre chose que des assises gréseuses, quartzesuses et feldspathiques que nous avons longtemps regardées comme appartenant au grès vosgien. Cependant, en fixant, dans une de nos dernières tournées, notre attention sur quelques échantillons qui avaient été retirés du trou sans avoir été pulvérisés et qui présentaient de bons points de repère, nous avons été amené à conclure que le forage de la tuilerie de Freyming était dans le terrain houiller, et même en remontant la série à partir de ces échantillons assez caractéristiques, nous avons vu qu'il y était depuis longtemps. Seulement ce terrain houiller diffère complètement de celui du Hochwald; il consiste en grès quartzesux et feldspathiques qui, quand ils sont broyés par le trépan, se distinguent difficilement du grès des Vosges; nous serions disposé à les rapporter à ceux qui sont exploités à Illingen dans le bassin de la Sarre. C'est vers 206 mètres que nous placerions la limite du grès des Vosges; les 373 mètres restants ne seraient pas exclusivement du terrain houiller, car le forage de Freyming a traversé du nouveau grès rouge caractérisé par ses galets de mélaphyre. L'anomalie déjà signalée

dans le sondage d'Oderfang et dans celui de Neuhaüsel (Bavière) se reproduit ici, comme on le voit, avec beaucoup d'évidence.

Le sondage de Hombourg a été abandonné, dans ces derniers temps, vers 300 mètres, sans être sorti du grès vosgien; celui de Merlebach était parvenu au milieu du mois d'août 1856 à 257 mètres, et n'avait pas encore procuré de résultat (1).

Après le sondage de Merlebach, nous n'avons plus à parler que de celui de Cocheren situé à la pointe orientale de la plaine. Le 16 août dernier (2), il était parvenu à la profondeur de 330 mètres et il avait pénétré, depuis une quarantaine de mètres, dans du terrain houiller bien caractérisé. Il ne faut point perdre de vue que cette recherche ainsi que celle de Merlebach sont situées au sud d'une faille considérable qui a rejeté tous les terrains vers le sud de 80 à 100 mètres de profondeur et qui est parfaitement accusée dans le Hiéraple, colline de grès vosgien adossée à un plateau constitué par les assises supérieures du grès bigarré. On peut donc concevoir l'espérance de rencontrer le terrain houiller au nord de cette faille, par exemple au pied septentrional du Hiéraple, à une profondeur beaucoup moins grande.

Essayons maintenant de résumer les résultats obtenus. Relativement à l'étendue du terrain houiller utilement exploitable sur notre territoire qui se trouve être reconnue au moment où nous écrivons ces lignes, com-

mencement d'octobre 1856 (et on ne perdra point de vue que les recherches se poursuivent sur de nombreux points de la plaine), nous croyons que l'on peut, sans trop s'avancer, adopter pour limites une ligne qui passerait à 1 kilomètre au delà des sondages dans lesquels le terrain houiller inférieur a été rencontré. Une semblable ligne s'appuierait sur la frontière dans les environs de Berweiller et elle viendrait, par un circuit qui envelopperait les sondages de Falck et de Han, toucher à Varsberg; de là elle se dirigerait un peu au sud de Porcelette, des sondages du Zang et de l'Hôpital, elle passerait entre ceux du Hochwald et de la tuilerie de Freyming et viendrait aboutir à Cocheren à l'extrémité orientale de la plaine. L'espace ainsi circonscrit serait de 90 à 100 kilomètres carrés; en les ajoutant aux 40 kilomètres carrés provenant tant de la concession de Schœneck en que des explorations des environs de Forbach, on aurait une étendue d'à peu près 140 kilomètres carrés pour la superficie du bassin houiller reconnu sur le territoire français.

L'allure du terrain houiller mis à jour dans la partie centrale de la plaine de Creutzwald est assez régulière. Jusqu'ici partout où on a pu reconnaître l'inclinaison de ce terrain, on l'a trouvée généralement faible. Dans le premier sondage de Creutzwald, à Carling, à la Houve, à Porcelette, à Ham et à Falck où on a obtenu des carottes qui indiquaient bien la stratification, on a constaté que les couches étaient rarement inclinées de plus de 10 à 15°. Cette circonstance très-favorable pour les exploitations futures a été, en particulier, mise en évidence dans le premier forage par une suite d'échantillons découpés dans le trou avec un trépan cylindrique et qui embrassaient une puissance d'environ 100 mètres. Il est plus difficile d'assigner le sens de l'inclinaison qui

Allure du terrain houiller sur le sol français.

Résultats obtenus.  
Etendue du terrain concessible.

(1) Il se trouve actuellement (avril 1857) dans des schistes d'un gris noirâtre, avec impressions de la flore houillère, dont l'inclinaison est de 55°.

(2) Il est parvenu à 397 mètres de profondeur dans des schistes semblables à ceux de Merlebach.

ne peut être obtenu qu'avec des précautions extrêmement minutieuses et que, pour cette raison, on a négligé de rechercher. Par suite de la vérification de nos prévisions sur la rencontre du terrain houiller et de la houille dans les sondages du moulin de Porcelette et de Ham, nous sommes disposé à penser que l'allure du bassin reconnu sur la rive gauche de la Sarre, allure comparable à la figure d'un dos d'âne ou d'une selle dont l'arête passerait entre Creutzwald et Carling et se dirigerait vers le sud-ouest, se maintient dans toute l'étendue de la plaine. D'après quelques analogies de composition constatées dans les terrains encaissants, les couches de charbon rencontrées dans ces deux localités ne s'éloigneraient pas beaucoup de celles qui sont exploitées à Geislautern; elles appartiendraient au même faisceau. La Houve et Falck, situés sur le versant nord de la Selle, se rapprocheraient davantage de Hostenbach, c'est-à-dire des assises tout à fait supérieures du premier des groupes que nous avons distingués dans le terrain houiller de la Sarre. Nous ne croyons pas devoir pousser plus loin les analogies, les rapprochements fondés sur les épaisseurs des couches ne pouvant conduire qu'à des erreurs, quand on les applique à de trop grandes distances.

Les environs de Freyming ont présenté, comme on l'a vu, une exception à la règle générale, exception dont il n'est pas facile de se rendre compte avec ce que l'on sait aujourd'hui. Nous présenterons cependant à ce sujet quelques idées qui nous sont inspirées par ce que nous avons vu dans le bassin de la Sarre. Le nouveau grès rouge qui s'étend dans toute la vallée de la Merle et jusqu'à l'étang d'Oderfang, renferme des fragments de roches mélaphyriques. Or on sait que cette formation est principalement composée d'éléments empruntés à

des roches du voisinage et qui n'ont jamais été charriés à une grande distance. D'après cela, il faut s'attendre à trouver des mélaphyres en place dans la région méridionale de la plaine et, comme ces roches sont arrivées au jour par des fissures produites lors de l'apparition des porphyres quartzifères qui a été la cause du soulèvement du bassin de la Sarre et qu'elles sont même disposées, autour des groupes porphyriques, avec une certaine symétrie, on est porté à penser que les accidents observés dans cette région se rattachent aux phénomènes qui ont agi avec une intensité remarquable sur la partie du terrain houiller qui paraît au jour. Quelle que soit l'explication que l'on adopte, il ne faut point perdre de vue que les causes qui ont produit les accidents reconnus dans le terrain houiller ont vraisemblablement continué d'exercer leur influence longtemps après s'être manifestées pour la première fois et qu'elles ont ainsi amené des dérangements dans les formations plus récentes. Toute la région comprise entre Saint-Avold, Merlebach et Hombourg, dont le relief est beaucoup plus accidenté que celui du reste de la plaine, est traversée par des dislocations profondes. Le redressement des assises du terrain houiller, la présence, au-dessus de ce terrain, du nouveau grès rouge, les failles et les accidents du sol dans la région dont il s'agit, sont des choses probablement connexes et qui dérivent de la même cause.

L'épaisseur totale des bancs de charbon recoupés par la sonde varie naturellement dans les différents points de la plaine et suivant la profondeur à laquelle celle-ci a pénétré.

Dans le premier forage de Creutzwald, où on a creusé dans le terrain houiller jusqu'à une profondeur de 303 mètres, c'est-à-dire à environ 90 mètres au-dessous de la

Épaisseur  
des gisements  
reconnus.

première couche, la puissance totale des veines rencontrées, en négligeant celles qui sont inférieures à 0<sup>m</sup>.40, est de 7<sup>m</sup>.52.

A Carling, où on s'est arrêté à 244<sup>m</sup>.08, c'est-à-dire à environ 64 mètres au-dessous de la première veine exploitable, on en a traversé cinq qui ont ensemble une puissance de 4<sup>m</sup>.84.

A Porcelette, où on est resté dans les premières assises du terrain houiller, on a 7<sup>m</sup>.18 de houille en six bancs qui sont tous exploitables.

Dans le sondage de l'Hôpital, qui a pénétré plus avant dans le terrain houiller, les résultats sont encore plus satisfaisants; là, l'épaisseur totale des couches de combustible recoupées est de 9<sup>m</sup>.59, en négligeant comme précédemment tout ce qui est inférieur à 0<sup>m</sup>.40.

Nous ne donnons point pour exemple le sondage du Hochwald où, dans une épaisseur de terrain houiller d'un peu plus de 100 mètres, on aurait plus de 25 mètres de houille; comme nous l'avons fait voir, l'anomalie qu'a présentée cette localité tient à un redressement des couches par suite duquel les puissances constatées sont beaucoup plus fortes que les épaisseurs réelles.

Il résulte des essais sommaires qui ont été faits lors des constatations, que les houilles provenant des veines traversées par les sondages de la plaine de Creutzwald brûlent avec une longue flamme, s'agglutinent légèrement et constituent au résumé de bons charbons de grille. Des analyses ont été faites, au bureau d'essai de l'École des mines, sur une série d'échantillons recueillis dans l'approfondissement du forage de l'Hôpital et dont on avait eu soin de séparer les fragments de schistes tombés des parois ou existants en nerfs dans la houille; nous en plaçons ici le tableau.

Qualité  
du  
combustible.

Numéros d'ordre.	PROFONDEUR à laquelle on a rencontré la couche.	Épaisseur constatée.	COMPOSITION.			Total.
			Carbone fixe.	Matières volatiles.	Cendres.	
	mèt.					
1	277,70	0,60	0,576	0,379	0,045	1 000
2	279,85	0,70	0,556	0,403	0,041	1 000
3	280,95	0,60	0,542	0,409	0,049	1 000
4	348,15	1,90	0,506	0,380	0,114	1 000
5	350,30	0,75	0,480	0,440	0,068	1 000
6	354,45	2,35	0,567	0,397	0,036	1 000
7	356,80	1,00	0,553	0,395	0,052	1 000

Ces houilles donnent un coke demi-aggloméré, peu boursoufflé.

Nous avons analysé pour notre compte deux échantillons retirés du trou de sonde de Creutzwald, le premier à la profondeur de 212<sup>m</sup>.74, le second à celle de 216<sup>m</sup>.80; ils nous ont donné les résultats suivants :

	Carbone fixe.	Matières volatiles.	Cendres.	Total.
N° 1 . . .	0,620	0,292	0,088	1 000
N° 2 . . .	0,617	0,335	0,048	1 000

Pour ne rien omettre de ce qui a rapport à la nature des houilles découvertes dans le bassin de Creutzwald, nous devons dire un mot d'une expérience qui a été faite sur celle retirée du trou de sonde du Hochwald. Une masse assez considérable de houille en menus fragments a été enfermée dans une caisse maintenue par des fils de fer et placée avec la charge dans un des fours de carbonisation que la Compagnie des chemins de l'Est possède près de Dutweiler; elle a donné un morceau de coke de la forme de la caisse, lequel était bien agglutiné et paraissait d'excellente qualité. On peut donc concevoir l'espérance d'obtenir, au moins sur quelques points de la plaine, des charbons propres à la fabrication du coke.

Coupes  
de quelques  
sondages.

Pour faire connaître d'une manière complète la constitution du sol dans la plaine de Creutzwald, nous donnons ici les coupes des trois sondages de Creutzwald, du moulin de Porcelette et du Hochwald, telles que nous les avons relevées, ayant les registres et la série des échantillons sous les yeux.

*Sondage de Creutzwald.* Il est situé, comme nous l'avons indiqué plus haut, près du chemin de Creutzwald à Lauterbach, et non loin de la frontière, dans une petite vallée où on lit la cote 219 sur la carte du dépôt de la guerre; c'est à peu près son altitude. Il a été exécuté par M. Mulet au moyen d'un équipage de forme ordinaire, tiges en fer avec emmanchements à vis; la force motrice donnant le mouvement à l'outil était produite par un manège à cheval. Le trou est foré jusqu'à 16 mètres sur un diamètre de 0<sup>m</sup>,40; à partir de là jusqu'à 103 mètres, sur un diamètre de 0<sup>m</sup>,35; puis, jusqu'à 118<sup>m</sup>,10, sur un diamètre de 0<sup>m</sup>,30; et de là à 122<sup>m</sup>,35, sur 0<sup>m</sup>,25 de diamètre; enfin, jusqu'au fond, sur 0<sup>m</sup>,16 de diamètre. Il est tubé jusqu'à 122<sup>m</sup>,35; les tubes ont les dimensions suivantes :

Mètres.	Diamètres des tubes.
Jusqu'à 16,00.	0,38
Jusqu'à 103,00.	0,35
Jusqu'à 118,20.	0,28
Jusqu'à 122,35.	0,20

Suit la liste complète des assises traversées jusqu'au fond :

NATURE DES TERRAINS TRAVERSÉS.		Épais- seur.	Houille.
		m.	
Grès des Vosges, 113 <sup>m</sup> ,70	Grès rouge, désagrégé avec plaquettes hématiteuses.	9,10	»
	Grès bigarré de rouge et de jaune, un peu argileux, avec de nombreuses plaquettes d'hématite.	5,78	»
	Grès rouge, assez tendre, avec galets quartzeux.	4,22	»
	Grès blanchâtre, à gros grains, avec plaquettes hématiteuses.	4,20	»
	Grès presque désagrégé, rouge veiné de blanc, avec quelques galets de quartz.	5,94	»
	Grès peu agrégé, rougeâtre, avec un lit d'argile de 0 <sup>m</sup> ,55.	20,59	»
	Grès rougeâtre, veiné de blanc.	6,65	»
	Poudingue à petites parties et grès grossier grisâtre.	34,29	»
	Couche d'argile rougeâtre et blanche.	1,52	»
	Grès à grains fins, bigarré de rouge et de gris.	3,30	»
	Grès jaunâtre à grains assez grossiers.	5,29	»
	Poudingue à petites parties, avec galets de quartz et de quartzite.	8,63	»
	Grès peu agrégé, grisâtre.	2,02	»
	Poudingue à petites parties.	2,17	»
	Grès jaunâtre, un peu argileux.	2,90	»
	Grès rouge lie de vin, plus grossier.	6,40	»
	Schiste gréseux lie de vin et gris.	0,70	»
Grès rouge lie de vin, très-dur.	1,41	»	
Poudingue lie de vin avec galets de quartz et quartzite.	12,77	»	
Schiste argileux, bigarré de rouge et de gris, onctueux.	1,15	»	
Grès grossier, grisâtre et rougeâtre, très-dur.	2,09	»	
Alternances de conglomérats de quartz à ciment lie de vin et d'argiles bleuâtres, légèrement schisteuses.	1,02	»	
Poudingue quartzifère, lie de vin, très-dur.	12,01	»	
Argile schisteuse alternant avec des couches de grès lie de vin, micacé.	2,04	»	
Grès rougeâtre avec quelques galets de quartz.	6,25	»	
Schistes argileux alternant avec des couches de grès lie de vin, à grains fins.	1,89	»	
Poudingue quartzifère et grès très-dur.	1,34	»	
Grès rougeâtre, plus tendre.	1,56	»	
Grès grisâtre, plus tendre.	1,10	»	
Grès gris bleuâtre, à grains fins avec des paillettes de mica.	20,27	»	
Schistes argileux, gris, rouges et bleus, un peu gréseux.	1,30	»	
Grès rouge foncé, à grains très-fins.	1,53	»	
Schiste argileux d'un gris noirâtre, avec impressions de fougères et de calamites.	3,44	»	
Grès grisâtre avec veinules de houille.	2,37	»	
Schistes argileux, bleuâtres.	3,96	»	
Grès d'un gris foncé, très-dur.	3,32	»	
Schistes noirâtres, avec veinules de houille.	1,50	»	
Houille.	0,21	0,21	
Alternances de grès et de schistes grisâtres, avec impressions de plantes de la flore houillère.	5,92	»	
Houille.	0,95	0,95	
Schistes gréseux, noirâtres, avec impressions de fougères.	2,21	»	
Houille.	1,17	1,17	
Schistes gréseux, noirâtres.	5,38	»	
Houille.	0,96	0,96	
Schistes bleuâtres.	0,25	»	
Houille.	0,40	0,40	

Terrain  
houiller,  
189<sup>m</sup>,47

NATURE DES TERRAINS TRAVERSÉS.		Épais- seur.	Houille.
		m.	
	Schistes bleuâtres. . . . .	0,45	"
	Houille. . . . .	0,82	0,82
	Schistes. . . . .	0,15	"
	Houille. . . . .	1,77	1,77
	Schistes grisâtres. . . . .	7,96	"
	Houille. . . . .	0,40	0,40
	Grès schisteux, bleuâtres, avec empreintes. . . . .	9,70	"
	Grès grisâtres, avec veinules de houille. . . . .	6,19	"
	Grès verdâtres, durs, avec quelques galets. . . . .	3,41	"
	Grès schisteux, bleuâtres, avec empreintes. . . . .	7,67	"
	Houille. . . . .	0,30	0,30
	Grès schisteux, grisâtres, avec empreintes. . . . .	3,82	"
Terrain houiller, 189 <sup>m</sup> ,47 (suite).	Schiste argileux, bleuâtre. . . . .	1,80	"
	Grès grisâtre. . . . .	1,76	"
	Schistes argileux, bleuâtres. . . . .	0,84	"
	Schistes noirâtres. . . . .	3,48	"
	Houille. . . . .	0,50	0,50
	Schistes d'un gris foncé. . . . .	5,80	"
	Houille. . . . .	0,18	0,18
	Grès grisâtre. . . . .	9,68	"
	Schistes argileux, d'un gris noirâtre. . . . .	3,27	"
	Houille. . . . .	0,55	0,55
	Schistes d'un gris noirâtre. . . . .	5,14	"
	Grès houillers, très-durs. . . . .	1,57	"

Arrêté à 303<sup>m</sup>,17 dans le terrain houiller.

*Sondage du moulin de Porcelette.* Il a été également foré par M. Mulot; commencé au moyen d'un levier manœuvré à bras, il a été poursuivi avec le manège à cheval qui avait servi à Creutzwald. Le trou est tubé jusqu'à 247<sup>m</sup>,07 au moyen de trois colonnes: la première, d'un diamètre de 0<sup>m</sup>,24, descend jusqu'à 180<sup>m</sup>,03; la seconde, d'un diamètre de 0<sup>m</sup>,20, s'étend entre 160<sup>m</sup>,57 et 221<sup>m</sup>,49; la troisième, d'un diamètre de 0<sup>m</sup>,165, va depuis 199<sup>m</sup>,77 jusqu'à 247<sup>m</sup>,07. Le trou de sonde a 0<sup>m</sup>,15 de diamètre au fond.

NATURE DES TERRAINS TRAVERSÉS.		Épais- seur.	Houille.
		m.	
	Terre végétale sableuse. . . . .	1,35	"
	Grès jaunâtre, peu agrégé, avec galets de quartz. . . . .	5,65	"
	Grès à grains fins, de couleur brique, veiné de jaune. . . . .	4,58	"
	Grès jaunâtre, avec galets de quartz et de quartzite. . . . .	1,60	"
	Grès peu agrégé, jaunâtre (eau jaillissante). . . . .	5,45	"
	Grès grisâtre, feldspathique, un peu argileux. . . . .	0,10	"
	Grès peu agrégé, avec galets de quartz. . . . .	4,62	"
	Grès argileux, rouge, désagrégé. . . . .	0,15	"
	Grès peu agrégé, rouge sale. . . . .	10,14	"
	Grès peu agrégé, grisâtre. . . . .	55,02	"
	Argile grise, veinée de rouge. . . . .	0,24	"
	Grès gris, grossier. . . . .	4,43	"
	Grès très-feldspathique, un peu argileux, rouge veiné de blanc. . . . .	1,03	"
	Grès désagrégé, rouge pâle. . . . .	9,25	"
	Grès gris blanchâtre. . . . .	33,00	"
	Poudingue quartzifère à galets assez volumineux. . . . .	3,90	"
	Argile grise veinée de rouge. . . . .	0,33	"
	Grès à grains fins, très-feldspathique. . . . .	1,10	"
	Grès presque désagrégé, d'un rouge pâle. . . . .	2,01	"
	Poudingue grisâtre, à petites parties. . . . .	3,05	"
	Grès gris, très-feldspathique. . . . .	2,50	"
	Argile sableuse, grise, veinée de rouge. . . . .	0,33	"
	Argile bigarrée, plus rouge. . . . .	0,26	"
	Poudingue quartzifère, gris, à petites parties. . . . .	1,90	"
	Grès argileux, bigarré de rouge et de gris. . . . .	0,44	"
	Grès gris blanchâtre. . . . .	4,90	"
	Poudingue rouge pâle, à petites parties. . . . .	1,57	"
	Grès grossier, grisâtre, peu agrégé. . . . .	1,50	"
	Grès argileux, bigarré de rouge et de gris. . . . .	0,15	"
	Poudingue grisâtre à petites parties. . . . .	1,95	"
	Grès grisâtre, feldspathique, peu agrégé. . . . .	1,45	"
	Poudingue quartzifère gris, à petites parties. . . . .	4,44	"
	Grès grossier, grisâtre. . . . .	0,60	"
	Grès grossier, rougeâtre. . . . .	0,05	"
	Poudingue gris, à petites parties avec galets de quartz et de quartzite. . . . .	0,91	"
	Argile bigarrée avec sable quartzeux. . . . .	0,20	"
	Poudingue grisâtre à petites parties. . . . .	1,30	"
	Poudingue grisâtre à grosses parties. . . . .	0,25	"
	Argile rouge, veinée de bleu. . . . .	0,80	"
	Grès grossier, quartzifère, d'un rouge pâle. . . . .	0,48	"
	Grès très-grossier, gris, veiné de rouge. . . . .	0,31	"
	Argile rouge, veinée de blanc. . . . .	1,04	"
	Grès grossier, très-feldspathique, gris, veiné de rouge. . . . .	0,60	"
	Grès argileux, rouge, veiné de blanc. . . . .	2,00	"
	Grès rougeâtre, très-dur. . . . .	0,50	"
	Argile sableuse, rouge pâle, veinée de blanc. . . . .	1,04	"
	Grès peu agrégé, rouge pâle. . . . .	0,44	"
	Argile sableuse, rouge. . . . .	0,81	"
	Argile bigarrée de rouge et de gris, avec galets de quartz. . . . .	1,43	"
	Grès quartzifère, feldspathique, grisâtre. . . . .	1,00	"
	Grès rougeâtre avec quelques galets de quartz. . . . .	0,80	"
	Grès bigarré de rouge et de gris. . . . .	0,45	"
	Grès rouge pâle, très dur. . . . .	1,72	"
	Argile bigarrée avec galets de quartz. . . . .	2,19	"
	Conglomérats de quartz à petites parties très-feldspathiques, avec traces de pyrite. . . . .	0,58	"

NATURE DES TERRAINS TRAVERSÉS.		Épais- seur.	Houille.
		m.	
	Grès rouge foncé, bigarré de gris. . . . .	3,50	»
	Argile rouge, bigarrée de gris, très-compacte. . . . .	54,46	»
	Schiste bigarré de gris, de bleu et de rouge. . . . .	1,99	»
	Houille. . . . .	0,56	0,56
	Schiste gris bleuâtre, mélangé de houille. . . . .	1,31	»
	Houille. . . . .	0,37	0,37
	Schiste argileux gris foncé, avec empreintes de ca- lamites. . . . .	0,92	»
	Houille schisteuse. . . . .	0,37	0,37
	Schiste gris noirâtre, avec empreintes de la flore houillère. . . . .	1,62	»
	Argile grise, schisteuse. . . . .	8,42	»
	Schiste gréseux, brun. . . . .	0,11	»
	Argile schisteuse grise, légèrement bigarrée de rouge. . . . .	8,11	»
	Schiste gréseux, bigarré de rouge et de gris. . . . .	3,80	»
	Schiste gris, avec veinules de houille. . . . .	0,97	»
Terrain houiller, 147 <sup>m</sup> (suite).	Houille. . . . .	2,20	2 20
	Schistes noirâtres avec veinules de houille. . . . .	0,40	»
	Houille. . . . .	1,72	1,72
	Schiste bleuâtre. . . . .	0,20	»
	Houille. . . . .	0,66	0,66
	Schistes. . . . .	0,30	»
	Houille. . . . .	1,24	1,24
	Schistes bleuâtres et noirâtres, avec veinules de houille. . . . .	8,40	»
	Houille avec veinules de schiste. . . . .	0 80	0,80
	Schiste noirâtre, assez consistant. . . . .	2,51	»
	Grès quartzifère et pyritifère, très-dur. . . . .	0,25	»
	Grès grisâtre, plus tendre. . . . .	3,18	»
	Grès très-dur. . . . .	14,76	»
	Schistes avec veinules de houille. . . . .	4,32	»
	Grès peu consistant. . . . .	3,48	»
	Schiste compacte. . . . .	0,53	»

Arrêté à 319<sup>m</sup>,10.

*Sondage du Hochwald.* Le trou de sonde du Hochwald a été foré par M. Degousée. Il commence par un coffre hexagonal en bois qui descend jusqu'à 5<sup>m</sup>,70 ; il a été creusé sur un diamètre de 0<sup>m</sup>,25 jusqu'à 113<sup>m</sup>,90, et élargi ensuite pour y placer une colonne de tubes de 0<sup>m</sup>,27 de diamètre intérieur. A partir de 110<sup>m</sup>,90, il a été approfondi sur 0<sup>m</sup>,25 jusqu'à 164<sup>m</sup>,18, point à partir duquel il y a une seconde colonne de 21 centimètres de diamètre intérieur : le reste du forage a un diamètre de 0<sup>m</sup>,20.

NATURE DES TERRAINS TRAVERSÉS.		Épais- seur.	Houille.
		m.	
	Terre végétale. . . . .	0,50	»
	Grès rougeâtre et jaunâtre, argileux. . . . .	3,04	»
	Grès rougeâtre avec galets de quartz. . . . .	5,75	»
	Grès rouge. . . . .	10,08	»
	Grès jaune. . . . .	8,82	»
	Grès rouge, argileux, veiné de blanc. . . . .	4,74	»
	Grès bigarré de rouge et de jaune. . . . .	8,52	»
	Grès jaunâtre, dur. . . . .	27,72	»
	Grès rouge, assez dur. . . . .	9,58	»
	Grès rouge, tendre. . . . .	7,19	»
	Grès grisâtre, argileux. . . . .	1,14	»
	Grès grisâtre, avec galets de quartz. . . . .	2,43	»
Grès vosgien, 163 <sup>m</sup> ,25.	Grès rouge, avec galets de quartz. . . . .	10,60	»
	Poudingue avec galets de quartz et de quartzite. . . . .	1,56	»
	Grès grisâtre et rougeâtre, argileux. . . . .	25,38	»
	Grès siliceux, brun, très-dur. . . . .	0,72	»
	Grès gris. . . . .	4,91	»
	Poudingue grisâtre, avec pyrites. . . . .	6,25	»
	Argile schisteuse, rouge, bigarrée de gris. . . . .	0,85	»
	Grès brunâtre, assez dur. . . . .	3,49	»
	Grès gris, assez dur. . . . .	5,11	»
	Grès rouge, assez dur. . . . .	2,12	»
Grès rouge, 10 <sup>m</sup> ,41.	Poudingue avec pyrites. . . . .	0,84	»
	Grès grisâtre. . . . .	1,70	»
	Grès brun, avec petits galets de quartz. . . . .	2,14	»
	Grès brun, avec pyrites. . . . .	0,16	»
	Grès rouge, dur. . . . .	7,08	»
	Argile rouge, bigarrée. . . . .	0,60	»
	Grès rouge avec galets de mélaphyre. . . . .	7,43	»
	Grès brun, argileux, avec plaquettes ferrugineuses. . . . .	2,38	»
	Schistes d'un gris noirâtre. . . . .	0 28	»
	Schistes argileux, marbrés de rouge et de gris. . . . .	13,19	»
Terrain houiller, 126 <sup>m</sup> ,40.	Schistes bigarrés, jaunes et bruns. . . . .	2,03	»
	Schistes rouges, marbrés de jaune. . . . .	5,15	»
	Schistes bleuâtres. . . . .	1,02	»
	Schistes violets, feuilletés et durs. . . . .	2,25	»
	Schistes bleuâtres. . . . .	2,04	»
	Schistes rougeâtres. . . . .	0,49	»
	Schistes bleuâtres. . . . .	0,40	»
	Schistes grisâtres, très-durs. . . . .	2,50	»
	Schistes alternant avec des veinules de grès. . . . .	0,75	»
	Schistes bleuâtres, veinés de blanc. . . . .	3,28	»
	Schistes grisâtres, avec parcelles de charbon. . . . .	2,69	»
	Schistes bleuâtres, avec parcelles de charbon. . . . .	3,83	»
	Schistes grisâtres avec veines de houille. . . . .	3,91	»
	Grès gris alternant avec quelques schistes. . . . .	2,71	»
	Schistes grisâtres, durs, avec veinules de houille. . . . .	0,83	»
	Houille. . . . .	0,22	0,22
	Schistes noirs, durs. . . . .	0,20	»
Houille. . . . .	1,20	1,20	
Schistes d'un gris noirâtre avec quelques filets de houille. . . . .	12,39	»	
Houille. . . . .	12,16	12,16	
Schistes grisâtres. . . . .	21,58	»	
Houille. . . . .	0,99	0,99	
Schistes mêlés de houille. . . . .	0,66	»	
Schistes grisâtres. . . . .	7,49	»	
Houille. . . . .	10,05	10,05	
Schistes. . . . .	4,94	»	

Arrêté à la profondeur de 300<sup>m</sup>,06.

Résultats  
accessoires.

Après avoir signalé les résultats obtenus au point de vue spécial pour lequel les sondages ont été entrepris, nous en indiquerons d'autres qui ne concernent plus le terrain houiller, mais qui méritent pourtant d'être relatés.

La rencontre qui a été faite, dans quelques sondages, du nouveau grès rouge entre le grès des Vosges et le terrain houiller, est un de ces résultats. Sur tous les points de la rive gauche de la Sarre où l'on peut suivre les affleurements de ce dernier terrain, on reconnaît qu'il est directement recouvert par le grès des Vosges. Cependant on a vu que, dans tous les sondages de la vallée de la Merle, le grès rouge a été traversé, au Hochwald sur 10 mètres, à l'Hôpital sur 50 mètres de puissance; il se développe davantage encore vers le sud-ouest dans les environs de Saint-Avold, où le forage d'Oderfang l'a mis à jour sur une grande hauteur; celui de la tuilerie de Freyming l'a également traversé sur une épaisseur considérable. On peut faire, sur la rencontre du nouveau grès rouge dans cette région de la plaine, ce rapprochement, qu'il est assez développé tout le long de la lisière sud du bassin de la Sarre au delà de Mittel-Bexbach, et qu'il occupe même une bande assez large entre le terrain houiller et le grès vosgien. Nous avons cherché à expliquer ce résultat par la présence probable, dans la région de la Merle, de roches porphyriques et mélaphyriques dont l'apparition a été la cause des accidents que l'on remarque dans le terrain houiller.

Les recherches de la plaine de Creutzwald ont également appris que, sur de nombreux points de cette plaine,

la partie inférieure du grès vosgien renfermait avec une certaine abondance de la pyrite de fer. Celle-ci y est quelquefois en assez grande quantité pour constituer le ciment du grès; elle s'y montre quelquefois sous forme de petits cristaux tapissant des morceaux amorphes ou disséminés sur les galets des poudingues. Jusqu'ici on n'avait pas signalé, à ma connaissance au moins, la pyrite dans la formation du grès des Vosges avec une profusion aussi grande, circonstance qui tient sans doute à l'excessive perméabilité de ce terrain, et à la facilité avec laquelle la pyrite se décompose. Des sondages ont été nécessaires pour mettre en évidence ce fait, qui ne peut être observé dans le voisinage de la surface du sol. Les plaquettes ferrugineuses qui forment, dans certaines assises du grès vosgien, des dessins quelquefois bizarres, qui restent en saillie par suite de la désagrégation de la roche, sont peut-être dus à des pyrites décomposées. Ayant eu plusieurs fois occasion de casser de semblables plaquettes, nous avons reconnu que leur noyau présentait toutes les apparences de l'hydroxyde de fer qui provient de la transformation du sulfure.

Un résultat également assez inattendu des forages est la découverte dans un certain nombre d'entre eux de sources artésiennes. Déjà le sondage anciennement entrepris au Glouckenhof avait mis à jour une petite source jaillissante qui continue à couler; mais celles qui ont été trouvées par les travaux de recherches de ces dernières années sont tout à fait remarquables par leur volume. Je citerai, parmi les plus belles, celles du moulin de Porcelette, du forage de l'Hôpital, du son-

dage à la corde de Freyming, du Hochwald, de Ham et de la Houve; quelques-unes de ces sources débitent jusqu'à 600, 700 et même 800 litres d'eau à la minute. La profondeur de la nappe d'eau jaillissante a été très-variable; dans quelques sondages, et en particulier dans celui de Porcelette, celle-ci a été rencontrée à une faible distance de la surface; dans d'autres, au contraire, et principalement dans celui de Ham, l'eau n'est arrivée jusqu'à l'orifice du trou que très-tard. On a remarqué qu'elle sortait habituellement de sables coulants ou de poudingues qui sont sans doute fissurés; rarement la source est venue d'un seul jet, et son volume a été le plus souvent en augmentant avec l'approfondissement. Dans les forages où la pyrite est abondante, l'eau exhale, à sa sortie du trou, une odeur assez prononcée d'hydrogène sulfuré, circonstance que j'attribue à la décomposition des sulfates qu'elle renferme par les matières organiques provenant des agrès du forage, et que l'on y laisse tomber.

Travaux  
préparatoires  
d'exploitation.

Avenir  
de la plaine  
de Creutwald.

Bien qu'aucune portion du sol de la plaine de Creutwald ne soit encore concédée, on y a déjà commencé de grands travaux préparatoires d'exploitation. Deux puits sont actuellement en cours d'exécution: l'un au nord de Carling, un peu à l'ouest du sondage de ce nom; l'autre sur le banc de Freyming, au-dessus du forage du Hochwald. Ces ouvrages sont foncés par la méthode d'Anzin; ils sont parvenus à plus de 50 mètres de profondeur, et se poursuivent dans de bonnes conditions. Tout jusqu'ici fait présumer que l'on a singulièrement exagéré les difficultés que ces travaux doivent rencontrer, et il est hors de doute qu'aussitôt après le premier

succès obtenu, la plaine de Creutwald se couvrira de puits d'exploitation, comme elle s'est naguère couverte de sondages après la rencontre de la houille dans cette localité.

Au résumé, en moins de cinq années, trente-deux trous de sonde embrassant ensemble une profondeur de 8.500 mètres, et ayant occasionné, au prix moyen de 200 francs par mètre courant, une dépense de 1.700.000 francs, ont été forés tant dans les environs de Forbach que dans la plaine de Creutwald; 120 kilomètres carrés de terrain houiller, dont l'existence était à peine soupçonnée, ont été mis à jour dans la Moselle, et la houille a été rapprochée de Metz et de tous les grands centres de consommation du département de près de 40 kilomètres. On ne saurait nier l'importance de ces résultats; toutefois, pour qu'ils soient appréciés à leur juste valeur, il faut attendre que les travaux d'exploitation qui se poursuivent et ceux qui ne tarderont pas à s'organiser aient réalisé les espérances que les recherches ont fait concevoir.

Si nous nous reportons maintenant dans la partie centrale de la plaine de Creutwald, qui constitue, dans notre opinion, la partie la plus riche du territoire houiller reconnu sur le sol français, tant par l'étendue des gisements qui y sont découverts, qu'à cause de la régularité de leurs allures, nous voyons que les confins de ce territoire se trouvent aujourd'hui reculés jusqu'aux extrêmes limites de la plaine du côté de l'ouest. Nous sommes alors conduit à nous demander si le terrain houiller se prolonge au delà de ces limites, et, dans le cas de l'affirmative, à rechercher les points où

de nouvelles recherches présenteraient le plus de chances de réussite, et à assigner leur profondeur probable. Nous avons recueilli les éléments nécessaires à la solution de ces diverses questions, et nous en ferons prochainement l'objet d'un mémoire dans lequel nous montrerons les relations remarquables qui existent entre les grands accidents du bassin de la Sarre et la constitution géologique, ainsi que la configuration du sol du pays messin.

---



---

## MÉMOIRE

SUR LA DÉCOUVERTE DU PHOSPHATE DE CHAUX TERREUX EN FRANCE  
ET SUR L'EMPLOI DE CET ENGRAIS DANS LA CULTURE (1).

Par M. MEUGY, ingénieur des mines.

---

Les nombreux travaux publiés par M. Berthier, et notamment ses analyses de cendres végétales (2), ont montré que l'acide phosphorique est généralement répandu dans toutes les plantes, et qu'il caractérise particulièrement les cendres des graines qu'il constitue souvent presque en totalité, combiné aux alcalis fixes et aux terres alcalines. On conçoit dès lors tout l'intérêt qui s'attache à la découverte du phosphate de chaux fossile.

L'exploitation de ce minéral ayant pris depuis quelque temps une certaine extension dans le nord-est de la France, et plusieurs industriels se préoccupant vivement des avantages qu'on peut retirer de son emploi dans la culture, il ne sera peut-être pas inutile de dire quelques mots à ce sujet, en faisant connaître la part que l'administration des mines a prise dans la découverte des principaux gisements de cette matière.

---

(1) Nous nous sommes aidé pour la rédaction de ce mémoire des renseignements nombreux fournis par M. Elie de Beaumont dans son *Etude sur l'utilité agricole et sur les gisements géologiques du phosphore* (*Moniteur* des 24, 25 juillet et 25 août 1856, 11 et 12 février, 26 et 27 mars 1857).

(2) Analyses comparatives des cendres d'un grand nombre de végétaux. (Mémoires de la Société impériale et centrale d'agriculture. Imprimerie de M<sup>me</sup> veuve Bouchard-Huzard, rue de l'Éperon, 5, 1854.)

Depuis longtemps, le phosphate de chaux a été signalé en France dans plusieurs terrains de la série géologique :

Dans les schistes argileux du terrain houiller de Fins (Allier) ;

Dans les couches marneuses du lias du Calvados et d'autres départements ;

Dans le terrain oolitique jurassique de Saint-Thibault (Côte-d'Or) avec le minerai de fer en grains ;

Dans le terrain crétacé inférieur de Wissant et du Havre ;

Dans le terrain tertiaire inférieur du bassin de Paris et notamment dans l'argile plastique d'Auteuil.

Mais c'est surtout dans le terrain crétacé qu'il paraît être répandu le plus abondamment.

Dès 1818, avant même qu'on ne songeât à en faire usage dans l'économie rurale, M. Berthier reconnut sa présence au milieu des pyrites qu'on exploitait alors à Wissant (Pas-de-Calais), dans l'argile du Gault, pour la fabrication du sulfate de fer. Ce phosphate, en réagissant sur le sel de fer, produisait une certaine quantité de phosphate de fer qui empêchait la cristallisation de la couperose, et ce fut ce fait dont le propriétaire de l'usine s'alarmait qui donna lieu à l'envoi d'échantillons à l'École des mines. L'analyse faite à cette époque a donné à M. Berthier, pour la composition de la matière pierreuse mêlée à la pyrite (1) :

Phosphate de chaux. . . . .	57,4
Carbonate de chaux. . . . .	9,2
Argile calcinée. . . . .	21,4
Matière noire combustible, environ. . .	3,0
Eau et perte. . . . .	9,0
	<hr/> 100,0

(1) Berthier. *Annales des mines*, 1<sup>re</sup> s., t. IV, p. 631 (1819).

Deux années après, en 1820, le même savant publiait dans les *Annales des mines* (1) l'analyse des nodules phosphatés répandus dans la craie chloritée du cap la Hève, près le Havre, ou plutôt dans ce que nous appelons la marne chloritée qui existe à la base du système nervien (tourtia du Nord).

Ces nodules, qui avaient été découverts par M. de Bonnard, ont été trouvés composés comme suit :

Phosphate de chaux. . . . .	57,3
Carbonate de chaux. . . . .	7,0
Carbonate de magnésie. . . . .	2,0
Silicate de fer et argile. . . . .	25,3
Eau et matière bitumineuse. . . . .	7,5
	<hr/> 99,1

C'est vers 1822 qu'on reconnut en Angleterre que les os d'animaux réduits en poudre activaient puissamment la végétation. A la même époque, l'agriculture bretonne et vendéenne commençait à consommer avec succès le noir animal des raffineries de sucre, et les bons effets de ces matières étant attribués en grande partie au phosphate de chaux qui en fait la base, on s'occupa de rechercher quelles ressources la nature minière pourrait offrir sous ce rapport. Déjà on savait que le crag exploité en Angleterre comme amendement depuis des siècles, renfermait, de même que le fahlun consacré en France au même usage, des ossements d'animaux antédiluviens accompagnés quelquefois de masses coprolithiques, lorsqu'en 1829 le professeur Buckland lut à la Société géologique de Londres un mémoire dans lequel il annonçait la découverte de nombreux coprolithes dans le lias de Lyme-Regis, et signalait aussi l'existence de fossiles semblables dans le cal-

(1) Berthier. *Annales des mines*, 1<sup>re</sup> s., t. V, p. 197 (1820).

caire carbonifère, dans le terrain oolitique, dans le sable d'Hastings, dans le grès vert, dans la craie et dans différentes couches tertiaires.

L'idée d'une diffusion générale du phosphate de chaux d'origine animale dans les couches sédimentaires du globe prit alors une certaine consistance, et toutes les découvertes ultérieures faites en Angleterre ne furent peut-être que des conséquences des observations faites par le célèbre docteur Buckland.

Toutefois, il faut bien distinguer le phosphate de chaux qui, ainsi que celui des os, a pour formule  $3\text{CaO} \cdot \text{Pho}^5$ , de la chaux phosphatée cristallisée ou compacte de la nature inorganique. Cette dernière est, en effet, caractérisée par la présence d'une certaine quantité de fluorure et de chlorure de calcium qu'on ne trouve pas généralement dans le phosphate des matières organiques, et qui lui communique des propriétés particulières. Ainsi la chaux phosphatée du règne minéral n'est pas soluble dans les acides faibles comme le phosphate des os, et cela tient sans doute à ce que la chaux fluatée qui entre dans sa composition n'est attaquable que par les acides forts. Cette espèce ne pourrait donc être employée comme engrais, à moins qu'on ne lui fit subir une préparation préalable en la traitant, par exemple, par l'acide sulfurique. C'est peut-être cette difficulté qui a fait renoncer à l'exploitation de la phosphorite de l'Estramadure, malgré sa richesse et son abondance. D'après les recherches de deux savants anglais, MM. Daubeny et Widdrington, qui en ont exploré le gisement en 1845, le minerai forme une couche de 7 à 16 pieds d'épaisseur intercalée dans les schistes du terrain paléozoïque, et dont on peut suivre l'affleurement sur une longueur de près de 2 milles. Sa composition est la suivante :

Phosphate de chaux. . . . .	81,15
Fluorure de calcium. . . . .	14,00
Peroxyde de fer. . . . .	3,15
Silice. . . . .	1,70
	100,00

C'est en 1848 que le docteur Fitton et M. Nesbit firent connaître les divers gisements de coprolithes de l'île de Wight et des comtés de Kent, de Sussex et de Surrey, gisements qui se trouvent concentrés dans le grès vert inférieur, dans le Gault et dans le grès vert supérieur de ces localités.

Ces nodules ont été exploités en divers points, et on en comptait plusieurs échantillons à l'exposition universelle ouverte à Londres en 1851.

J'avais déjà rédigé à cette époque la première partie du texte explicatif de la carte géologique de la Flandre française, où j'indiquais l'existence d'une quantité notable d'acide phosphorique dans certaines marnes et certains calcaires crayeux de Cysoing, d'Annappes et de Bouvines, près Lille. Je supposais que ces gisements étaient différents de ceux découverts en Angleterre; car, d'après ce que m'avait assuré M. Lyell, les plus élevés dans l'échelle géologique parmi ces derniers, ceux qu'on exploitait à Farnham, se trouvaient au niveau de notre tourtia, tandis que ceux des environs de Lille étaient placés immédiatement au-dessous de la craie blanche.

Cependant je fus frappé, en visitant l'exposition de Londres, de la ressemblance qu'offraient les échantillons exposés avec la craie chloritée de Bouvines qui, par sa teneur en acide phosphorique (3,7 p. 100), ne me paraissait pas de nature à faire l'objet d'une exploitation importante; et dans la pensée que cette craie pouvait renfermer des parties plus riches, comme cela avait

été remarqué pour certaines marnes des environs de Farnham, j'apportai moi-même à l'École des mines un échantillon de calcaire tuberculeux parsemé de grains verts que j'avais recueilli dans une carrière d'Annappes exploitée par un nommé Deroo, et que j'avais décrit antérieurement à la page 93 de mon mémoire sur la Flandre, lorsque je n'en connaissais pas encore la composition. L'analyse donna le résultat suivant :

Gangue. . . . .	6,00
Acide phosphorique. . . . .	15,00
Chaux. . . . .	59,00
Peroxyde de fer. . . . .	6,00
Eau et acide carbonique. . . . .	34,00
	100,00

M. Dufrénoy, directeur de l'École des mines, consacra un article spécial à cette analyse dans le compte rendu des travaux du bureau d'essais pour l'année 1852. On lisait dans ce compte rendu, qui a été reproduit par les journaux :

« Je crois encore devoir vous signaler, monsieur le ministre, au nombre des analyses faites au laboratoire de l'École, celle de chaux phosphatée terreuse, disséminée en rognons dans la craie chloritée du département du Nord. Cette variété de chaux phosphatée est déjà employée en Angleterre comme amendement : elle donne à la terre une grande fertilité; mais on ne saurait, quant à présent, apprécier les avantages qu'elle peut procurer à l'agriculture, attendu qu'on ne possède pas de données suffisantes sur son emploi et sur son prix de revient. Les expériences entreprises remontent seulement à trois ans; elles ne suffisent donc pas pour faire connaître la durée de cet amendement, et par conséquent les dépenses qu'il occasionne annuellement par hectare. Néanmoins il y a un grand intérêt ici à ce que

les essais faits en Angleterre avec la chaux phosphatée terreuse soient répétés en France, ce qui m'a engagé à attirer l'attention de Votre Excellence sur l'analyse de ce minéral. Pour mélanger cette substance d'une manière intime avec la terre arable, il faut l'employer en poudre. Dans le comté de Surrey, où cette variété de chaux est disséminée dans le même terrain que dans le département du Nord, on la réduit en poudre au moyen d'un appareil analogue, par sa forme et sa disposition, à un vaste moulin à café. »

Peu de temps après la publication de ce compte rendu, M. Delanoue, chimiste et géologue à Raismes (Nord), adressait à M. Dufrénoy, par l'organe du président de la Société d'agriculture de Valenciennes, une lettre datée du 24 mars 1853 par laquelle il demandait des renseignements sur l'origine de l'échantillon de chaux phosphatée dont il était question dans le rapport annuel adressé au ministre. Cette lettre m'ayant été transmise en communication, j'y répondis en donnant des indications assez circonstanciées pour qu'on pût se transporter sur les lieux directement et sans avoir besoin du secours de qui que ce fût. La carrière au fond de laquelle existaient les nodules phosphatés, pouvait être facilement reconnue de loin par la grande roue à chevilles établie au-dessus du puits d'extraction. C'était, en effet, la seule qui fût exploitée de la sorte dans tout l'arrondissement.

J'écrivis en même temps, le 5 avril, à M. le président de la Société des sciences de Lille pour appeler son attention sur le même fait.

M. Delanoue visita les lieux et rapporta un assez grand nombre de nodules sur lesquels il répéta les analyses précédemment faites à l'École des mines, et dont il put vérifier l'exactitude. Ce géologue put, en consé-

quence, donner au congrès scientifique de France, réuni à Arras le 26 août 1853, des détails précis sur ce gisement dont il fut de nouveau question dans la session extraordinaire de la Société géologique de France, qui eut lieu à Valenciennes au commencement de septembre (1). Toutefois, je dois répéter ici une observation que j'ai déjà présentée à la Société dans la séance du 4 septembre 1853, relativement à l'expression de *tun* qui ne s'applique pas exclusivement aux nodules phosphatés. Les carriers et les foreurs des environs de Lille appellent généralement *tun* les couches dures qu'ils traversent au-dessous de la craie blanche, et qui comprennent non-seulement les nodules en question, mais encore d'autres couches crayeuses dont la dureté peut être due à de la silice. En effet, c'est immédiatement au-dessous de la craie chloritée connue à Valenciennes sous le nom de *gris, vert et bonne pierre*, et dans laquelle sont compris les nodules, que se trouvent placés les silex (*cornus, rabots*) de l'étage nervien. Il ne faudrait donc pas admettre que les roches qui existent dans cette situation, et qui ressemblent par leur dureté aux nodules phosphatés d'Annappes, ne sont elles-mêmes que des phosphates. Je me suis assuré, d'ailleurs, que certains échantillons de *tun blanc* ne renferment pas trace d'acide phosphorique. En les attaquant par l'acide nitrique pur, j'ai obtenu un résidu assez abondant de silice floconneuse, et la liqueur filtrée où le nitrate d'argent faisait naître un léger trouble annonçant des

(1) *Bulletin de la société géologique de France*, t. X, p. 605. Indépendamment du gîte d'Annappes, il fut également question dans le Congrès scientifique de celui de Wissant, déjà connu, ainsi que des nodules du Gault de Lottinghen dans le bas Boulonnais, analysés par le docteur Turner, professeur de chimie à l'université de Londres.

traces d'acide muriatique, ne donnait aucunement les réactions de l'acide phosphorique. Le chlorure de baryum donnait aussi un précipité sensible accusant la présence d'une petite quantité d'acide sulfurique. D'un autre côté, certaines craies évidemment siliceuses et assez dures pour ne pas être entamées par une pointe d'acier, telles que celle d'Anzin, par exemple, dont il est question à la page 95 du texte explicatif de la carte géologique de la Flandre, renferment à la fois de l'acide muriatique et de l'acide phosphorique. D'où résulte que ce dernier acide peut exister ou ne pas exister dans le *tun*, ce qui revient à dire que l'expression de *tun* n'implique pas nécessairement la présence du phosphore.

Les nodules phosphatés des environs de Lille offraient un véritable intérêt en ce sens qu'on n'avait jamais constaté, au moins sur le territoire français, l'existence de phosphates à un niveau aussi élevé dans le terrain crétacé. Car ceux du Havre analysés par M. Berthier se trouvaient à la base des marnes glauconifères dans le tourtia nervien; tandis que ceux de Lille se rencontreraient, comme nous l'avons déjà dit ci-dessus, à la base de la craie sénonienne ou, si l'on veut, à la partie supérieure du système marneux supportant la craie blanche. Il y avait donc entre ces deux gisements toute l'épaisseur du terrain marneux comprenant le tourtia, les dièves et les craies marneuses à silex, qui atteignent ensemble une puissance de 100 mètres et plus dans le bassin de Paris (1).

(1) Ces couches ont une puissance de 205 mètres à Grenelle et de 164 mètres à Passy; le forage de l'Escarpelle, près Douai, les a traversées sur une épaisseur de 101<sup>m</sup>,47. (*Géologie de la Flandre française*, p. 109), et un autre forage pratiqué à Rethel sur 140 mètres.

En 1852 et 1853, j'ai parcouru les arrondissements de Vouziers et de Rethel dans le but d'étudier le terrain crétacé de ces localités et d'en faire la comparaison avec celui du Nord. Cette étude avait pour moi une certaine importance, non-seulement à cause des minerais de fer en grains des sables verts dont j'avais reconnu des dépôts dans l'arrondissement d'Avesnes, mais aussi par suite de l'existence de certains nodules réniformes noirâtres (*coquins, crottes du diable*), que MM. Sauvage et Buvignier avaient signalés dans ces sables, ainsi que dans les marnes crayeuses supérieures à la Gaize (1). La proportion notable d'acide phosphorique qui venait d'être constatée dans le calcaire tuberculeux de Lille m'engageait naturellement à faire la même recherche dans ces rognons, dont les auteurs de la carte géologique des Ardennes ne donnaient pas la composition.

Les nodules de la côte de Monthois qui empâtent fréquemment des fossiles (*pecten asper, ostrea carinata*, etc.) à la base des marnes crayeuses, représentaient pour moi le tourtia nervien, comme au cap la Hève. Ils avaient d'ailleurs beaucoup d'analogie de forme et d'aspect avec ceux des minières de Marcq, de Chevières et de Grand-Pré, dont ils différaient seulement en ce qu'on n'y remarquait pas de grains de limonite comme dans ces derniers. Une analyse qualitative rapide me fit reconnaître dans tous ces nodules une quantité très-notable d'acide phosphorique (2). J'obtins le même résultat en répétant ces essais sur des rognons semblables que j'avais recueillis près de Novion-Porcien, à 2 lieues au nord de Rethel, et qui occupent le

(1) *Statistique minéralogique et géologique du département des Ardennes*; par MM. Sauvage et Buvignier, 1842, p. 349 et 373.

(2) *Compte rendu de la vérification de quelques engrais (Annales des mines, 3<sup>e</sup> série, t. V, p. 440. 1854).*

même niveau géologique que ceux de Grand-Pré. Il devenait évident, d'après cela, que l'acide phosphorique jouait un rôle très-important dans la partie inférieure du terrain crétacé indiqué sur la carte géologique de France par la lettre C', puisqu'il existait dans le Greensand inférieur (Grand-Pré, Novion-Porcien, etc.), dans le tourtia nervien (le Havre, Monthois), dans la craie chloritée sénonienne (Annappes), et que sa présence avait même été constatée dans les marnes et les calcaires marneux de Bouvines et de Cysoing.

Ces faits, qui étaient de nature à intéresser vivement l'agriculture du pays, ne pouvaient rester inaperçus, et il convient d'ajouter que les diverses publications qui en ont été faites depuis quelques années, soit dans les *Annales des mines*, soit dans le *Bulletin de la Société géologique de France* (1), soit dans les rapports rédigés à la suite des grandes expositions (2), ont contribué à donner l'éveil et à provoquer, de la part des agriculteurs et des industriels, des travaux de recherches tendant à créer en France comme en Angleterre, dans un intérêt agricole, l'exploitation du phosphate de chaux fossile.

Au mois de décembre 1855, M. Rousseau, ingénieur civil, agissant au nom d'une société de recherches, me fit l'honneur de me consulter sur les gisements de phosphate calcaire que j'avais été à même d'étudier. J'indi-

(1) *Caractères du terrain de craie dans les départements du Nord, de l'Aisne et des Ardennes*, t. XII, p. 56. 1854.

(2) Dufrénoy. *Rapport sur les mines, les opérations métallurgiques, les produits minéraux et les carrières, fait à la commission française du jury international de l'exposition universelle de Londres*. — Paris, imprimerie impériale, 1854, p. 152.

Rapports du jury mixte international publiés sous la direction de S. A. I. le prince Napoléon, président de la commission impériale. — Paris, imprimerie impériale, 1856.

quai à M. Rousseau tous les points que j'avais observés jusqu'alors près de Lille, de Novion, de Grand-Pré et de Monthois, et quelques semaines après notre entrevue, j'apprenais qu'il se faisait aux environs de Grand-Pré une exploitation active des nodules mêlés au minerai de fer. Depuis cette époque, le commerce de cette substance ne s'est pas ralenti, et on jugera de son importance quand on saura qu'un seul propriétaire a fourni à la société de Molon et Turneyssen, dont M. Rousseau est le représentant, pour 50.000 francs de ces matières durant la campagne qui vient de s'écouler. Elles arrivent par eau à Paris, où elles sont broyées pour être employées à la fabrication d'un noir animal factice qu'on expédie en Bretagne.

D'autres personnes s'occupent aussi de l'exploitation des mêmes nodules dans l'arrondissement de Vouziers, mais sur une échelle peut-être un peu moins grande que MM. de Molon et Turneyssen (1). Plusieurs échantillons ont été analysés tant à l'École des mines qu'ailleurs, et ont donné de 12 à 22 p. 100 d'acide phosphorique. L'un d'entre eux provenait d'Écordal.

J'ai moi-même donné au bureau d'essais un échantillon provenant d'une minière des environs de Grand-Pré que j'avais dans ma collection, et dont la composition a été trouvée la suivante :

Gangue (argile et quartz) . . . . .	14,0
Alumine et oxyde de fer. . . . .	25,5
Chaux. . . . .	32,5
Acide phosphorique. . . . .	17,5
Acide carbonique. . . . .	9,0
	98,5

(1) Sur les phosphates fossiles naturels et leur application à la préparation des engrais; par M. Dugléré. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, n° 3, 19 janvier 1857).

résultat qui peut être écrit comme suit :

Argile et quartz. . . . .	14,00
Alumine et oxyde de fer. . . . .	25,50
Phosphate de chaux. . . . .	57,91
Carbonate de chaux. . . . .	21,59
	99,00

On conçoit que les nodules du tourtia doivent à poids égal renfermer plus d'acide phosphorique que ceux des sables verts, puisqu'ils ne contiennent pas de grains ferrugineux comme ces derniers. En faisant abstraction du fer, on devrait donc trouver, dans les uns comme dans les autres, à peu près la même proportion de phosphate. Cependant l'échantillon de Grand-Pré dont l'analyse vient d'être rapportée, contiendrait, abstraction faite du fer et de l'alumine, 50 p. 100 environ de phosphate de chaux, tandis que les nodules de la marne chloritée du Havre, dont la composition, déterminée par M. Berthier, a été rappelée plus haut, seraient encore notablement plus riches en acide phosphorique. Mais j'observerai que cette différence peut tenir à ce que l'analyse de M. Berthier a été faite sur un échantillon choisi, tandis que celui dont il s'agit renfermait beaucoup de veinules de calcaire cristallin.

Nous ne donnons pas de détails sur les gisements des nodules de Grand-Pré et de Monthois, qui ont été décrits avec tout le soin possible par MM. Sauvage et Buvignier.

L'année dernière, en visitant le souterrain du chemin de fer des Ardennes en construction près de Rethel, j'ai eu occasion d'observer un nouveau gîte de phosphate de chaux qui a fait l'objet d'une lettre à M. Élie de Beaumont, insérée dans les comptes rendus des séances de l'Académie des sciences (1).

(1) Sur un nouveau dépôt de phosphate de chaux. (*Comptes rendus des séances de l'Acad. des sciences*, oct. 1856, p. 755.)

Je transcris ici un extrait de cette lettre, qui est datée du 11 octobre 1856 :

« Le dépôt consiste en rognons irrégulièrement disséminés au milieu de la craie blanche, sur une épaisseur de 0<sup>m</sup>,30 à 1 mètre. Ces rognons, dont la grosseur varie depuis celle d'un grain de sable jusqu'à celle du poing, sont à pâte fine et compacte et se détachent très-bien par leur teinte gris jaunâtre sur le fond blanc de la craie. Ils affectent aussi une forme particulière qui les rapproche des coprolithes. Leur surface, qui est lisse en petit, est hérissée en effet de mamelons, souvent coniques, qui portent des empreintes très-déliées. De plus, on découvre dans leur intérieur, en les cassant, de petites cavités sinueuses qui s'étendent jusqu'à leur centre, et où la matière crayeuse s'est infiltrée. Il paraît évident, d'après cela, que ces nodules n'ont point été roulés et qu'ils se sont formés dans des eaux qui ont laissé précipiter du carbonate de chaux postérieurement à leur dépôt. L'analyse qui vient d'en être faite à l'école des mines a donné le résultat suivant :

Acide phosphorique. . . . .	21,29
Chaux. . . . .	50,50
Oxyde de fer et alumine. . . . .	3,20
Silice. . . . .	4,80
Acide carbonique . . . . .	17,30
Eau. . . . .	1,00
	98,09

qu'on peut interpréter ainsi :

Phosphate de chaux. . . . .	46,13
Carbonate de chaux. . . . .	45,82
Alumine et oxyde de fer . . . . .	3,20
Silice. . . . .	4,80
	99,95

» Il convient d'observer que l'analyse a été faite sur un échantillon mêlé de craie qu'on ne s'est pas donné

la peine de séparer; de sorte que les nodules, bien exempts de craie, doivent contenir au moins 50 ou 60 p. 100 de phosphate. Ils peuvent donc être assimilés, pour la richesse en acide phosphorique, à ceux des comtés de Kent et de Surrey. Dans tous les cas, ils sont plus riches que ceux de l'île de Wight analysés par M. Nesbit.

» La présence de ces nodules dans la craie blanche proprement dite me semble constituer un fait nouveau qu'il est bon d'enregistrer. Ce gisement paraît, au moins de prime abord, différent de ceux déjà connus, lesquels, ainsi que vous le dites avec beaucoup de justesse (voir le *Moniteur* du 25 août 1856), sont concentrés dans le grès vert inférieur, dans le Gault et dans le grès vert supérieur ou la craie chloritée. Il se distingue de ces derniers en ce que les nodules ne sont pas accompagnés ici des grains verts de silicate de fer qu'on rencontre si généralement dans les autres gisements. Cependant je suis porté à croire qu'ils se trouvent sur le même horizon géologique que ceux d'Annapes près Lille, bien que ces derniers, de couleur blanche, ne se reconnaissent qu'à leur forme arrondie et tuberculeuse. En effet, les marnes du terrain de craie, qu'on connaît dans le Nord sous les noms de bleus, dièves, etc., affleurent dans la vallée de l'Aisne à Rethel, et ce n'est qu'à une certaine distance sur la rive gauche, là où doit commencer la craie blanche proprement dite, que les nodules phosphatés se rencontrent. Je dis : *là où doit commencer la craie blanche*.... Car ainsi que je l'ai exposé dans une note antérieure (1), la couche chloritée qui sépare les marnes crayeuses de

(1) Sur les caractères du terrain de craie. (*Bulletin de la société géologique de France*, 2<sup>e</sup> série, t. XII, p. 54.)

la craie blanche dans le Nord, se perd vers le Sud-Est, en sorte que de ce côté il devient impossible d'établir d'une manière nette et tranchée comme dans le département du Nord et en Belgique, la séparation entre les deux étages marneux et crayeux (1). Toutefois, comme à partir de Rethel, on ne trouve plus que de la craie blanche en suivant la route de Reims, et que les marnes affleurent le long de la vallée de l'Aisne, il n'est pas douteux que les phosphates en question ne se trouvent situés vers la limite entre la craie blanche et la craie marneuse. Or c'est là exactement la place qu'occupent les nodules d'Annappes que j'ai fait connaître en 1852, et dont la première analyse, faite à l'École des mines sur un échantillon que j'ai remis moi-même à M. Rivot, a donné lieu à un assez long article dans le compte rendu des travaux du bureau d'essais, présenté à S. E. M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, par M. Dufrenoy. Ces nodules n'étaient pas aussi riches que ceux de Rethel, puisqu'on n'y a trouvé que 15 à 18 p. 100 d'acide phosphorique. Mais quoi qu'il en soit de l'aspect et de la richesse de ces phosphates comparés entre eux, je crois avoir suffisamment établi que leurs gisements, quoique séparés par une distance de 50 lieues, ne se trouvent pas moins sur le même horizon.

Antérieurement à l'envoi de cette lettre, en mai 1856, j'ai observé dans la Seine inférieure plusieurs autres gîtes analogues à ceux de Rethel et de Lille; mais le peu de temps que j'ai consacré jusqu'ici à leur examen ne m'a pas permis de les explorer d'une manière complète. Les échantillons que j'ai pris au hasard n'ont

(1) Cette couche chloritée semble aussi se perdre au nord-ouest; car je ne l'ai pas remarquée dans la falaise du cap Blanc-Nez lorsque j'ai parcouru en août 1849 la côte de Sangatte à Wissant, en compagnie de M. Dumont.

pas donné à l'analyse plus de 4 p. 100 d'acide phosphorique. Je me propose de retourner sur les lieux et de rédiger, après de nouvelles analyses, une note spéciale dans laquelle je ferai connaître l'allure de la couche, son épaisseur et les conditions économiques de son exploitation.

On voit, par ce qui précède, que l'existence du phosphate de chaux dans le terrain de craie, loin d'être un fait accidentel et local, acquiert de plus en plus de généralité et permet d'espérer qu'on pourra en tirer parti avant peu de temps, au grand profit de l'agriculture, dans toute l'étendue du bassin de Paris comme dans celui de Londres.

Nous donnons ici, à titre de résumé et sous forme de tableau, l'indication des principaux gisements de phosphate de chaux connus avec les résultats des analyses faites sur des échantillons de quelques-uns d'entre eux :

LOCALITÉS.	GISEMENTS.	Actio phosphorique.	Phosphate de chaux correspondant.	Auteurs.
Shanklin (île de Wight).	Greensand inférieur.	15 à 19	39,50 à 41,16	Nesbit.
Atherfield (île de Wight).	<i>Id.</i>	"	"	Fitton.
Stopham, près Pulborough (Sussex).	<i>Id.</i>	"	"	
Grand-Pre (Ardennes).	<i>Id.</i>	17,5	37,91	(a)
Wissant (Pas-de-Calais).	Gault (partie infér.).	"	57,40	Berthier.
Lottinghen (Pas-de-Calais).	Gault.	"	"	Turner.
Maidstone (comté de Kent).	<i>Id.</i>	26	60,67	Nesbit.
Doudead (Wiltshire).	<i>Id.</i>	"	"	Fitton.
Mosshill (Norfolk).	<i>Id.</i>	"	"	
Folkstone (Kent).	<i>Id.</i>	"	"	
Farnham (Surrey).	<i>Id.</i> (partie infér.)	"	"	Austen.
Guildford (Surrey).	<i>Id.</i>	"	"	
Farnham.	Assises les plus élevées du grès vert supérieur. Tourtia (?).	28	60,67	Nesbit.
Guildfort.	Grès vert supérieur.	"	"	Austen.
Le Havre.	Tourtia.	"	57,30	Berthier.
Annappes, près Lille.	Base de la craie blanche.	18	38,70	(a)
Tunnel de Perthes, près Rethel (Ardennes).	<i>Id.</i>	21,29	46,13	

(a) Bureau d'essais de l'École des mines.

Maintenant, quels sont les avantages que le phosphate de chaux présente dans la culture? Dans quelles circonstances agit-il sur les terres? De quelle manière cet engrais doit-il être appliqué? A quelles causes son efficacité doit-elle être attribuée?

On sait que cette substance fait partie intégrante des cendres des os où elle est unie au carbonate de chaux. Il est admis assez généralement que c'est à elle qu'est due principalement la vertu du noir animal dont la consommation ne s'élève pas à moins de 17 millions de kil. dans la Bretagne et la Vendée. C'est aussi au phosphate de chaux que le guano, cet engrais merveilleux qu'on va chercher jusque dans les îles de la mer du Sud, doit en partie sa puissance fécondante.

Le phosphore fait, en effet, partie essentielle des plantes, et quand on compare les cendres des diverses espèces végétales, on remarque que l'acide phosphorique y domine avec l'acide carbonique, la silice, la chaux et les alcalis. Souvent l'acide phosphorique entre pour plus de 40 p. 100 dans le poids de la cendre, et sa proportion dans celle du grain de blé s'élève jusqu'à 57 p. 100.

L'acide phosphorique prédomine même seul dans presque toutes les graines, excepté dans celles des légumineuses où les alcalis sont encore en plus forte proportion. Mais généralement la cendre du grain est le domaine de l'acide phosphorique comme celle de la paille est le domaine de l'acide silicique ou de l'acide carbonique.

Ces faits généraux démontrent toute l'importance du phosphore dans l'agriculture et la nécessité absolue de l'introduire dans le sol partout où il fait défaut. Or, il est à remarquer que parmi les divers principes qui entrent dans la constitution des plantes, c'est précisément le phosphore qui semble le moins uniformément

répandu dans la nature minérale. En effet, ses composés sont ordinairement disséminés par petits nids dans les divers terrains, et à part les nodules coprolitiques que l'on rencontre surtout dans les formations liasique et crétacée, on peut dire que la plupart des roches qui forment la croûte superficielle du globe n'en renferment que des traces ou n'en renferment pas du tout. Les autres éléments constitutifs des plantes sont, au contraire, beaucoup plus communs. Ainsi toutes les argiles et tous les calcaires contiennent de la silice et de la potasse, de même que les roches feldspathiques, micacées, chloritées, et les schistes et grauwackes de transition.

Les argiles renferment toujours une petite quantité de silicate de potasse (1); mais les alcalis existent surtout en quantité notable dans les calcaires.

M. Kulmann a constaté, en effet, la présence d'une proportion notable de potasse et de soude à l'état de silicate, de chlorure, et de sulfate, dans les calcaires de différentes époques géologiques (2). La craie blanche en renferme jusqu'à 0,10 p. 100, ce qui fait plus de 1 kil. de potasse par mètre cube de craie (3). M. Pézier, chimiste à Valenciennes, en a trouvé 4 p. 100 dans les marnes crayeuses. Certaines terres vertes en contiennent plus de 10 p. 100 d'après M. Berthier (4). Enfin la potasse existe même (6 à 7 p. 100), dans les laves des volcans (5).

Quant aux acides sulfurique et muriatique, on les rencontre presque partout; et quelque petite qu'en soit la quantité, elle suffit toujours pour les besoins de la

(1) Regnault. *Cours de chimie*, 2<sup>e</sup> vol., p. 276.

(2) Kulmann. *Expériences chimiques et agronomiques*, p. 55.

(3) *Géologie de la Flandre française*, p. 45.

(4) Dufrenoy. *Traité de minéralogie*, 1<sup>re</sup> éd., 3<sup>e</sup> vol., p. 516.

(5) Dufrenoy. *Traité de minéralogie*, 1<sup>re</sup> éd., 3<sup>e</sup> vol., p. 361.

végétation; car ils n'entrent que pour une très-faible part dans les cendres des plantes. L'analyse du blé donnée par M. Boussingault, dans son *Traité d'économie rurale*, montre que cette plante absorbe dix fois plus d'acide phosphorique que d'acide sulfurique, et vingt fois plus du même acide que d'acide chlorhydrique.

Cette analyse montre aussi que le blé (grains et paille réunis dans la proportion de 1 à 2) exige sur 100 parties : 0,55 d'acide phosphorique et 3,15 de silice, c'est-à-dire six fois plus de silice encore que d'acide phosphorique. Il est donc important qu'avant tout, le terrain soit pourvu d'une quantité de silice suffisante et à un état qui puisse permettre son assimilation; d'où résulte immédiatement la nécessité du marnage ou du chaulage pour les terrains exclusivement siliceux ou argileux, non-seulement pour produire de la silice soluble, mais aussi parce que la chaux est indispensable dans les sols qui en manquent. Dès qu'il existe, en effet, de l'argile et de la chaux en présence, il s'opère entre la chaux et les éléments de l'argile une combinaison par suite de laquelle la silice devient soluble dans les acides (1). Du reste, cette solubilité peut être obtenue de plusieurs manières, soit par la calcination des calcaires argileux ou sableux, soit par la calcination de l'argile elle-même qui peut être remplacée dans la nature par des influences équivalentes nées des phénomènes atmosphériques; en sorte que ce n'est pas en fournissant de la silice que les engrais exercent leur principal mode d'action. D'ailleurs, le noir animal et le guano, dont l'efficacité est bien connue, n'en renferment pas sensiblement (2).

(1) Liebig. *Chimie appliquée à l'agriculture*, p. 188.

(2) Il en est de même de la poudrette. Nous profitons de cette occasion pour rectifier une erreur qui s'est glissée dans une

Il résulte donc de ce qui précède que les engrais doivent surtout avoir pour objet d'apporter au sol et sous forme assimilable l'acide phosphorique dont il peut manquer.

L'acide phosphorique peut être introduit dans la terre végétale de plusieurs manières, soit par les nodules coprolitiques, soit par divers engrais tels que le guano, le noir animal et la poudrette.

Il paraît certain que le phosphate de chaux seul réduit en poudre produit de bons effets sur les terres. On l'a employé avec succès en Angleterre à cet état, et M. Dufrenoy, qui l'a expérimenté sur des terres à blé, en a aussi obtenu des résultats importants. Ces terres, qui donnaient 12 grains pour 1 de semence, en ont produit deux années de suite 15 à 16 (1). Ici, nous placerons une observation qui peut rendre compte de cette donnée pratique. Les sels ammoniacaux en général, et le phosphate d'ammoniaque en particulier, ne peuvent agir sur les plantes qu'après avoir subi une transformation préalable. Car s'ils étaient aspirés directement par les racines, on devrait retrouver dans les cendres l'acide du sel en quantité correspondante à l'ammoniaque utilisé, ce qui n'est pas. Conséquemment, le phosphate d'ammoniaque renfermé dans la poudrette, ne peut être assimilé qu'après avoir réagi sur le calcaire du terrain en donnant lieu à du carbo-

note publiée antérieurement (*Annales des mines*, 5<sup>e</sup> sér., t. V, p. 428). Si la poudrette renferme 0,41 p. 100 de silice soluble, ce n'est pas 6<sup>k</sup>,97, mais bien 0<sup>k</sup>,0697 que renfermeront les 17 kil. d'engrais qu'on répandra sur un are de terre. Or il entre, d'après M. Boussingault, 3,15 p. 100 de silice dans le blé, soit 1<sup>k</sup>,89 dans le produit d'un are qui est de 60 kil., ce qui fait 27 fois plus de silice que ce que la poudrette peut en apporter.

(1) Dufrenoy. *Traité de minéralogie*, 2<sup>e</sup> édit, t. II, p. 398.

nate d'ammoniaque et à du phosphate de chaux, substances qui, toutes deux, peuvent être entraînées en dissolution dans une eau acidulée (1). Or, si le terrain dont il s'agit manque de calcaire ou que la chaux ne s'y trouve pas en quantité suffisante, cette réaction ne se produira pas ou ne se produira qu'incomplètement, et l'acide phosphorique ne sera pas fourni en proportion des besoins. Une addition de phosphate de chaux faite en dehors de l'engrais employé peut donc remédier à cet inconvénient. Ainsi, le phosphate naturel est susceptible d'être utilisé avec avantage sans mélange d'aucune autre substance. On peut aussi le faire entrer dans la fabrication de composts ou d'engrais composés. Dans tous les cas, il faut le réduire en poudre. En Angleterre, on l'obtient à cet état, d'après ce que rapporte M. Dufrenoy, en le broyant dans des moulins ressemblant par leur forme à ceux qu'on emploie pour le café, mais construits sur une grande échelle (2). On peut aussi faciliter la pulvérisation des nodules en les projetant dans l'eau froide après les avoir chauffés au rouge; la chaleur perdue des divers foyers industriels pourrait être employée pour cet usage. M. de Villeneuve a aussi trouvé un moyen simple de les désaggréger en les éteignant au milieu de quelques morceaux de chaux vive (3). Mais ce procédé ne peut être pratiqué qu'à proximité des fours à chaux, et il a peut-être l'inconvénient de mélanger au phosphate une trop grande quantité de chaux.

Les phosphates de chaux et de magnésie se trouvent dans le guano sous forme de petits grains blancs ar-

(1) Les poudrettes ordinaires que j'ai examinées jusqu'ici renferment de 3 à 4 p. 100 d'acide phosphorique.

(2) Dufrenoy. *Traité de minéralogie*, 2<sup>e</sup> édit., t. II, p. 398.

(3) *Bulletin de la société géologique*, t. X, p. 651.

rondis qu'il est facile de distinguer et qui peuvent être absorbés directement à la faveur du carbonate d'ammoniaque dont cet engrais est aussi abondamment pourvu. Le guano doit son énergie à ces deux composés et particulièrement aux phosphates qui y entrent pour 24 ou 25 p. 100. Il agit aussi avec efficacité sur les récoltes des plantes à potasse, telles que les betteraves, les pommes de terre, les navets, grâce aux sels alcalins qu'il renferme dans la proportion de 5 à 6 p. 100.

Enfin on peut fournir de l'acide phosphorique au sol par le noir animal. Ce dernier engrais ne réussit qu'à la condition que le terrain soit exempt de carbonate de chaux et renferme une certaine quantité de détritiques organiques. C'est, avant tout, sur les landes récemment défrichées et non écobuées, ni marnées ou chaulées, qu'agit le noir (1). Il y aurait d'après cela, antipathie entre la chaux et le noir, fait que les paysans de la Bretagne et de la Vendée traduisent en disant que la marne et le noir *se brûlent* réciproquement. On a reconnu aussi que le noir en grain, plus riche en phosphate mais moins riche en matière azotée que le noir fin, agit plus efficacement que ce dernier sur les terres neuves des landes, et de plus, on a observé que la chaux ou la marne, bien que dépourvues de phosphate, exercent dans les mêmes circonstances, une action analogue à celle du noir. On peut inférer immédiatement de là que ce n'est pas à l'azote, mais bien au phosphate de chaux du noir que sont dus les effets produits. Il est deux points essentiels qui doivent servir de base à l'emploi du noir : le premier, c'est que, comme nous l'avons rappelé ci-dessus, il ne peut avoir d'effet sur les terres qui renfer-

(1) Rapport de MM. Barral et Moll, sur les travaux de M. Bobierre, relatifs à la vérification des engrais commerciaux. (*Bulletin de la société d'encouragement*, 2<sup>e</sup> s., t. III, p. 68.)

ment déjà du phosphate de chaux ; le second, c'est que le noir doit être répandu sur des terres à réaction suffisamment acide pour que son phosphate puisse être dissous et absorbé par les spongioles des racines. Or, si l'on porte de la chaux ou de la marne sur une terre, on neutralise son acidité et on la rend par suite impropre à profiter de l'introduction du noir. Si l'on y verse ensuite du fumier, de la poudrette ou un engrais quelconque dans lequel l'acide phosphorique se trouve à l'état de phosphate d'ammoniaque, il y a formation de phosphate de chaux par la double décomposition qui s'opère entre le sel ammoniacal de l'engrais et l'amendement calcaire, et le terrain devient à jamais rebelle à l'action du noir. Cette conséquence est en accord parfait avec les résultats de l'expérience ; car on sait qu'une fois marné ou chaulé, le sol n'éprouve plus sensiblement d'effet de l'application du noir (1). L'expérience montre encore qu'on détruit ou qu'on diminue l'action fécondante de cet engrais par l'écobuage ou par les carbonates alcalins. Ce fait s'explique aussi par la neutralisation de l'acidité du sol. Il en est de même de l'effet produit par les cendres lessivées ou *charrées*, qui est beaucoup plus prononcé que celui des cendres brutes, parce que, ainsi que l'a fait observer M. Bobierre (2), les dissolvants acides du sol obéissant à leurs affinités, se combinent de préférence à la potasse de la cendre brute, et les phosphates dont l'agriculture recherchait plus particulièrement l'action, ne sont plus dissous et assimilés avec une promptitude suffisante pour le succès de la récolte.

(1) Rapport de MM. Barral et Moll, déjà cité. (*Bulletin de la société d'encouragement*, 2<sup>e</sup> s., t. III, p. 70).

(2) De l'action des cendres lessivées dans les défrichements ; par M. Adolphe Bobierre. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*. Septembre 1856, p. 473.)

Il est d'usage en Bretagne de donner aux vieilles terres jusqu'à 10 hectolitres de noir tandis qu'on n'en donne que 4 à 4 1/2 aux terres provenant de défrichements (1) ; d'où il résulte que le phosphate de chaux est plus difficilement assimilable dans les vieilles terres que dans les défrichements. Je partage, d'ailleurs, entièrement l'opinion de MM. Barral et Moll, qui pensent que le noir agirait également bien sur la plupart des vieilles terres s'il était préalablement traité comme les Anglais traitent les os, c'est-à-dire, combiné avec une certaine quantité d'acide sulfurique.

Il ne faut pas oublier enfin que le phosphate de chaux est facilement soluble, non-seulement dans les acides faibles, mais aussi dans les bicarbonates alcalins, et ce fait suffit peut-être à lui seul pour expliquer les effets différents du guano et du noir au point de vue du phosphate de chaux. Pourquoi le premier de ces engrais exerce-t-il une action efficace sur tous les terrains sans distinction, tandis que le second ne peut être employé avantageusement que sur les terres à réaction acide ? N'est-ce pas parce que le guano renferme un dissolvant des phosphates, l'acide carbonique ou le carbonate d'ammoniaque, qui manque relativement dans le noir et que ce dernier engrais doit, pour produire un effet utile, trouver son dissolvant dans le terrain lui-même ?

Nous terminerons en hasardant quelques réflexions sur le rôle de l'azote dans les engrais. Les produits ultimes de la décomposition des matières organiques animales et végétales consistent en acide carbonique, en ammoniaque et en eau (2) ; mais avant que la décomposition ne soit complète, ces matières passent par divers états intermédiaires. Ainsi, celles qui sont sur-

(1) L'hectolitre de noir pèse 95 kilog.

(2) Liebig. *Chimie appliquée à l'agriculture*, p. 455.

tout riches en carbone subissent la fermentation acétique, et celles qui sont azotées provoquent la nitrification par la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air. Ces phénomènes s'opèrent par une sorte de combustion lente, qui ne peut s'achever d'une manière complète qu'à la condition que les produits auxquels elle donne lieu seront absorbés au fur et à mesure de leur formation. C'est ainsi que les terres acides ou riches en humus, telles que celles des défrichements, finissent par dégager leur azote à l'état d'ammoniaque et par abandonner les sels minéraux, tels que le phosphate de chaux, renfermés dans les détritiques qui s'y trouvent enfouis, quand on les marne ou qu'on les traite par la chaux. On sait aussi que toutes les matières azotées se décomposent facilement en présence de l'air humide, par suite de la double affinité du carbone pour l'oxygène et de l'azote pour l'hydrogène, laquelle donne lieu à de l'acide carbonique et à de l'ammoniaque, et l'on conçoit par suite combien il importe que les engrais renferment de l'azote.

D'un autre côté, si l'on admet avec M. Becquerel que les actions chimiques développent de l'électricité, et que réciproquement l'électricité provoque des combinaisons et des changements d'état dans les corps, on arrive à conclure que les engrais agissent non-seulement par leur ammoniaque, mais encore et surtout par la nitrification provoquée sous l'influence de cette base et des actions électriques qui accompagnent la fermentation, nitrification qui s'accomplit dans les conditions les plus favorables si elle a lieu en présence de corps poreux qui, ainsi que l'ont prouvé les expériences de M. Kulmann, secondent puissamment les combinaisons chimiques. Les forces électriques seules tendent bien à la forma-

tion de l'ammoniaque par la décomposition de l'eau et la combinaison de l'hydrogène naissant avec l'azote de l'air. Mais si l'ammoniaque existe déjà, c'est surtout en activant la nitrification que l'électricité peut manifester sa puissance. Ainsi, en admettant que les conditions physiques du sol soient favorables à la décomposition des engrais, ces derniers deviennent une source abondante d'acide carbonique, d'ammoniaque et aussi d'acide nitrique.

Considérons seulement ce qu'une récolte de blé absorbe d'azote. Ce corps y entrant dans la proportion de 1 p. 100, le produit d'un hectare, soit 2.000 kil. de grains et 4.000 kil. de paille, exigera 60 kil. d'azote (1); or les 4 hectolitres ou les 380 kil. de noir animal que l'on sème sur cette surface, ne contenant pas au delà de 1 à 2 p. 100 d'azote, en apporteront au plus 7<sup>k</sup>,60 et la plupart du temps beaucoup moins encore. C'est donc seulement le huitième de ce qu'exige la récolte, et il faut que les 7 autres huitièmes soient pris en dehors de l'engrais.

Si l'on fait un calcul analogue pour l'acide phosphorique qui entre dans le blé dans la proportion de 0,53 sur 100 parties, on trouve que les 6.000 kil. de grains et paille doivent contenir 51<sup>k</sup>,80 d'acide phosphorique. Or, en admettant que le noir en renferme 30 p. 100, les 380 kil. de l'engrais introduiront dans le sol 114 kil. de cet acide, c'est-à-dire trois ou quatre fois plus que ce que réclame la végétation du blé. Il est probable, d'ailleurs, que le pouvoir fertilisant du noir animal tient non-seulement au phosphate qu'il renferme, mais aussi à sa couleur qui permet une plus grande absorption de calorique et à son état poreux qui favorise la condensation des gaz.

(1) On admet ici un rendement de 25 hectolitres de 80 kil. chaque par hectare.

On arrive à des résultats semblables avec la poudrette, et il est facile de voir qu'en la mêlant à la terre végétale dans la proportion de 1700 kil. à l'hectare comme cela se fait habituellement, on fournit ainsi au sol, 29 kil. d'azote seulement et 51 kil. d'acide phosphorique (1).

De même, 350 kil. de guano, qui sont à peu près l'équivalent de la quantité de poudrette précédente, apportent 40 kil. d'acide phosphorique et seulement 42 kil. d'azote (2).

Les principes minéraux et l'acide phosphorique, notamment, semblent donc avoir plus d'importance que l'azote dans les engrais, puisque ceux-ci, bien que ne contenant qu'une quantité d'azote de beaucoup inférieure à celle que la végétation réclame, sont néanmoins employés avec avantage.

Quoi qu'il en soit, nous pensons, en résumé, que la matière azotée des engrais agit plutôt en provoquant certaines réactions qu'en servant directement elle-même à l'alimentation des plantes. C'est donc surtout par les sels minéraux que les engrais paraissent utiles, et cela n'a rien de surprenant, puisque les plantes vivent au milieu d'une atmosphère inépuisable d'azote, tandis que la richesse du sol en acide phosphorique, en alcalis, etc., est nécessairement limitée et que les terres vont en s'appauvrissant de plus en plus par ce que les récoltes successives leur enlèvent.

(1) On suppose que la poudrette contient 1,7 p. 100 d'azote et 5 p. 100 d'acide phosphorique.

(2) On admet dans le guano 12 p. 100 d'azote et 11 à 12 p. 100 d'acide phosphorique.

## MÉMOIRE

## SUR LES GLACIERS ACTUELS.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS FAITES SUR LES GLACIERS  
DANS CES DERNIERS TEMPS (1).

Par M. Ed. COLLOMB.

*Des neiges éternelles.*

L'eau qui tombe à l'état de pluie dans les pays de plaine, se précipite ordinairement dans les hautes montagnes à l'état de neige; au-dessus d'une certaine zone, la chaleur ambiante n'est pas assez forte pour la fondre en totalité dans le courant de l'année, celle qui reste constitue de grands champs de neige dont la limite inférieure est ce qu'on appelle la *ligne des neiges éternelles*, elle varie suivant les latitudes, elle a été déterminée ainsi qu'il suit :

PAYS.	LATITUDE.	HAUTEUR de la limite inférieure des neiges.
		m.
Amérique du Sud. . . . .	0,00	4.870
Mexico. . . . .	19,00	4.580
Himalaïa, versant sud. . . . .	30,00	3.900
Himalaïa, versant nord. . . . .	31,00	5.090
Ararath. . . . .	39, 0	4.320
Pyénées (moyennes). . . . .	42,45	2.750
Caucase. . . . .	43,00	3.350
Alpes (moyennes). . . . .	45,30	2.630
Norvège. . . . .	60,00	1.660
Norvège. . . . .	70,00	1.070
Spitzberg. . . . .	79,00	"

Ces neiges, après avoir été déposées sur le sol, passent, par suite d'une fusion incomplète et de l'action

(1) Les principaux auteurs qui ont fait des observations pratiques sur les glaciers, sont : MM. Agassiz, Boussingault,

de la pression, à l'état de *névé*, masse grenue, oolitique, composée d'une agglomération de cristaux oblitérés, soudés en partie les uns aux autres. Toute espèce de neige peut se transformer en névé.

*Du névé et de la glace des glaciers.*

La neige en passant à l'état de névé augmente de densité; ainsi un mètre cube de neige fraîchement tombée pèse environ 85 kil., tandis qu'un mètre cube de névé pèse environ de 290 kil. à 628 kil., suivant la pression à laquelle il a été soumis. On sait que la densité de la glace compacte est de plus de 900 kil. au mètre cube.

Les masses de névé qui couvrent les hautes régions subissent à leur tour une nouvelle transformation, et passent par suite de la même cause, c'est-à-dire un commencement de fusion et de pression, à l'état de glace. C'est sous l'empire de ces circonstances que les glaciers prennent naissance. Ainsi, dans les Alpes, ces champs de névé rassemblés dans la zone comprise au-dessus de 2.600 à 2.700 mètres descendent à l'état de glace dans les vallées inférieures; elles les comblent en partie, elles en remplissent toutes les anfractuosités, comme pourrait le faire un courant de lave.

La ligne de démarcation entre le névé et la glace n'est pas nette et tranchée; le névé passe d'abord, en allant

Bravais, de Charpentier, Ed. Collomb, Deluc, Desor, D. Dollfus, Élie de Beaumont, Escher de la Linth, A. Favre, J.-D. Forbes, Guyot, Ladame, Ch. Martins, P. Merian, Rendu, de Saussure, Scoresby, Schlagintweit, Studer, Venetz.

Nous avons tenu compte, dans les faits rapportés dans ce mémoire, des observations faites par ces auteurs; nous n'avons pas pensé que, dans un cadre aussi restreint, il fût nécessaire de citer textuellement leurs écrits qui sont, du reste, très-connus.

de haut en bas, à l'état de *glace bulleuse*, puis de *glace grenue blanche* et enfin de *glace bleue compacte*. La densité de cette glace est en rapport avec la hauteur où on la prend. Suivant les expériences de M. Dollfus,

La pesanteur spécifique de la glace bleue des régions inférieures d'un glacier est de . . . . .	kil. 909,50	} Au mètre cube.
Celle de la glace blanche avec beaucoup de bulles d'air aplaties de la région moyenne est de . . . . .	897,92	
Celle de la glace blanche avec beaucoup de bulles d'air rondes . . . . .	871,23	
Celle de la glace de névé de la région supérieure . . . . .	628,00	

Ainsi, dans la transformation du névé en glace de glacier, il y a un passage insensible: *la densité est en raison directe de la pression.*

La quantité de neige qui tombe dans les hautes régions pendant le courant de l'année a été mesurée en 1845 et 1846 dans les environs du Grimsel; il en résulte qu'à 2.700 mètres d'altitude, par exemple, il tombe terme moyen 18 mètres de hauteur de neige fraîche qui équivalent à une couche de 2<sup>m</sup>,30 de glace. À cette hauteur et au-dessus, la chaleur du soleil ou la chaleur ambiante est insuffisante pour arriver à une fonte complète; il y a donc toutes les années *un résidu* qui a résisté à l'action dissolvante des agents extérieurs.

C'est là le noyau théorique, le germe des glaciers. *Le stock* d'une année (si l'on peut se servir de cette expression) s'ajoute au stock de l'année suivante, et ainsi de suite d'année en année. On comprend de suite que si ces couches successives de neige, de névé, de glace, s'empilaient les unes sur les autres, comme un terrain stratifié, et qu'elles restassent dans la même position, il n'existerait pas de glaciers; il y aurait dans les Alpes des montagnes de glace, de grands amas de

Définition.

névé et de neige, mais de véritables glaciers il n'y en aurait pas.

La nature a procédé par une autre voie : aussitôt que ces accumulations sont arrivées à une épaisseur suffisante, elles acquièrent de nouvelles propriétés, elles prennent du mouvement, elles s'écoulent dans les régions inférieures, en suivant les lois de la dynamique et avec des formes que nous allons résumer tout à l'heure. Par cette loi prévoyante de la nature, les hautes régions qui reçoivent tous les ans un excédant de neige en sont ainsi débarrassées par une voie lente et continue; elles restent donc à peu près toujours dans la même situation, état d'équilibre qui s'établit par compensation; les neiges qui n'ont pas pu être fondues dans la région froide arrivent sous forme de glaciers dans une zone plus tempérée où elles se résolvent définitivement en eau. Un glacier quelconque est donc *une masse de glace douée d'un mouvement régulier de translation.*

Division  
des glaciers.

De Saussure divise les glaciers en *glaciers de premier ordre* et en *glaciers de second ordre*. Les premiers comprennent ceux qui prennent naissance dans les plus hautes chaînes de montagnes; ils descendent dans les vallées, les comblent en partie et ont alors une surface presque horizontale : de là le nom de *mers de glace* qu'on leur a donné. Il en existe dans les montagnes des régions boréales, dans les Alpes, le Caucase, l'Himalaïa. Parmi les glaciers de premier ordre appartenant au groupe du mont Blanc, du mont Rose et de la Jungfrau, il y en a de 20 à 25 kilomètres de longueur, de quelques kilomètres de largeur et de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Leur partie inférieure descend à une altitude de 1.200, 1.500 à 1.800 mètres (1).

(1) J'ai vu au Palais-Royal dans la collection du prince Napoléon, parmi les objets rapportés de son voyage dans les mers

Les *glaciers du second ordre* sont ceux qui ne descendent pas dans les vallées; ils restent suspendus aux flancs des montagnes, ils possèdent toutes les propriétés des grands glaciers, mais seulement dans des proportions réduites. Ils sont très-nombreux dans toute la chaîne des Alpes et dans les Pyrénées.

Les neiges éternelles qui couvrent les sommets de la chaîne de la Sierra-Nevada en Espagne, particulièrement le Mula-Hacen et le Picacho de Veleza, qui en sont les pics les plus élevés (environ 3.500 à 3.600 mètres), peuvent être considérés comme des glaciers de second ordre. Quand je visitai ces montagnes au mois de juin 1851, je trouvai aux neiges qui comblent les vallées supérieures exactement la même structure qu'aux névés des hautes régions des Alpes au point où ils commencent à se transformer en glace balleuse.

Les grands glaciers ne se forment dans les Alpes que lorsqu'il y a à l'origine de la vallée un *cirque élargi à fond plat*, situé au-dessus de 2.600 mètres. Cette disposition en amphithéâtre de la partie supérieure des vallées permet aux neiges de s'y accumuler, de s'y emmagasiner en quantité suffisante pour alimenter un grand glacier. Ces neiges arrivent ainsi à une épaisseur de plusieurs centaines de mètres.

À la température de quelques degrés au-dessous de zéro, la neige au moment de sa chute n'est plus floconneuse, elle est poudreuse, farineuse, composée d'une infinité de petites aiguilles, de fragments de cristaux brisés, qui glissent les uns sur les autres comme des grains de féculé. Dans cet état, elle ne s'attache pas

du Nord en 1856. un album de vues artistiquement faites dans lequel se trouve le croquis de plusieurs glaciers, entre autres celui de Justedalsbrac, qui est évidemment un glacier de premier ordre.

Influence  
des reliefs  
orographiques.

Influence  
du vent.

aux objets sur lesquels elle tombe; elle est mobile comme le sable du désert. Dans ces conditions, la direction du vent prend une influence prépondérante sur le lieu où ces neiges viennent s'accumuler. Le revers des montagnes qui fait face au vent est complètement balayé; les neiges viennent se déposer dans les endroits abrités, où elles trouvent un air plus tranquille, précisément dans les cirques dont nous venons de parler.

Sans l'intervention du vent, il est probable que les glaciers de premier ordre n'existeraient pas; les neiges tomberaient verticalement; elles couvriraient d'un manteau d'une épaisseur uniforme toute la surface du terrain, elles ne se réuniraient pas sur un point en assez grande abondance pour former un grand glacier, elles ne donneraient lieu qu'à des glaciers de second ordre. Les pics des Alpes jouent dans le cas présent le même rôle que les pyramides d'Égypte, relativement au sable du désert; en brisant le vent, elles déterminent le sable qu'il transporte à se déposer sur certains points de préférence à tels autres, elles empêchent son envahissement sur les terres cultivées.

Ces conditions de basse température pendant la chute de la neige se rencontrent particulièrement dans les régions boréales et dans les hautes montagnes. A Paris, la neige tombe le plus fréquemment quand la température de l'air ambiant oscille de quelques degrés seulement autour de zéro; elle est alors floconneuse; à cette température elle a la propriété de s'attacher, de s'agglutiner; tandis que d'ordinaire, dans les hautes régions, à partir de 8 à 10° au-dessous de zéro, elle perd cette propriété, elle devient sèche, elle ne s'agglutine plus; lorsqu'elle est chassée par le vent, elle nivelle les inégalités du sol, elle comble les fonds de vallée, elle

se rassemble alors de préférence dans les cirques supérieurs.

Au point de vue orographique, les chaînes de montagnes doubles et les chaînes simples présentent des résultats bien différents sous le rapport de la quantité de neige qui peut s'accumuler sur un point donné. Les chaînes simples comme les Pyrénées, ou les montagnes isolées comme l'Etna, quelle que soit leur hauteur, n'offrent pas un relief réunissant de grands cirques qui permettent aux neiges chassées par le vent de s'y entasser en masse suffisante. Le cirque de Gavarni, par exemple, est trop petit, trop exigü pour donner matière à un grand glacier; on n'y voit que de petits glaciers de second ordre suspendus aux parois du cirque. Tandis que la chaîne des Alpes qui se dédouble, se triple, se bifurque, se divise sur une grande partie de sa longueur en vallées longitudinales, possède dans presque tous les fonds de ces vallées des cirques d'un grand diamètre, où le vent vient déposer des masses de neige: c'est là l'origine de tous les glaciers.

Si par la pensée nous supprimons l'action du vent, les cirques perdent leur importance; ils ne jouent plus le rôle de réservoirs, les grands glaciers n'étant plus alimentés cesseraient d'exister.

Nous prendrons pour exemple l'inclinaison de la surface du glacier de l'Aar, qui a été mesurée exactement par M. Agassiz sur une longueur d'environ 8.000 mètres, prise dans la partie inférieure de ce glacier. La partie supérieure a des pentes beaucoup plus fortes.

Pente  
de la surface  
des glaciers.

*Inclinaison du glacier de l'Aar.*

INDICATION DES POINTS.	DISTANCE des points.	PENTE	
		en mètres p. 100	en degrés sexagésim.
	m.	m.	
Du n° 1 au n° 2 . . . . .	618	0,53	0° 18' 21''
Du n° 2 au n° 5 . . . . .	726	3,97	2 16 25
Du n° 5 au n° 8 . . . . .	1.284	3,90	2 14 10
Du n° 8 au n° 10 . . . . .	1.260	5,47	3 08 21
Du n° 10 au n° 11 . . . . .	1.179	7,45	4 16 32
Du n° 11 au n° 15 . . . . .	1.671	8,08	4 38 02
Du n° 15 au n° 17 . . . . .	792	14,24	8 11 17
Du n° 1 au bord du talus terminal. . . . .	300	17,90	10 18 42
Talus terminal. . . . .	90	68,66	43 22 00
Lit de l'Aar. . . . .	672	1,78	1 01 23
Moyenne :			
Du n° 1 au bord du talus terminal. . . . .	7.830	6,90	3 57 32

Les nos 1 à 17 sont des blocs erratiques qui se trouvent à la surface du glacier; ils ont servi de point de départ pour les mesures ci dessus.

Les glaciers de second ordre ou glaciers latéraux ont des pentes beaucoup plus fortes; ceux qui se trouvent dans le voisinage du glacier de l'Aar ont donné au même observateur les résultats suivants :

Le glacier de Grünberg. . . . .	32°
Le glacier de Zinkenstock. . . . .	41°
Le glacier de Trift. . . . .	20 à 25°

La pente de la surface des glaciers est, du reste, en rapport avec le relief du sol sur lequel ils marchent; la plasticité de leur masse leur donne la faculté de se modeler, de se mouler sur toutes les inégalités du fond; ils ont une pente très-forte sur les flancs escarpés des montagnes, une pente très-douce, voisine de l'horizontale dans la partie plate des vallées. Par exemple, le glacier du Rhône, d'abord fort incliné à son origine au pied du Galenstock, tombe presque à zéro inclinaison dans sa partie moyenne; puis arrive une forte chute qui le rend inaccessible près de sa partie terminale, où il

s'étale de nouveau sur un fond incliné de quelques degrés seulement.

Il en est de même pour la plupart des grands glaciers des Alpes. Ceux du revers méridional du mont Blanc, le glacier de la Brenva et celui de Miage, ont des pentes inaccessibles en descendant des flancs de la montagne; puis ils viennent s'épancher dans l'allée Blanche sur un sol fort peu incliné.

Toutes les pentes précédentes sont sous-entendues dans le sens longitudinal et médian, suivant une ligne correspondant au thalweg; si nous considérons maintenant les pentes dans un sens perpendiculaire ou transversal, nous trouvons qu'elles dépendent en grande partie des accidents locaux qui existent à la surface d'un glacier; ainsi les moraines ont une grande influence sur son profil transversal; ces amas de débris rocheux agissent comme préservateurs de la fusion ou de l'action de l'irradiation solaire; lorsqu'une moraine recouvre une portion de la surface, il s'y forme, après quelques semaines de l'action du soleil, une forte gibbosité à cause de la fusion des parties environnantes; les moraines médianes donnent lieu à de longues arêtes en dos d'âne qui s'élèvent parfois à une dizaine de mètres au-dessus des portions voisines qui ne sont pas garanties de l'action dissolvante des agents extérieurs.

L'orientation d'un glacier a aussi de l'influence sur son profil en travers, soit un glacier qui marche dans le sens de l'est à l'ouest ou dans le sens de l'ouest à l'est; la rive nord exposée plus spécialement aux rayons du soleil est ordinairement beaucoup plus basse relativement à l'horizontale que la rive sud, cette dernière étant garantie de la fusion par l'ombre projetée par les montagnes encaissantes.

Quant à l'inclinaison du fond sur lequel les glaciers reposent, elle reste cachée aux yeux des observateurs; on ne peut l'évaluer qu'approximativement; sans être parallèle elle est cependant en rapport avec la pente de la surface.

Masse ou volume  
des glaciers.

Les mesures qui ont été levées au glacier de l'Aar, en longueur et en largeur, ont donné une superficie de 9.600.000 mètres carrés de glace sur une distance de 8.000 mètres seulement, comprenant sa portion inférieure. Quant à l'épaisseur, elle est problématique; on peut l'évaluer en prolongeant théoriquement les lignes de pente des montagnes encaissantes, et en supposant le fond de la vallée à peu près parallèle à la surface du glacier. M. Desor a ainsi évalué l'épaisseur maxima de ce glacier, sur un point situé près du confluent de deux autres glaciers, de 432 à 460 mètres, épaisseur qui va en diminuant jusqu'au talus terminal où elle tombe à 62 mètres. Si l'on fait le calcul en faisant quatre sections transversales d'une épaisseur de plus en plus faible, évaluées à 440, 300, 100 et 60 mètres, on trouve une moyenne de 250 mètres d'épaisseur, qui, multipliée par la surface, donne un cube de 2.400.000.000 (deux milliards 400 millions de mètres cubes).

Le glacier d'Aletsch, le plus grand de tous les glaciers connus, a environ 24 kil. de longueur, depuis le pied méridional de la Jungfrau jusqu'à son talus terminal. Dans sa partie supérieure il se divise en plusieurs branches qui partent du pied du Mönch et des Viescher Hörner, d'une part, et du Gletscher Horn et de l'Aletschhorn, d'autre part, en formant un grand cirque de 12 kil. de diamètre. La surface de ce glacier peut être évaluée approximativement de 76 à 80 millions de mètres carrés; si l'on admet qu'il a une épaisseur moyenne de 300 mètres, ce qui est probablement un

minimum, il aurait un volume de 22 à 24 milliards de mètres cubes.

Quant à la masse des autres grands glaciers, tels que ceux de la vallée de Chamouny, celui du Rhône, ceux du groupe du mont Rose, elle n'a point été calculée.

Deux éléments composent les glaciers: le névé dans les parties supérieures et la glace dans les parties inférieures. Cette dernière ne présente pas dans sa structure une masse compacte et homogène. Elle est d'abord bulleuse, comme nous l'avons vu, puis elle devient de plus en plus compacte. Mais quelle que soit sa densité, elle est toujours formée de la réunion d'une infinité de fragments anguleux, traversés par un réseau complet de fissures capillaires. C'est par le moyen de ces fissures et des joints des fragments que la circulation de l'eau s'établit dans toute la masse du glacier. Cette structure fragmentaire lui communique la propriété de se plier à tous les caprices du terrain, elle a déterminé M. Forbes à comparer un glacier à une *masse plastique*, susceptible de se mouler sur toutes les anfractuosités du sol. En effet, cette *plasticité* qui ne s'aperçoit pas au premier coup d'œil, puisque la glace elle-même prise sur un morceau isolé est dure et cassante, n'en est pas moins réelle si l'on examine les choses au point de vue des masses. Les fragments anguleux de cette glace s'enchevêtrent entre eux comme une *masse feutrée* dont les éléments s'entrecroisent dans tous les sens, elle lui communique une mobilité de régime dont les allures en grand ont le plus grand rapport avec une masse pâteuse semi-fluide. Indépendamment des fissures capillaires, elle renferme une forte proportion de bulles d'air atmosphérique emprisonné dans des cellules.

De la structure  
de la glace  
des glaciers.

1<sup>er</sup> de neige passant au névé renferme en air atmosphérique 64  
1<sup>er</sup> de glace de névé renferme en air atmosphérique. . . . 15  
1<sup>er</sup> de glace bleue compacte renferme en air atmosphérique 1

Cette plasticité de la glace des glaciers est à son maximum lorsqu'elle est à la température de zéro ou de quelques degrés au dessous de zéro ; c'est la température habituelle de l'intérieur d'un glacier. Mais si l'on refroidit cette glace à  $-12^{\circ}$  ou  $-15^{\circ}$ , sa propriété plastique cesse, elle devient cassante.

MM. Agassiz et Desor ont reconnu, en introduisant des thermomètres dans des trous de sonde pratiqués au glacier de l'Aar et les y laissant séjourner pendant toute une année, que la température de l'intérieur se maintient très-voisine de zéro.

A la profondeur de 30 à 60 mètres les résultats ont été  $-0^{\circ}$   $-0^{\circ},1$   $-0^{\circ},2$   $-0^{\circ},4$ .

A la profondeur de 8 mètres la température est constante aux environs de zéro.

A la profondeur de 2 mètres le thermomètre n'est pas descendu en hiver au delà de  $-2^{\circ},1$ .

L'intérieur du glacier, à l'exception des couches voisines de la surface, jouit en été d'une température invariable qui est zéro. Les variations de température sont limitées à la zone superficielle.

On voit par ces expériences que le froid des hivers ne pénètre pas dans l'intérieur de la masse ; dès le mois d'octobre, la neige commence à couvrir le glacier, à combler les crevasses, à niveler sa surface, elle continue à s'y accumuler jusqu'au printemps et même jusqu'au commencement de l'été suivant ; elle fait l'office d'un véritable manteau ; la neige tassée, avec la grande quantité d'air qu'elle renferme dans ses interstices est un des plus mauvais conducteurs ; les froids extérieurs de  $-20^{\circ}$   $-24^{\circ}$ , fréquents à cette hauteur pendant les mois de janvier, février et mars, comme on peut le voir dans les tables d'observations météorologiques du grand Saint-Bernard à 2.491 mètres ne pénètrent pas dans le glacier.

Température  
de l'intérieur  
d'un glacier.

Les glaciers sont stratifiés dans toute leur étendue, depuis les névés supérieurs jusqu'à leur talus terminal. Ils sont formés de couches superposées les unes aux autres qui se trahissent à la surface par des zones d'affleurement.

La stratification ne disparaît pas dans les endroits les plus crevassés et les plus bouleversés, elle persiste dans toutes les évolutions et les phases du glacier.

Chaque couche est séparée de celle qui lui est superposée par une ligne d'un blanc sale ou sombre qui provient d'un léger dépôt de sable ou de poussière interposé.

Les contours des affleurements décrivent à la surface des lignes qui se modifient suivant la marche du glacier. Dans la région supérieure, ces lignes sont à peu près transversales, puis elles décrivent une légère courbe dont le sommet est tourné en aval, ensuite cet arc devient de plus en plus prononcé et prend une forme ogivale. Ces formes arquées et ensuite ogivales sont le résultat du mouvement des différentes parties du glacier.

L'inclinaison des couches change également suivant le mouvement de translation. Dans la région supérieure les couches sont à peu près horizontales, puis elles se relèvent peu à peu pour devenir presque verticales vers le milieu du glacier, ensuite elles s'infléchissent insensiblement et redeviennent voisines de l'horizontale dans la région inférieure.

Suivant MM. Agassiz et Desor « le passage des couches horizontales ou peu inclinées du névé aux couches presque verticales de la région moyenne des glaciers s'effectue selon toute apparence par suite du mouvement accéléré des assises inférieures. Une fois redressées, elles s'inclinent de nouveau en avant par suite du retard occasionné par le frottement du fond. »

De la  
stratification.

Plusieurs observateurs pensent que chaque couche représente la somme des neiges d'une saison, cependant si l'on observe le phénomène de la chute de la neige pendant tout un hiver dans une région montagneuse, on reste bientôt convaincu qu'il n'en est point ainsi; chaque hiver donne lieu à plusieurs couches séparées distinctement les unes des autres. Ainsi après une chute abondante de neige, on la voit au bout de quelques jours se tasser, passer à l'état grenu, à l'état de névé, soit par une fonte partielle, soit simplement par l'effet de la pression qu'elle exerce sur elle-même; si le temps s'éclaircit elle ne tarde pas à se couvrir de corps étrangers de toute nature; les flotteurs légers d'origine végétale ou minérale suspendus dans l'air viennent se déposer à sa surface et ternir sa blancheur. Puis, lorsqu'une seconde chute arrive, le même phénomène se représente, cette dernière couche se trouve distincte de la précédente par une bande de couleur grise ou blanc sale.

Quelquefois les deux couches sont séparées par une lame mince de glace, qui provient d'une fusion partielle, suivie de congélation superficielle, d'un verglas, qui couvre la première couche.

Ailleurs les deux couches se distinguent sans qu'il y ait ni glace, ni corps étrangers interposé entre elles, mais elles sont dissemblables par leur différence de structure; l'une est composée de névé à gros grains et l'autre de névé très-fin, presque compacte, parce que la neige qui les a formées est tombée dans des conditions de température différente; comme nous l'avons vu précédemment, par une basse température de  $-8^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$ , ou  $-12^{\circ}$ , la neige tombe sous forme d'aiguilles excessivement fines qui lui donnent l'apparence d'une poudre farineuse, tandis qu'aux environs de la tempé-

rature de zéro, elle conserve sa forme floconneuse; ces différences de structure se retrouvent dans les couches successives de neige qui sont passées à l'état de névé et plus tard à l'état de glace, elles constituent ainsi une véritable stratification. J'ai souvent remarqué dans les mois d'avril et de mai, sur les sommets des Vosges, que les neiges de l'hiver précédent, rassemblées sur les revers des montagnes, présentaient constamment une série de couches stratifiées dont le nombre était souvent de dix à douze, quelquefois plus.

Dans les Alpes, dans les Pyrénées et dans la Sierra-Nevada, cette structure stratifiée quand elle n'est pas par trop oblitérée par la fonte, se retrouve dans les neiges des régions supérieures.

Les bandes bleues rubanées qu'on remarque à la surface et dans l'intérieur des glaciers, n'ont point de rapport avec la stratification proprement dite; elles proviennent de crevasses ou de fentes préalables qui se sont remplies d'eau et transformées ensuite en glace; elle n'est point celluleuse et fragmentaire comme la glace des glaciers, elle est identique à la glace d'eau ordinaire, ce qui lui donne cette teinte bleue qui la caractérise.

Des bandes bleues.

MM. Agassiz et Desor distinguent sept types de crevasses qui sillonnent la surface des glaciers :

Des crevasses.

1° Crevasses marginales, qui ne se trouvent guère que sur les côtés des grands glaciers;

2° Les crevasses en zig-zag, également propres aux régions riveraines;

3° Les crevasses médianes, qui se forment spontanément avec détonation au milieu du glacier;

4° Les crevasses d'escarpement, qui correspondent aux endroits les plus inclinés et donnent naissance aux aiguilles.

5° Les crevasses longitudinales, qui sont propres à l'extrémité des glaciers peu encaissés ;

6° Les grands caveaux des champs de neige qu'on rencontre dans les hautes régions, là où les pentes deviennent roides ;

7° Les rimayes (Bergschrund), qui sont à l'origine des pentes de neige.

Tous ces types sont le produit d'une même cause. d'une tension vaincue. Cette tension provient du mouvement différentiel dont le glacier est animé ; la pression exercée sur certains points n'étant pas en rapport avec la résistance des couches, elles se brisent et donnent naissance à des crevasses. Suivant l'observation de M. Guyot, les couches et les crevasses sont entre elles à angle droit.

Par suite de cette cause, les crevasses sont beaucoup plus nombreuses sur les points où les glaciers changent brusquement de régime ; par exemple, lorsqu'ils franchissent un escarpement à forte pente ; lorsqu'un promontoire de roche en place ou un accident du fond, fait obstacle au débit normal ; lorsqu'il existe un coude ou un changement brusque dans la direction de la vallée. On comprend que toutes les fois que la résistance due au frottement n'est pas également répartie, la pression s'exerçant avec plus d'énergie sur un point que sur un autre, le mouvement est troublé dans sa régularité, l'équilibre est rompu et les crevasses prennent naissance.

Suivant l'époque de l'année où on les examine, elles présentent un aspect tout différent ; au printemps elles sont peu développées, mais à mesure que la saison s'avance, la fonte superficielle faisant des progrès, elles s'élargissent, elles deviennent quelquefois des gouffres béants, leurs parois se transforment peu à peu en ai-

guilles ; dans cet état elles rendent l'exploration des glaciers souvent fort difficile et dangereuse.

Les différences de température qui peuvent exister entre les parties voisines de la surface et le centre ne paraissent pas devoir être une des causes agissantes dans la formation des crevasses, puisque ces différences sont renfermées dans les limites de quelques degrés.

D'après ce qui précède, on voit que les crevasses ne sont qu'un phénomène superficiel, elles ne jouent qu'un rôle secondaire ; elles ne paraissent pas avoir d'influence sur le mouvement ou l'économie générale des glaciers.

Indépendamment des crevasses, on remarque à la surface des glaciers quelques phénomènes superficiels que nous allons indiquer brièvement. Ainsi on y voit un grand nombre de *ruisseaux* qui s'y établissent pendant la saison d'été. Dans le courant d'une journée, à partir de dix heures du matin jusqu'au coucher du soleil, ils circulent bruyamment en suivant les pentes naturelles du glacier et finissent par s'engouffrer dans quelque crevasse. Pendant la nuit, la fonte superficielle venant à diminuer, le bruit cesse de se faire entendre, les ruisseaux tarissent momentanément pour recommencer à couler le lendemain. La température de leur eau est invariablement à zéro.

On y remarque aussi des *puits ou moulins* qui sont des trous verticaux formés par les ruisseaux, ils atteignent une grande profondeur et souvent un mètre et plus de diamètre. Quand ils sont à sec, on peut facilement, au moyen d'une échelle de corde, descendre dans ces puits et reconnaître ainsi la structure intérieure du glacier, on y voit, comme dans un puits de mine, la stratification et la direction des couches.

*Les trous méridiens et les baignoires* sont des accidents produits par la présence de quelque corps étran-

ger, ordinairement de petits amas de sable répandus sur la surface de la glace, surtout le *sable noir* provenant de la décomposition des schistes. Les rayons du soleil échauffant ces corps comme un morceau de drap noir sur de la neige, ils s'enfoncent peu à peu et donnent lieu à un trou de forme semi-ellipsoïdale, dont le petit axe est dirigé dans le sens du méridien et le grand axe dans la direction est-ouest : de là leur nom de trous méridiens.

*Les cônes graveleux* sont le résultat d'un effet contraire : lorsque ces amas de sable, de préférence le sable granitique *blanc*, ont été déposés par les ruisseaux sur quelque point de la surface, au lieu de s'enfoncer dans la glace, comme nous venons de le voir pour les trous méridiens, par l'effet de la chaleur solaire, ils la renvoient, au contraire, et garantissent la glace sous-jacente de toute fusion ; ils donnent lieu ainsi peu à peu à un cône qui atteint parfois 1 mètre et plus de hauteur.

On remarque encore à la surface des glaciers des *ravines*, des *falaises* et des *lacs*. Ces derniers sont situés d'ordinaire sur les flancs, entre la roche encaissante et le glacier dans les anses latérales. Les eaux des ruisseaux accumulées sur ces points ne trouvant pas d'issue, barrées qu'elles sont par le glacier, donnent naissance à un lac. Exemple : il en existe un dans ces conditions sur la rive gauche du glacier d'Aletsch, le lac Merjelen, à 2.350 mètres d'altitude. Ce lac a 1.500 mètres de longueur, 530 mètres de largeur ; sa profondeur moyenne est d'environ 7 à 8 mètres ; le tout formant ainsi un volume de 5.700.000 mètres cubes d'eau.

Il présente dans son régime un phénomène remarquable, il est intermittent, il se vide et se remplit alter-

nativement dans l'espace de quelques années. Le glacier d'Aletsch qui borde sa rive occidentale le barre par une falaise verticale de glace d'environ 10 mètres de hauteur. De temps en temps, de grands blocs s'en détachent ; ils viennent flotter à la surface du lac et présentent la forme caractéristique, analogue à un champignon, des glaces flottantes de la baie de Bell-Sound au Spitzberg. Quand la pression de l'eau l'emporte sur la résistance des parois de glace, le lac se vide tout à coup, il se fraie un passage sous le glacier, il en résulte une inondation désastreuse dans la vallée du Rhône qui se fait sentir particulièrement dans les environs de Viège. Trois millions de mètres cubes ajoutés subitement aux eaux du Rhône rendent alors son voisinage dangereux. Quand j'explorais ce lac, le 28 août 1848, il était couvert de glaces flottantes ; l'année suivante, le 18 août, il venait de se vider ; les blocs de glace gisant sur le sol n'étaient pas encore complètement fondus.

Ce phénomène, de la naissance d'un lac par le barrage d'un glacier, est du reste assez fréquent dans les Hautes-Alpes.

Cette eau provient de trois origines différentes :

- 1° De la fonte superficielle ou ablation ;
- 2° Des pluies ;
- 3° De la condensation des vapeurs atmosphériques.

La fonte superficielle, qui a été désignée sous le nom d'*ablation* par M. Agassiz, est le résultat combiné des causes atmosphériques ; elle varie ou cesse tout à fait, suivant les saisons, la température extérieure et l'état du ciel. Toutes choses égales d'ailleurs, l'ablation ou la quantité de glace fondue dans un temps donné sur un point quelconque du glacier est en raison inverse de l'altitude. On conçoit que plus on s'élève, plus les élé-

De l'eau  
des glaciers.

ments dissolvants tels que la température diminuent d'intensité; plus on descend, plus ils augmentent.

Dans la partie moyenne du glacier de l'Aar, l'ablation annuelle est de 5 mètres à 5<sup>m</sup>,5 par an. Dans le mois d'août seul, il y a environ 1 mètre d'ablation, parce que le glacier est complètement dégarui de neige sur ce point; en hiver, quand il en est couvert, l'ablation est nulle.

Dans les hautes régions, l'ablation est beaucoup plus faible; à 3.000 mètres environ, la quantité de neige tombée, tassée, passée à l'état de névé ou de glace de névé, est plus forte, année moyenne, que la quantité qui est enlevée par l'ablation.

Indépendamment d'une température plus basse qui régné à cette hauteur, à conditions égales, le soleil fond plus de glace que de neige dans un temps donné; les expériences de M. Ch. Martins sur le glacier du Faulhorn, à 2.603 mètres, lui ont donné à cet égard les chiffres suivants:

Fusion moyenne de la neige. . 30<sup>mm</sup> par jour, au mois d'août.  
Fusion de la glace du glacier. . 38<sup>mm</sup> par jour, au mois d'août.

Il en résulte que si les sommets des Alpes étaient couverts de glace au lieu de neige, l'ablation moyenne serait de 26 p. 100 plus forte.

Les corps étrangers qui se trouvent à la surface d'un glacier, les moraines entre autres, formées de blocs de roche, de gravier, de sable, empêchent l'ablation de s'exercer avec toute son énergie, ils donnent lieu à de grandes inégalités de la surface.

Les eaux provenant des pluies et de la condensation de la vapeur atmosphérique, en pénétrant dans l'intérieur du glacier, contribuent pour leur part, mais dans une proportion beaucoup plus faible que la fonte, à l'entretien du magasin d'eau intérieur. M. Agassiz com-

pare un glacier à une immense éponge qui se sature et s'égoutte alternativement, suivant la quantité d'eau qui lui est dévolue, quantité qui dépend du plus ou moins d'activité des causes que nous venons d'énumérer. Cette eau circule dans l'intérieur par l'intermédiaire des mille canaux des fissures capillaires, elle arrive enfin à former un torrent qui s'échappe de la partie inférieure. En été, le glacier ne s'égoutte pas complètement, il retient l'eau dans ses pores, il en règle ainsi le débit comme un réservoir.

En hiver, il en est autrement, il n'y a plus de fonte, plus de pluie, plus de condensation; les torrents tarissent, et l'extrémité inférieure des glaciers est complètement à sec. M. Desor a cependant observé quelquefois des filets d'eau ou des ruisseaux limpides qui s'échappent en hiver de dessous les glaciers, mais il attribue leur existence au produit des sources.

Au mois d'août 1844 l'écoulement a été en rapport avec les variations atmosphériques; on a remarqué toutefois qu'elles ne se font sentir qu'au bout de quelques jours sur le volume de l'eau.

Ainsi, par le beau temps, lorsque l'ablation est très-active, le glacier a fourni à l'Aar un maximum de 2.000.000 de mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures. Par un temps de pluie, de brouillards ou de neige, le débit est successivement tombé à 1.500.000, puis à 680.000, pour arriver à un minimum de 328.000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Les expériences répétées en 1845 ont produit le même résultat; le maximum du débit a été, par le beau temps, de 2.100.000 mètres cubes par jour, et le minimum, par le mauvais temps, de 780.000 mètres cubes.

Tous les torrents qui s'échappent des glaciers se distinguent facilement par la couleur de leurs eaux qui est

Debit de l'Aar à sa sortie du glacier, au mois d'août 1854 et au mois de juillet 1845. Expériences de M. Dollfus.

De la couleur des eaux des glaciers.

caractéristique : elle n'est jamais limpide comme celle des sources, elle est chargée de sédiments provenant de l'usure des roches par le frottement du glacier.

Quand un glacier marche sur un fond de roches granitiques, les eaux qui en proviennent sont blanches et laiteuses comme celles du glacier du Rhône, des glaciers de Chamounix, etc. Quand cette roche est serpentineuse et diallagique, les eaux ont une teinte verte, comme celles des glaciers de la vallée de Zermatt. Quand le glacier marche sur des schistes noirs comme ceux du revers méridional du mont Cervin, les eaux qui en sortent sont noires et boueuses.

Ainsi la couleur des eaux d'un glacier est en rapport direct avec la couleur des roches sur lesquelles il marche.

Cette couleur n'a pas la teinte bleue ou verte de l'eau des lacs, ni sa limpidité, comme quelques auteurs l'ont supposé, cette limpidité ne pourrait exister que si les glaciers étaient frappés d'immobilité, mais comme leur marche est continue, incessante, ainsi que la pression qu'ils exercent sur les roches, ils en détachent sans cesse des fragments sédimentaires qui donnent lieu à de véritables boues liquides; ces boues sont entraînées par les mille canaux des eaux provenant de la fonte, elles se réunissent et se mêlent au pied du talus terminal au torrent qui s'en échappe. Elles prennent donc la même couleur que celle des boues en suspension, qui elles-mêmes l'empruntent aux roches d'où elles proviennent.

Au mois d'août 1854, M. Dollfus a filtré à travers du papier Joseph 16 litres d'eau prise à quelques mètres en aval de la voûte du glacier; le résidu, en poudre excessivement fine, séché, a pesé 2<sup>gr</sup>. 275. Ces 16 litres ont été recueillis de trois heures en trois heures dans

Quantité  
de sédiment  
en suspension  
dans l'eau  
de l'Aar à la sortie  
du glacier.

l'espace de vingt quatre heures, à la partie supérieure du torrent dans un moment où il débitait 2.000.000 de mètres cubes par jour.

1<sup>re</sup> renfermait donc en moyenne. . . . 142<sup>gr</sup>, 187 de sédiment,  
2.000.000 renfermait donc en moyenne 284.574 kilogrammes,  
soit un peu plus de 284 tonnes de sédiment en 24 heures.

Dans quelques vallées du Valais ces eaux ainsi chargées de sédiment sont utilisées avec grand profit pour l'irrigation des prairies, mais à la condition que ces prairies soient situées à quelques kilomètres en aval, si elles sont trop rapprochées du glacier, les eaux qui en sortent, étant à la température de zéro degrés, sont trop froides pour être bien fertilisantes, il faut les envoyer au loin pour leur laisser le temps de se réchauffer.

Tous les glaciers ont un mouvement de translation qui les porte d'amont en aval vers les régions inférieures.

Du mouvement  
de translation.

Ce mouvement n'est pas uniforme dans toutes leurs parties, il est soumis à de nombreuses variations, soit locales, soit périodiques.

Ainsi, les différentes stations d'un même glacier sont, comme on le remarque dans un cours d'eau, animées de vitesses très-différentes. Le principe moteur résidant dans la pesanteur ou gravité, combinée avec les pentes et les masses, il en résulte que la *vitesse maxima*, acquise par un point quelconque du glacier, est placée sur son axe longitudinal, vers le lieu où l'épaisseur et la pente sont les plus fortes. La *vitesse minima* est répartie sur différents points, d'abord à l'extrémité inférieure où la masse se réduit à peu de chose, puis vers les bords latéraux où les glaciers s'amincissent beaucoup, et où la résistance due au frottement est très-énergique; dans les régions supérieures, le mouvement de translation est

comparativement très-faible, quoique les pentes soient fortes, parce que l'épaisseur ou la masse y est aussi relativement peu puissante.

En partant de ces principes généraux qui rentrent dans les lois ordinaires de la dynamique, nous allons voir que le résultat des expériences qui ont été faites sur quelques glaciers de premier ordre et de second ordre, y trouvent leur application ou leur raison d'être.

Parmi un grand nombre de mesures prises au glacier de l'Aar par MM. Agassiz et Desor, nous choisirons les résultats suivants, donnant la mesure de l'avancement dans le *sens longitudinal*, sur des points de la partie médiane correspondants au *thalweg* d'un cours d'eau et sur une longueur de 8 kilomètres environ. Ces points indiqués par des numéros d'ordre ont avancé dans une année, d'après une moyenne de quatre ans.

Le n° 1	de	<sup>m.</sup> 38,16
Le n° 2	de	74,36
Le n° 5	de	77,01
Le n° 8	de	67,55
Le n° 10	de	70,69
Le n° 11	de	56,47
Le n° 15	de	38,66
Le n° 17	de	29,51

Jusqu'au n° 5 le mouvement va en s'accélégrant, il est de 77 mètres, puis il diminue insensiblement jusqu'au n° 17, point qui n'est pas très-éloigné du talus terminal où il se réduit à 29 mètres par an.

Le mouvement dans le *sens transversal* a aussi été l'objet d'expériences très-précises. En alignant une série de pieux sur une droite tirée au travers du glacier, ces pieux reliés par une ligne idéale ne tardent pas à décrire une courbe dont le sommet va en s'allongeant de plus en plus à partir du centre. La moyenne de l'avancement annuel, prise sur une des nombreuses séries

faites au glacier de l'Aar, donne les chiffres suivants :

Nombre de mètres : 5, 20, 48, 55, 62, 64, 67, 69, 70, 68, 64, 54, 47, 59, 21, 11, 1.

Cette série de chiffres correspond à autant de pieux placés d'un bord du glacier à l'autre, sur une ligne ou il a environ 1.350 mètres de largeur. Les premiers et les derniers chiffres de la série donnent le mouvement annuel des rives latérales, ce sont les plus faibles. Les chiffres 69, 70, 71, indiquent le mouvement annuel de la partie médiane du *thalweg*, comme nous venons de le dire.

Au glacier du Rhône, M. Desor a mesuré par la même méthode, le mouvement longitudinal de deux stations éloignées l'une de l'autre d'environ un kilomètre, placées sur la ligne du *thalweg*. Il a trouvé la progression suivante dans l'intervalle de 51 jours :

A la station supérieure, 8<sup>m</sup>,21, soit environ 96<sup>m</sup> par an.

A la station inférieure, 6<sup>m</sup>,18, soit environ 75<sup>m</sup> par an.

Les expériences précises faites pour le même objet par M. J.-D. Forbes aux glaciers de la mer de glace de Chamounix, ont produit des résultats identiques. Dans le *sens longitudinal*, ces glaciers marchent avec une vitesse maxima sur les points où la masse est la plus puissante. Dans les parties supérieures, le mouvement se ralentit aussi bien que dans les parties inférieures, en raison de leur moindre épaisseur. Puis, dans le *sens transversal*, M. Forbes est arrivé aux mêmes conclusions, c'est-à-dire qu'un glacier, dans son mouvement de translation, présentait la plus grande analogie avec une rivière dont le mouvement est plus rapide au centre que sur les bords.

La somme du mouvement annuel du glacier des Bois paraît être plus forte que celle du glacier de l'Aar.

M. Forbes a mesuré l'avancement d'un bloc de roche sur la mer de glace, en face du Montanvert, sur la partie latérale; il trouve, pour la moyenne de l'année, 147 mètres environ. Le mouvement du centre étant au moins de  $\frac{2}{5}$  plus grand donnerait le chiffre de 205 mètres, ce qui indique une vitesse presque trois fois plus forte que celle observée au glacier de l'Aar.

Les glaciers de second ordre ont aussi été expérimentés dans le même but. Sur le glacier de Grünberg, dont la pente est de  $31$  à  $34^\circ$ , M. Desor a trouvé un avancement annuel moyen d'environ 18 mètres. Sur celui de Zinkenstock, dont la pente moyenne est de  $30^\circ$ , et qui atteint sur certains points  $50^\circ$ , M. Desor a trouvé un avancement annuel d'environ 22 mètres. Il a également remarqué que les bords de ces glaciers marchaient plus lentement que le milieu.

On voit que les glaciers de second ordre qui se meuvent sur des pentes très-fortes, ont néanmoins une somme d'avancement beaucoup plus faible que celle des grands glaciers, parce que leur masse ou leur épaisseur est beaucoup plus faible.

Les chiffres qui précèdent représentent une moyenne annuelle, mais les observateurs que nous venons de citer ont remarqué que l'avancement n'était pas le même à toutes les époques de l'année, ils ont été conduits à cet égard par l'expérience aux conclusions suivantes :

« Que le mouvement des glaciers subit des oscillations régulières.

Qu'il atteint son maximum de vitesse au printemps et au commencement de l'été, époque à laquelle il excède de beaucoup la moyenne annuelle.

Qu'il se ralentit insensiblement à l'approche de l'hiver, époque à laquelle il tombe au-dessous de la

moyenne, pour se relever de nouveau vers la fin de l'hiver ou à l'approche du printemps. »

On a cru pendant longtemps que les glaciers étaient frappés d'immobilité pendant l'hiver, mais des observations faites d'abord au glacier de Grindelwald, puis à celui de l'Aar inférieur et à celui des bois, il résulte que leur mouvement de translation n'est point interrompu, il est seulement ralenti; MM. Desor et Dollfus résument leurs expériences faites en hiver à la station de l'hôtel des Neuchâtelois, par les chiffres suivants, comparés et répartis sur toute une année, 1845-46.

		Mouvement diurne moyen.	Mouvement diurne qui correspondrait à un avancement annuel de
Du 21 juillet	au 23 septembre.	0,2085	76,10
Du 23 septembre	au 11 janvier. . .	0,1597	58,29
Du 11 janvier	au 17 avril. . . . .	0,2281	83,25
Du 17 avril	au 29 juin. . . . .	0,3410	124,46

M. Desor a aussi observé que les glaciers avaient non-seulement un mouvement longitudinal, d'amont en aval dont nous venons de parler, mais encore qu'ils étaient animés d'un mouvement transversal qui tend à déverser les glaces du thalweg sur les deux rives, et un troisième mouvement qui tend à exhausser ces mêmes parties latérales. D'après des expériences faites au glacier de l'Aar, sur un point donné près du bord, on trouve les proportions suivantes entre ces trois mouvements.

Le mouvement longitudinal étant 18,

Le mouvement transversal est 10

Et le mouvement de hausse est 6.

A leur talus terminal, la progression des glaciers est soumise à deux influences contraires. D'une part le mouvement continu des masses supérieures doit faire tendre à un envahissement continu aussi de leur extrémité inférieure. Mais d'autre part, cette progression est arrêtée

par la fusion de la glace provenant de la température du milieu ambiant.

Ces deux forces, l'une de propulsion, l'autre de fusion, ne sont pas, dans la nature, dans un état d'équilibre parfait. Il y a des années où l'une des deux forces l'emporte sur l'autre; ainsi dans les années froides et humides de 1816 et 1817 on a remarqué que tous les glaciers des Alpes ont eu un avancement extraordinaire, parce que la quantité de neige tombée dans les hautes régions, c'est-à-dire l'alimentation a été surabondante, elle l'a emporté sur la fusion, il en est résulté un envahissement remarquable de la partie inférieure des glaciers. Dans les années chaudes et sèches, c'est la fusion qui l'emporte sur l'alimentation, le front des glaciers recule.

Ainsi, par les lois de la dynamique qui s'appliquent à tous les corps en mouvement, les glaciers, en vertu de leur poids, avancent constamment dans les régions inférieures, avec une vitesse résultant de la combinaison des masses ou de l'épaisseur des sections avec les pentes et la structure plastique du solide en mouvement. Arrivés au talus terminal ces forces expirent pour ainsi dire en présence d'un nouvel élément, la force dissolvante du milieu qui résout définitivement le glacier en eau.

D'après cela on voit qu'un glacier n'est pas composé d'une masse homogène de glace, semblable à celle d'une rivière ou d'un lac, qui subirait sur un plan incliné un mouvement de translation uniforme d'un point à un autre. On vient de voir que toutes les parties d'un glacier sont animées d'un mouvement différentiel, les bords et les extrémités marchent plus lentement que le centre. Dans cette faculté qu'il possède de se déplacer proportionnellement aux masses et aux pentes, comme un cours d'eau dans un chenal, la structure intime in-

tervient comme élément important. Il est composé d'une infinité de petits fragments qu'on pourrait presque appeler moléculaires, ils sont mobiles les uns par rapport aux autres, comme une masse pâteuse semi-fluide, ils se moulent et se plient à tous les caprices du sol; aussi l'expression de *masse plastique* adoptée par M. Forbes rend exactement cette propriété remarquable des glaciers.

Ce serait le cas de faire remarquer ici que dans ce moment presque tous les glaciers des Alpes, à ma connaissance, sont en voie de progression; je n'en connais qu'un, celui de Finelen dans la vallée de Zermatt, qui paraît être stationnaire; les autres glaciers de cette vallée, celui de Görner entre autres, avance rapidement, il pénètre dans des champs cultivés, il atteint des chalets dont la construction remonte à plus de trois siècles; celui de Zimutt est dans le même cas, il ravage une forêt de mélèzes d'une haute antiquité, il renverse de ces arbres par milliers. Le glacier d'Aletsch par son mouvement de progression, attaque et détruit sur ses deux rives près de son extrémité inférieure, de grandes quantités de bois de sapin et de mélèze.

Le glacier du Rhône est en voie de progression, il démolit et nivelle le terrain occupé par une ancienne moraine.

Les deux glaciers de l'Aar, ceux de Grindelwald et plusieurs autres, sont dans le même cas.

D'après les observations que j'ai entendu faire à M. Babinet, sur le voyage du prince Napoléon, les glaciers du Groenland, ceux de la côte du Labrador, ceux du Spitzberg, sont comme ceux des Alpes en voie de progression formidable.

Ainsi en moyenne l'équilibre n'existe pas, l'alimentation l'emporte sur la fusion.

De la progression  
séculaire  
des glaciers.

Cet envahissement des glaciers qui date au moins de trois ou quatre siècles, a-t-il pour cause un changement dans le climat, un abaissement général et moyen de la température de la contrée ? ou bien le résultat annuel restant le même, la moyenne d'hiver est-elle plus haute et la moyenne d'été plus basse ? En d'autres termes tombe-t-il plus de neige maintenant ? ou le Soleil en fond-il moins dans un temps donné sur un point du globe qu'il y a trois ou quatre siècles ? Notre hémisphère se trouve-t-il enveloppé dans une période de refroidissements à longue échéance ?

Des moraines.

« Les agents atmosphériques (dit M. Agassiz), la chute des avalanches, le mouvement même du glacier, détachent constamment des parois de la vallée, des fragments de rocher qui roulent à sa surface et forment sur les bords des amas en forme de remparts qu'on désigne sous le nom de *moraines* et qui marchent avec le glacier, le bordent dans tout son pourtour.

» On distingue trois sortes de moraines :

1° *Moraines latérales* ;

2° *Moraines médianes* ;

3° *Moraines terminales ou frontales*.

» Aussi longtemps qu'un glacier est simple, il n'a que des moraines latérales et frontales, mais si deux glaciers ayant chacun leur moraine latérale, se rencontrent dans un lit commun, la moraine latérale de droite de l'un se combine avec la moraine latérale gauche de l'autre, et de leur réunion naît une *moraine médiane* qui reste au milieu du glacier. Si un troisième et un quatrième glacier viennent affluer dans le même lit, la même combinaison se répète et il se forme une seconde, une troisième moraine médiane et ainsi de suite. On peut par ce moyen toujours savoir de combien d'af-

fluents un glacier est composé, puisque leur nombre est égal à celui des moraines plus un. »

Les moraines peuvent être envisagées comme le répertoire de toutes les roches qui existent dans le bassin du glacier.

Aux trois moraines précédentes nous en ajouterons une quatrième, la *moraine profonde* observée par M. Martins; elle se compose de sable, de gravier, de fragments arrondis et surtout de boue, qui se trouvent entre le glacier et les parois encaissantes.

Les moraines suivent dans tout son parcours la marche du glacier d'où elles proviennent, elles ne se confondent point et ne passent pas d'une rive à l'autre. Conformément à la vitesse de la marche, elles se tassent ou s'étalent en éventail. Si, lors de la réunion de deux glaciers, l'un est beaucoup plus puissant que l'autre, les moraines du glacier le plus faible sont refoulées et rejetées contre les flancs de son glacier, elles s'engouffrent entre la roche encaissante et deviennent par là des moraines profondes; elles reparaisent à l'issue du glacier mutilées, broyées et passées en partie à l'état de boue. On voit ainsi de grands glaciers dont les moraines superficielles disparaissent peu à peu et qui en sont totalement dépourvus à leur talus terminal.

Il en résulte aussi que les matériaux qui composent les moraines frontales sont de deux sortes, les uns sont *fortement arrondis et usés*, les autres sont dans l'état où ils étaient lorsqu'ils se sont détachés des montagnes, ils restent intacts *avec des angles et des arêtes vives*. Les premiers sont ceux qui ont fait partie d'une moraine profonde, ils sont usés comme s'ils eussent fait un long trajet dans un cours d'eau, avec cette différence caractéristique qu'on trouve ordinairement leur surface sillonnée d'une multitude de fines stries qui s'entre-

croisent dans tous les sens, de là le nom que M. Agassiz leur a donné de *galels striés*.

Les seconds sont les fragments de roches, souvent très-volumineux qui sont restés sur toute la ligne de leur parcours à la surface même du glacier; ce mode de transport les a préservés de tout frottement, de toute usure, ils arrivent ainsi successivement au talus terminal avec toute l'intégrité de leurs formes primitives.

*Les moraines frontales ne sont pas stratifiées*, elles sont formées de sable, de boue, de graviers, de cailloux et de blocs, disposés sans ordre, on y voit de gros blocs, qui atteignent parfois plusieurs centaines de mètres cubes, reposer sur une masse de sable ou de gravier; on y remarque aussi des cavités intérieures: leur mode de formation explique du reste cette disposition qui n'a point d'analogie dans les autres dépôts sédimentaires formés à la surface de la terre.

*Les moraines stratifiées* sont celles qui se forment avec le concours de l'eau. Par exemple lorsqu'un glacier qui porte sur son dos des moraines, vient se terminer dans un lac; ou lorsqu'un lac existe sur les flancs d'un glacier; les moraines latérales viennent s'y précipiter. L'intervention de l'eau, soit de ces lacs, soit des cours d'eau, vient remanier les matériaux et les disposer en lits stratifiés.

*Les tables de glaciers* ont la même origine que les moraines, ce sont des blocs détachés des montagnes et lancés à la surface des glaciers, le soleil fond la glace tout autour du bloc, tandis que celui-ci préserve la portion sous-jacente qui peu à peu lui forme un piédestal. On en remarque dont le support atteint jusqu'à deux mètres de hauteur. Ces tables participent comme les moraines à tous les mouvements du glacier, néanmoins leur marche est un peu plus compliquée, elle se

compose de deux éléments: 1° du mouvement général du glacier; 2° du mouvement propre du bloc. Celui-ci lorsqu'il n'est plus suffisamment soutenu par son piédestal, tombe sur le glacier, pour se relever de nouveau et ainsi de suite. Sa chute a lieu de préférence dans le sens du midi, puisque c'est de ce côté qu'il est le plus exposé à l'action du soleil. Ainsi un bloc-table, peut, de chute en chute, se trouver transporté au bout d'un certain nombre d'années sur un point du glacier situé en dehors du mouvement normal accusé par la ligne des moraines.

On comprend que lorsque le talus terminal d'un glacier est en voie de progression, sa moraine frontale soit soumise à des dégradations, des dislocations qui lui font perdre son caractère primitif. Le glacier alors pousse, déblaye et tend à niveler le terrain sur lequel il passe. Si, au contraire, le glacier est en voie de retraite, sa moraine frontale reste intacte sur le point où elle a été déposée; si la retraite du glacier s'opère par stations successives, on remarque en avant du glacier une série de moraines échelonnées parallèlement les unes à la suite des autres.

Il en est de même quant aux moraines latérales; lorsque la surface du glacier tend à s'abaisser; de superficielles qu'elles étaient, lorsqu'elles reposaient sur le glacier, par son mouvement d'abaissement, elles abandonnent cette surface et viennent se déposer horizontalement sur le flanc des montagnes.

Suivant M. Agassiz « les glaciers exercent aussi une action continue et très-marquée sur les flancs et le fond des vallées qui les encaissent. Ils les nivellent par le frottement et en arrondissent les angles et les grandes inégalités; souvent ils les polissent aussi parfaitement que pourrait le faire la main du marbrier, coupant les

Des roches  
polies et striées.

corps fossiles et les concrétions qui s'y rencontrent et exercent leur influence sur la tranche des couches aussi bien que sur leurs plans. En même temps les particules les plus dures de la couche de boue, entre autres les petits cristaux de quartz agissent comme un émeri sur le rocher que le glacier recouvre et gravent sur les surfaces polies une multitude de *stries rectilignes*, plus ou moins fines et sensiblement parallèles entre elles. Ces stries sont absolument indépendantes de la structure de la roche, ainsi que du clivage et de la stratification; elles suivent, au contraire, toujours la direction que les formes du terrain ont dû imprimer aux glaces. »

*Les galets striés* sont produits par la même cause, par les fragments de roche dure, de quartz, par exemple, enchassés dans la glace et faisant l'office de burin, mais les galets étant mobiles dans la moraine profonde, on les trouve couverts de stries qui se croisent dans tous les sens, tandis que la roche en place étant exposée à un frottement continu dans le même sens, n'offre, en général, que des stries rectilignes.

M. Agassiz ajoute « que les moraines, les roches polies et striées et les galets striés, ne se rencontrent pas seulement dans le domaine des glaciers actuels, on les retrouve dans une foule de localités où, de mémoire d'homme, on ne se souvient pas d'avoir vu des glaciers. »

Les roches polies et les galets striés nous permettent de suivre, comme à la piste, les anciens glaciers jusqu'en des lieux où on ne les aurait jamais soupçonnés. Les galets striés surtout peuvent être considérés comme des fossiles caractéristiques des terrains sur lesquels les glaciers ont exercé leur action.

Les plus beaux exemples de roches striées et polies se trouvent en Scandinavie et dans les Alpes aux envi-

rons du glacier de l'Aar; la protogine des Alpes, avec les nombreux filets de quartz qui la traversent, y prend par le frottement du glacier un poli qui devient parfois brillant comme un miroir. Les roches diallagiques et amphiboliques qui se trouvent dans les environs des glaciers de la vallée de Zermatt offrent aussi de très-beaux exemples de cette espèce de poli.

Les roches calcaires qui entourent en partie le glacier de Rosenlauri n'ayant pas la même dureté, ni la même résistance à l'action du glacier, ne se polissent pas au même degré, mais elles se couvrent de stries rectilignes très-nettes et très-bien burinées.

Les galets striés ne se rencontrent pas indifféremment sur toutes les moraines frontales; lorsqu'un glacier, par exemple, est encaissé dans tout son parcours par des roches d'une seule espèce, comme du granite ou de la protogine, les galets et les fragments de roche de la moraine profonde seront simplement usés et arrondis comme des galets de rivière; ils ne seront pas striés, parce que le frottement du granite sur du granite est susceptible de polir, mais non pas de buriner les surfaces.

Si un glacier, au contraire, est encaissé dans des parois de montagnes dont la composition géologique est variée, soit moitié calcaire, moitié granitique, il y aura grande chance pour que les galets striés y soient abondants; parce que les sables et les fragments de granite agissant sur le calcaire à la manière du burin y produiront des stries. On trouve de très-beaux exemples de galets de serpentine striés au pied des glaciers situés entre le mont Cervin et le mont Rose.

Nous citerons un troisième exemple, pris également dans les Alpes et dont il faut tenir compte, c'est celui où un glacier se meut dans des montagnes entièrement

formées de roches feuilletées, argileuses, talqueuses ou micacées d'une consistance tendre et friable, comme c'est assez fréquemment le cas dans cette chaîne. On comprend alors que le phénomène des roches polies et des galets striés, quelle que soit la puissance des glaciers, ne puisse pas s'y exercer; les fragments de cette espèce de roche triturée par le glacier sont alors transformés en menus débris, en boue, que les eaux emportent avec facilité.

L'expérience nous a démontré aussi que lorsque les galets striés sont soumis à l'action d'un courant d'eau pendant quelque temps, les stries s'effacent peu à peu de leur surface et ils reprennent l'aspect mat et uni des galets de la mer ou des galets de rivière.

Conclusions.

Nous avons vu que les glaciers de premier ordre et ceux de second ordre pouvaient se définir par une *masse de glace douée d'un mouvement régulier de translation*. Que ceux de premier ordre avaient un volume considérable, c'est-à-dire au minimum, quelques kilomètres de longueur et quelques centaines de mètres d'épaisseur, soit une masse de plusieurs milliards de mètres cubes. Ceux de second ordre possédant les mêmes propriétés, mais dans des proportions réduites;

Pour leur formation, il faut que les conditions climatologiques soient telles, que la quantité de neige tombée dans un temps donné, un an, ou une série d'années, par exemple, soit supérieure à celle que les agents extérieurs sont susceptibles de fondre dans le même temps;

Que la différence entre la quantité tombée et la quantité fondue, ajoutée à elle-même d'années en années, forme le germe, le noyau primitif, l'*embryon* des glaciers. Ces conditions se trouvant réalisées dans les Alpes à la hauteur de 2.700 mètres environ et au-dessus; au Spitzberg, à la hauteur de 0<sup>m</sup>;

Un relief orographique formé de un ou plusieurs cirques étant nécessaire pour permettre aux neiges de s'accumuler sur un point aux dépens des lieux voisins qui en sont dépouillés;

La direction du vent ayant une influence prépondérante sur le remplissage ou le comblement de ces cirques;

Que la matière première des glaciers, la neige, perdait bien vite par une fusion incomplète ou la pression, son caractère floconneux et passait par une transition insensible, d'abord à l'état de névé, ensuite de glace bulleuse pour arriver en définitive à l'état de glace compacte;

Que la structure de cette glace a des caractères spécifiques qui la distinguent de la glace d'eau ordinaire, en ce qu'elle est composée d'une infinité de petits fragments polyédriques séparés les uns des autres par des fissures capillaires qui leur permettent de jouer ou de se mouvoir dans tous les sens, chaque fragment pris isolément pouvant à la rigueur être considéré comme la molécule élémentaire dont la masse est formée;

Que la pente de la surface des glaciers de premier ordre variait sur certains points, depuis une inclinaison très-voisine de l'horizontale, jusqu'à celle qui se rapproche de la verticale;

Que la température de l'intérieur des glaciers ne descend pas au delà de — 2° dans le voisinage de la surface et qu'à des profondeurs plus grandes, cette température se maintient constamment très-près de 0°;

Que les glaciers sont stratifiés comme un terrain formé de dépôts superposés les uns aux autres, avec cette différence que le mouvement imprimé aux glaciers donne aux couches qui les composent une forme et une inclinaison en rapport avec ce mouvement. Dans la par-

tie supérieure les couches sont horizontales, puis elles se relèvent en se rapprochant de la verticale vers les parties moyennes pour s'incliner de nouveau horizontalement à la partie terminale. Les bandes bleues formées de glace d'eau ne jouant dans la stratification qu'un rôle secondaire.

Nous avons vu aussi que plusieurs autres accidents secondaires se manifestaient à la surface des glaciers, tels que des crevasses, des ruisseaux, des lacs, des trous méridiens, des cônes de gravier, etc. ;

Que l'ablation était en rapport direct avec l'état de l'atmosphère et proportionnelle à l'altitude. Dans les Alpes, à 2.500 mètres d'altitude environ, elle est, terme moyen, de 3 à 3<sup>m</sup>,5 par an; le résultat principal de cette fonte, l'eau qui s'échappe de la voûte des glaciers étant chargée d'une masse considérable de sédiment ;

Quant au mouvement de translation nous avons vu qu'il se manifeste d'une façon très-inégale, suivant le point que l'on considère à la surface, semblable à celui d'un cours d'eau, il est plus accéléré au centre que sur les bords. Dans le sens de la longueur, à partir d'un point maximum qui correspond à la plus grande épaisseur, il va, en aval, en se ralentissant jusqu'au talus terminal, et en amont il se ralentit également jusqu'aux champs de neige supérieurs. Il faut donc en chercher la cause, d'abord dans la gravité, puis dans la masse et dans la pente combinées avec la structure particulière de la glace, structure qui lui communique les propriétés d'une masse plastique semi-fluide ;

Que la partie terminale des glaciers peut prendre trois positions différentes : 1° en voie d'envahissement ; 2° ou stationnaire ; 3° ou en voie de retraite. Elle est soumise à deux influences qui luttent dans un sens

contraire ; l'une, l'alimentation, c'est-à-dire les neiges qui tombent dans les régions supérieures ; l'autre, la fusion dépendant de la température ambiante des régions inférieures, influences qui sont la cause des oscillations des glaciers ;

Qu'ils ont la propriété de transporter des masses considérables de matériaux arrachés aux montagnes encaissantes, débris rocheux connus sous le nom de moraines. De superficielles ou profondes qu'elles sont d'abord pendant la période de leur transport, qui s'effectue par un mécanisme et suivant des lois en rapport avec le mouvement du glacier, ces moraines, à moins de circonstances exceptionnelles, se réunissent toutes sur un point donné, sur le talus terminal et passent définitivement à l'état de moraines frontales.

Ils ont aussi pour mission de niveler, de dresser le sol, d'user, de polir, de buriner les roches en place, de rayer les galets mobiles qui se trouvent sur leur passage et de transporter dans leurs torrents des quantités considérables de sédiment.

Au point de vue géologique l'action des glaciers se manifeste donc sur la croûte terrestre de trois manières différentes et *simultanées*.

1° En transportant des matériaux d'un fort volume et en même temps des menus débris, d'un point à un autre, dans des conditions et par un mode différent de tous les autres moyens de transport naturels connus ;

2° En procédant, dans le même temps, au nivellement du terrain en dressant sa surface, en faisant subir aux roches de contact, soit en place, soit mobiles, un polissage et une usure particulière ;

3° En donnant lieu par leur frottement continu à une masse notable de sédiments fins, de boues, qui par leur structure très-divisée, ne restent pas en place, mais

sont entraînés au loin par les torrents et les fleuves et forment des dépôts d'origine glaciaire à de grandes distances de leur point de départ.

Nous dirons, en terminant, que les glaciers jouent dans la nature un rôle de compensation; ils contribuent pour leur part à l'équilibre des forces naturelles. Comme un réservoir, ils règlent le débit des provisions de neige accumulées dans les régions supérieures. La basse température moyenne qui règne dans ces lieux n'étant pas suffisante pour les débarrasser de leur excédant, les glaciers sont chargés par la nature d'en opérer le transport sous forme de glace; ils la conduisent peu à peu dans un climat plus doux, où la chaleur du soleil la résout définitivement en eau.

---

## ESSAI DE PÉTROLOGIE COMPARÉE

OU RECHERCHES SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE  
DES ROCHES IGNÉES, SUR LES PHÉNOMÈNES DE LEUR ÉMISSION  
ET SUR LEUR CLASSIFICATION.

Par M. J. DUROCHER,

Ingénieur des mines, professeur à la Faculté des sciences de Rennes.

---

Ce travail offre les résultats sommaires d'un ensemble de recherches auxquelles je me livre depuis longtemps sur les roches ignées, et qui ne sont point encore arrivées à leur dernier terme; néanmoins une partie a déjà paru dans divers recueils, savoir les *Voyages en Scandinavie* (1), les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (t. XX, p. 1277, t. XXIII, p. 978; t. XXV, p. 208, et t. XLIV, p. 325, 459, etc.), le *Bulletin de la société géologique* (2<sup>e</sup> série, t. IV, p. 409, 1018, et t. VII, p. 276) et les mémoires de la même société (2<sup>e</sup> série, t. VI, 1<sup>re</sup> partie). Depuis plusieurs années, les roches éruptives ont été l'objet d'importantes études, tant en France qu'en Allemagne; mais elles n'ont donné lieu qu'à des travaux de détails, où l'on se proposait de rechercher les espèces minérales qui s'y trouvent contenues. Le présent mémoire est un travail de *pétrologie comparée*; il doit être envisagé comme l'essai d'une synthèse générale des roches pyrogènes, considérées sous le quadruple point de vue de leur constitution chimique, de leur composition minéralogique, de leur émission et de leur classification.

Objet  
du mémoire.

---

(1) Publication des voyages de la commission scientifique du Nord en Scandinavie, au Spitzberg, etc. : Géologie et minéralogie; par J. Durocher.

## PREMIÈRE PARTIE.

RÉDUCTION DE TOUTES LES ROCHES IGNÉES A DEUX MAGMAS.

Rôle du silicium  
dans le règne  
minéral.

Dans le règne minéral, le silicium joue un rôle analogue à celui que remplit le carbone dans le règne organique : en se comportant comme acide polybasique, la silice s'unit avec les oxydes dans des proportions variées, et donne ainsi naissance à une foule de combinaisons. La plupart des espèces minérales qui en résultent, et principalement celles qui entrent dans la composition des roches cristallines, proviennent d'associations entre des éléments qui sont toujours les mêmes, et dont les proportions totales, dans la masse qui les renferme, ne varient qu'entre des limites restreintes. En recherchant les minéraux silicatés dont l'agrégation constitue les roches, on ne s'est pas demandé si chaque association qui forme une roche distincte, au point de vue minéralogique, correspond à une composition spéciale du magma qui l'a engendrée. Il m'a semblé que c'était là un des côtés les plus importants de l'étude des roches, et les recherches que j'ai entreprises à ce sujet m'ont conduit à des résultats remarquables par la simplicité qu'ils introduisent dans l'histoire des formations ignées, et qui, d'ailleurs, en même temps qu'ils s'appuient sur des données expérimentales, me paraissent s'accorder parfaitement avec les observations géologiques.

Toutes les roches  
ignées dérivent  
de deux magmas.

Un vaste ensemble de conséquences dérive logiquement de cette proposition, dont tout à l'heure je vais fournir la preuve, à savoir que *toutes les roches ignées, les plus modernes comme les plus anciennes, ont été produites simplement par deux magmas, qui coexistent au-dessous de la croûte solide du globe, et y occupent chacun une position déterminée.*

Ces deux magmas n'ont éprouvé que de faibles chan-

gements de composition depuis les époques géologiques les plus reculées; et, d'ailleurs, ils diffèrent essentiellement l'un de l'autre par des caractères fort nets. Le premier peut, à raison de sa richesse en silice, être appelé *magma acide*, tandis que le second est comparable à un sel basique; car la silice s'y trouve en trop faible quantité pour saturer les oxydes métalliques: la différence entre les teneurs des deux magmas est dans la proportion de 7 à 5. Ils renferment tous deux à peu près la même quantité d'alumine, mais le magma siliceux contient une fois et demie à deux fois plus d'alcalis, et plutôt de la potasse que de la soude, tandis que c'est l'inverse dans l'autre. Ce qui surtout caractérise le premier, c'est sa pauvreté en bases terreuses et en oxyde de fer: il en renferme généralement de six à huit fois moins que le second. Voici les compositions de ces magmas, ainsi que les densités des roches qui en dérivent :

PROPORTIONS des éléments.	Silice.	Alumine.	Potasse.	Soude.	Chaux.	Magnésie.	Oxydes de fer et de manganèse.	Eau, fluor, acide carbonique.	DENSITÉS DES ROCHES:	
									1° à l'état naturel.	2° vitri- fiées artificiel- lement.
<i>Limites générales des proportions dans les roches ignées :</i>										
1° siliceuses.	62 à 78	11 à 20	3 à 6	1 à 6	0,5 à 2	0,5 à 2	0,5 à 4	0,5 à 3	2,40 à 2,70	2,35 à 2,46
2° basiques.	45 à 58	11 à 20	0,5 à 3	1 à 6	5 à 12	3 à 12	7 à 20	0,5 à 4	2,80 à 3,20	2,50 à 2,84
<i>Moyennes représentant les proportions dans les deux magmas :</i>										
1° siliceux.	71,0	16,0	4,5	2,5	1,0	1,0	2,5	1,2	2,65	2,40
2° basique.	51,5	16,0	1,0	3,0	8,0	6,0	13,0	1,3	2,95	2,72

En combinant les résultats que j'ai obtenus par des analyses chimiques et mécaniques avec ceux des analyses déjà publiées par divers savants, je suis arrivé à constater que les roches ignées à texture cristalline, et presque toutes les masses compactes ou vitreuses, formées par voie de fusion, et envisagées à

tort comme des minéraux, dérivent de l'un ou de l'autre de ces magmas : au premier se rapportent toutes les roches granitiques, y compris les eurites, les porphyres quartzifères et pétrosilex; les trachytes, phonolithes, perlites, obsidiennes, ponces, et les laves à feldspath vitreux. Au deuxième se rattachent les diorites, ophites, euphotides, hypérites, mélaphyres, trapps, basaltes et laves pyroxéniques.

Origine  
des différences  
dans  
les caractères  
minéralogiques  
des roches.

Je ferai, d'ailleurs, observer que, si l'on analyse diverses variétés d'un même groupe de roches, du granite par exemple, on trouve souvent entre les proportions relatives des éléments, dans deux échantillons appartenant au même type, plus de différence qu'il n'y en a entre la composition chimique d'un granite et d'une roche tout à fait dissemblable en apparence, d'un trachyte ou d'une ponce. De là on doit conclure que, pour les roches dérivant d'un même magma, les différences dans les caractères minéralogiques tiennent moins à leur composition élémentaire qu'à des conditions de pression, de température, et, en général, aux circonstances de leur refroidissement, c'est-à-dire à des conditions d'un ordre externe plutôt que d'un ordre interne. Les magmas qui ont produit les roches ignées sont comparables à des bains contenant à l'état de fusion plusieurs métaux, et qui, en se figeant, se partagent en des alliages divers, suivant les circonstances de leur solidification, lors même que le bain primitif offrait la même composition.

Produits  
de la zone  
de contact  
des  
deux magmas.

D'ailleurs, la zone de contact des deux magmas doit émettre des produits d'une nature intermédiaire; c'est, en effet, ce qui a lieu, et c'est de cette zone que paraissent provenir les syénites, les protogynes riches en talc, les trachytes riches en pyroxène et amphibole, et divers porphyres, qui sont intermédiaires entre les

porphyres granitiques ou trachytiques et les porphyres amphiboliques ou pyroxéniques. Ces produits, qu'on peut appeler *roches hybrides*, ont des affinités pétrographiques et géologiques indéterminées; ils semblent se rattacher tantôt à des roches du premier magma, tantôt à celles du second.

Le magma supérieur, qui est riche en silice, pauvre en bases terreuses et en oxyde de fer, possède la moindre densité; et, pour la pesanteur spécifique, il y a, entre les roches provenant des deux magmas, des différences d'une fois et demie à deux fois plus grandes qu'entre l'huile et l'eau. L'écart est encore plus élevé si, au lieu de considérer les roches à l'état naturel, on compare les produits vitrifiés obtenus par leur fusion: bien plus, si l'on se représente à l'état liquide les roches provenant des deux magmas, d'après les expériences de M. Bischoff, il doit y avoir, entre leurs densités, des différences deux fois plus grandes que celles observées sur les mêmes masses à l'état cristallin (1), et par suite trois à

Permanence  
de la séparation  
des deux magmas  
due à la différence  
de leurs densités.

(1) Si l'on admet les résultats des expériences de M. Bischoff (voir *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, etc., de Leonhard et Bronn, 1841, p. 565), le volume des roches suivantes, à l'état cristallin, comparé au volume des mêmes masses à l'état de liquidité ignée, présente les rapports suivants: 0,75 pour le granite; 0,82 pour le trachyte et 0,90 pour le basalte. Par conséquent, les densités de ces roches, à l'état liquide, sont pour le granite:  $2,66 \times 0,75$  ou 2,00; pour le trachyte  $2,67 \times 0,82$  ou 2,19, ce qui donne 2,10 pour la densité moyenne du magma siliceux, à l'état liquide. La pesanteur spécifique du basalte liquéfié est  $2,96 \times 0,90$  ou 2,66; de façon que la différence entre les densités du magma basaltique et du magma siliceux est 0,56; et le rapport de cette différence à la densité moyenne des deux magmas est  $\frac{0,56}{2,38}$  ou 0,24. Pour les mêmes masses, considérées à l'état cristallin, la différence des densités

quatre fois plus élevées que celles entre l'huile et l'eau : de là résulte nécessairement la permanence de la séparation des deux magmas.

Zone fluide située  
au-dessous  
de la croûte  
solide extérieure.

La croûte solide du globe repose donc sur une zone fluide, composée de deux couches distinctes : la supérieure, qui est la plus réfractaire, est seulement demi-liquide ou pâteuse, par suite de la prédominance de la silice, qui se caractérise par sa viscosité; la seconde couche, qui contient beaucoup moins de silice, et qui offre des rapports atomiques variant d'un bisilicate à un sesquisilicate, est beaucoup plus fluide et plus dense; en outre, elle paraît être fort riche en oxyde de fer, surtout dans certaines parties. C'est de là que sont émancées ces grandes masses de fer oxydulé qui ont fait éruption à la manière des roches ignées; et qui, en Italie, dans les monts Ourals, comme en Scandinavie, sont liées à des roches amphiboliques ou pyroxéniques. C'est dans la couche supérieure que se sont concentrés de préférence les corps les plus légers ou les plus volatils, comme les métaux alcalins, le fluor, le bore, etc., et c'est en effet dans les roches granitiques provenant de cette couche que se trouvent habituellement les minéraux fluosilicatés ou borosilicatés, comme le mica, la topaze, la tourmaline, etc.

est seulement  $2,96 - 2,66 = 0,30$ , et le rapport à la densité moyenne est  $\frac{0,30}{2,80}$  ou  $0,11$ , c'est-à-dire plus de deux fois moins que le rapport trouvé pour les mêmes masses, à l'état liquide. Il faut cependant observer que l'influence de la pression et l'interposition de vapeurs et de gaz peuvent, pour leur action inégale, modifier ces rapports, mais non les intervertir.

## DEUXIÈME PARTIE.

RECHERCHE DES CHANGEMENTS SURVENUS DANS LA COMPOSITION DES DEUX NAPPES INCANDESCENTES D'OU ÉMANENT LES ROCHES ÉRUPTIVES.

Il m'a paru intéressant de rechercher les changements qui se sont opérés, depuis les premiers âges de la terre, dans la nature des nappes incandescentes qui constituent le siège des éruptions : pour cela il faut comparer les principaux types de roches qui ont surgi pendant les époques géologiques successives. J'ai déterminé leur composition moyenne, et les limites des variations qui ont lieu dans les proportions de leurs éléments, d'après mes propres recherches et d'après les analyses chimiques publiées par divers savants, au nombre desquels je citerai principalement MM. Gmelin, Abisch, Dufrenoy, Ebelmen, Delesse et Ch. Deville. Les résultats auxquels je suis parvenu sont consignés dans le tableau ci-après.

Composition  
chimique  
comparée  
des principaux  
types de roches  
éruptives.



Changements  
de composition  
de la couche acide  
dédiés  
de la comparaison  
des deux grandes  
familles de roches  
siliceuses.

Les roches siliceuses comprennent deux grandes familles : celle des granites et celle des trachytes ; leur séparation est très-nette sous le rapport chronologique, car la première appartient aux périodes primaire, intermédiaire et secondaire ; la deuxième aux périodes tertiaire, quaternaire et moderne. Or, si l'on compare les compositions moyennes des deux types fondamentaux de ces familles, le granite et le trachyte, et si l'on considère qu'ils représentent les produits les plus abondants de la couche siliceuse, on voit que, dans la longue suite de siècles qui sépare les périodes primaire et tertiaire, il s'est produit les changements suivants (1) dans la composition de la masse fluide qui alimentait les éruptions : il y a eu diminution de 8 à 9 centièmes sur la proportion de silice, et de 21 centièmes sur la potasse ; mais les proportions de chaux et d'oxyde de fer ont presque doublé, et celle de soude a presque triplé. Si maintenant on compare la composition des trachytes de la période tertiaire à celle des laves trachytiques de l'époque actuelle, et l'on peut en citer comme type la lave de l'Arso, qui s'est épanchée sur l'île d'Ischia en 1301, on trouve que, pendant l'intervalle de temps écoulé entre ces deux époques, la proportion de silice a encore diminué, tout en restant supérieure à la quantité con-

(1) Les différences de densité des roches provenant de la même nappe fluide dépendent plutôt de leur état physique, ou de leur texture, que de leur composition chimique : ainsi les recherches de MM. Magnus, Al. Brongniart, G. Rose, Ch. Deville et Delesse, ont montré que les substances minérales éprouvent une augmentation de densité très-notable en passant de l'état compacte ou vitreux à l'état cristallin, comme on le voit dans le tableau ci-dessus, à l'inspection des deux colonnes relatives aux pesanteurs spécifiques. C'est principalement à M. Delesse que l'on doit les expériences qui ont fait connaître les densités des roches vitrifiées artificiellement.

tenue dans les diverses roches émanées de la couche basique ; la teneur en soude s'est accrue de plus de 50 p. 100.

Voyons si des changements du même genre ont eu lieu dans la composition de la couche fluide inférieure, ferro-calcifère : diorites, etc. Les diorites sont les roches basiques les plus anciennes ; ce sont elles qui ont surgi le plus abondamment aux premières époques géologiques. Mais, vers la fin de la période secondaire, et pendant la période tertiaire, elles ont été généralement remplacées par des roches pyroxéniques, lesquelles offrent trois types principaux : le mélaphyre, le basalte et la dolérite. Leur composition chimique est sensiblement différente, quoiqu'elles proviennent d'un même foyer ; et j'ai pensé que, pour avoir la composition de la couche liquide d'où elles émanent, le meilleur mode consistait à prendre la moyenne des compositions des trois types. On obtient ainsi un terme de comparaison général, que j'ai nommé dans mon tableau *roche pyroxénique de composition moyenne*, et qui représente l'ensemble des *roches basiques modernes*, par opposition aux diorites, qui représentent les *roches basiques anciennes*. En rapprochant les chiffres ainsi obtenus de ceux offerts par les diorites, on apprécie les changements survenus dans la couche fluide ferro-calcifère, depuis la période primaire jusqu'à la période tertiaire. On voit ainsi qu'il y a eu diminution sensible des quantités de silice et de potasse, tandis qu'il y a eu augmentation notable pour la soude et la chaux. La proportion de soude a continué de s'accroître plus tard, car les produits volcaniques actuels en renferment encore plus que ceux de la période tertiaire. La teneur en fer paraîtrait avoir un peu diminué, plutôt qu'augmenté ; mais je ferai observer que les amas de fer oxydulé sont

Changements  
de composition  
de la couche  
basique.

liés aux roches amphiboliques, et c'est à cette circonstance que paraît se rattacher la richesse en fer des diorites, tandis qu'une cause particulière tend à appauvrir une partie des produits volcaniques actuels, c'est l'influence du chlore qui entraîne du fer à l'état de vapeur.

Similitude  
des changements  
de composition  
éprouvés par  
les deux couches,  
acide et basique.

Cependant on reconnaît une similitude remarquable dans les changements de nature éprouvés par les deux couches acide et basique : dans l'une et l'autre, il y a eu diminution très-prononcée de la silice et de la potasse, tandis qu'au contraire les proportions de chaux et de soude allaient en augmentant. Mais les deux couches restaient néanmoins distinctes ; et les produits trachytiques, qui représentent les parties profondes de la nappe siliceuse, diffèrent beaucoup moins par l'ensemble de leurs éléments des granites, même les plus anciens, que des diorites ou de tout autre produit de la couche basique. Quant aux roches hybrides, qui émanent de la zone de contact des deux couches, on voit dans mon tableau que, par leur composition chimique, comme par leurs caractères minéralogiques, elles forment une sorte de trait d'union entre les deux systèmes, bien qu'elles semblent se rapprocher un peu plus des roches siliceuses.

Causes  
de  
ces changements  
de composition.

La diminution de la silice et de la potasse dans les roches modernes du groupe acide et du groupe basique me paraît tenir à ce que ces éléments s'étaient concentrés vers la partie supérieure de la zone fluide, à raison de leur moindre densité : au contraire, la proportion de chaux devait aller en croissant dans la profondeur. Mais c'est à une cause particulière que me paraît tenir l'augmentation si considérable de la soude dans les produits éruptifs des derniers âges de la terre, augmentation qui devient de plus en plus prononcée jusqu'à l'époque actuelle, et qui n'est point en rapport avec les change-

ments dans les proportions des autres éléments : il me semble difficile d'en rendre compte, sans admettre l'intervention des eaux de la mer dans la formation des produits ignés, au moins pendant les dernières périodes géologiques. Ainsi, de même que M. Abisch, je suis amené par mes recherches sur les roches à des conséquences ayant un point de commun avec l'explication que H. Davy avait déduite de ses études sur les phénomènes volcaniques ; mais il ne me paraît pas nécessaire de supposer inoxydés les métaux alcalins et terreux contenus dans la zone incandescente que recouvre l'écorce terrestre.

L'intervention des eaux marines dans les effets volcaniques me paraît basée sur trois grands ordres de faits : 1° l'action des fluides élastiques, bien plus marquée aujourd'hui qu'autrefois, sur les phénomènes et les roches d'éruption ; 2° la nature de ces fluides élastiques, parmi lesquels abondent la vapeur d'eau, l'acide chlorhydrique, les chlorures et les acides du soufre ; 3° l'augmentation considérable de la soude dans les roches ignées de plus en plus modernes, qu'elles dérivent de la couche siliceuse ou de la couche basique : j'ajouterai que cette substitution de la soude à la potasse est accompagnée du remplacement du fluor par le chlore. Je pourrais aussi rappeler que beaucoup de produits volcaniques renferment, non-seulement des matières organiques, mais encore, d'après les observations de M. Ehrenberg, des débris reconnaissables d'êtres organisés ; ce qui accuse évidemment le concours d'éléments extérieurs dans la formation de ces produits, tandis qu'il n'y a rien de semblable dans les roches granitiques anciennes, qui constituent des masses purement *endogènes*. Je sais qu'il y a certaines difficultés inhérentes à l'hypothèse d'une intervention des eaux de la mer dans les actions

Trois ordres  
de faits motivent  
l'intervention  
des eaux marines  
dans  
les phénomènes  
volcaniques.

volcaniques ; mais ces difficultés ne sont pas insolubles, et il faut nécessairement tenir compte de l'ensemble des faits que je viens de signaler comme tendant vers la même conclusion.

Mouvement  
circulatoire  
de la soude.

On sait, d'ailleurs, que les silicates sodifères se décomposent plus facilement que les silicates à base de potasse ; aussi, dans les eaux minérales, comme dans les eaux de la mer, la soude est l'alcali dominant. Elle semble ainsi destinée à un mouvement circulatoire continu : enlevée aux roches en décomposition par les eaux d'infiltration, puis transportée à la mer par les eaux courantes, elle est ramenée par des crevasses profondes vers les foyers souterrains, d'où elle sort de nouveau, en partie sous forme de vapeur, en partie incorporée dans les laves.

### TROISIÈME PARTIE.

EXPLICATION DES DIFFÉRENCES DE COMPOSITION CHIMIQUE ET DE CARACTÈRES MINÉRALOGIQUES DES ROCHES IGNÉES.

Après avoir exposé les changements qui se sont produits, à partir de l'époque primitive, dans la composition chimique des deux couches fluides formant le siège des éruptions ignées, je vais comparer les compositions des produits divers qui dérivent d'une même couche, et je vais expliquer les différences qu'ils présentent dans les proportions relatives de leurs éléments, ainsi que dans leurs caractères minéralogiques.

Rapports  
atomiques  
des éléments  
dans les roches  
du groupe  
siliceux.

J'ai recherché les rapports atomiques existant entre la silice et les bases dans les magmas dont la solidification a produit les roches pyrogènes : ils sont représentés dans le tableau ci-après pour les roches du groupe siliceux.

PROPORTIONS ATOMIQUES des éléments des roches ignées dans le groupe siliceux.		Granites.	Eurites	térosiles.	Trachytes.	Laves trachytiques.	Phonolithes.	Porphyres trachytiques.	Pechstens et reinites.	Perlites	Obsidiennes.	Ponces.	Granites syénitiques.	Andésites.	Syénites et porphyres syénitiques.	Trachy- dolerites.	Réinites et perlites ferro-calcifères.	Ponces ferro-calcifères.	
Rapports atomiques de la silice à l'ensemble des bases.	Rapports atomiques de l'alumine à l'ensemble des bases alcalines et alcalino- terreuses.	S		A		S		A		S		A		S		A		S	
		A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.	A.F.N.	C.M.
3,96	4,07	4,28	3,04	2,48	2,16	4,18	4,02	4,66	3,71	3,54	3,37	2,78	2,59	2,20	3,79	2,90			
4,15	4,37	4,82	3,25	2,70	2,30	4,39	4,34	5,00	4,10	3,87	3,65	3,18	3,02	2,52	4,43	3,43			

On voit que, dans toutes ces roches, à l'exception des laves trachytiques et des phonolithes, le rapport entre les quantités d'oxygène de la silice et des bases alcalines et terreuses est supérieur à trois, c'est-à-dire qu'il y a plus de silice qu'il n'en faudrait pour former des trisilicates. Ce rapport atomique serait généralement encore au-dessus de trois, si l'on supposait que l'oxyde de fer fit entièrement partie de la combinaison silicatée, ce qui n'a pas ordinairement lieu (1). Il faut remarquer, d'ailleurs, que les micas, qui font partie intégrante des roches du groupe siliceux, sont bien loin de renfermer 3 atomes de silice pour 1 de base. Aussi lorsque, en se solidifiant, le magma s'est résolu en une masse entièrement cristalline, la silice qui s'y trouvait généralement en excès, est devenue libre sous forme de quartz.

Rapport  
entre la silice  
et les bases.

(1) En général, le fer contenu dans les roches ignées n'est pas intégralement combiné avec de la silice ; il y en a ordinairement une certaine partie à un état différent, sous forme de fer oligiste, ou oxydulé, titané, carbonaté, sulfuré, etc. Aussi, dans mon tableau des proportions atomiques, j'ai indiqué les rapports de la silice à l'ensemble des bases, d'après deux modes de calcul, d'une part en y comprenant l'oxyde de fer, de l'autre en ne l'y comprenant pas : on a ainsi deux limites entre lesquelles se trouve nécessairement compris le rapport réel.

Proportion  
atomique  
entre l'alumine  
et les  
autres bases.

Considérons maintenant les proportions des différentes bases : dans le granite, le rapport entre l'oxygène de l'alumine d'une part, et celui des bases alcalines et alcalino-terreuses d'autre part, est en moyenne de 5.57 à 1 : on voit qu'il y a un peu plus d'alumine qu'il n'en faudrait pour qu'elle prît en totalité la forme d'un minéral feldspathique, vu que, dans tous ces minéraux, le rapport caractéristique de  $R^2O^3$  à  $Ro$ , est de 5 : 1 ; l'excédant d'alumine a contribué à former du mica, et souvent aussi des éléments accessoires, plus ou moins riches en alumine, tels que le grenat, la pinite, la tourmaline, l'émeraude, la topaze, le corindon, le spinelle, etc. Dans le granite normal, celui dont j'ai donné la composition, il y a environ 35 p. 100 de quartz, 40 à 50 de feldspath qui absorbent 8 à 10 d'alumine ou les trois cinquièmes ; il en reste les deux cinquièmes qui servent à former du mica et des éléments accessoires, dans la proportion d'environ 20 à 25 p. 100.

Explication  
des variations  
minéralogiques  
dans les granites.

Mais il est facile de voir que le même magma, en se solidifiant, pourra, suivant les circonstances, prendre la forme d'un granite, tantôt plus riche en parties feldspathiques (orthose avec oligoclase ou albite), tantôt plus riche en mica et en quartz. Il faut considérer qu'il y a deux sortes de micas ; les uns sont ferro-magnésifères, à un axe de double réfraction, et renferment de 11 à 16 p. 100 d'alumine ; tandis que les autres, qui sont à base de potasse et à deux axes optiques, contiennent deux fois plus d'alumine. Ce sont ces derniers qui ont cristallisé de préférence, lorsqu'il y avait abondance d'alumine et de potasse, et que le fer se trouvait en majeure partie à l'état de peroxyde : de là sont résultés les granites à mica blanc argentin. Mais il s'est produit des micas à un axe et à teinte foncée, quelquefois seuls, mais plus ordinairement accompagnés de mica blanc, lorsqu'il exis-

tait dans le magma une certaine quantité de magnésie et de protoxyde de fer. Tout à l'heure, je vais expliquer pourquoi, depuis la fin des périodes secondaires, ce sont ces derniers micas qui prennent naissance d'une manière exclusive, comme le prouve l'examen des roches ignées géologiquement modernes. Quand l'oxygène de l'alumine contenue dans les granites formait à peu près le triple de l'oxygène des protoxydes, il s'est formé peu de mica, et le magma s'est résolu en une pegmatite plus ou moins riche en feldspath.

Dans un précédent mémoire (comptes rendus de l'Académie des sciences, t. 20, p. 1277), j'ai montré que les pétrosilex ne sont autre chose que des variétés de granites, dont l'état compacte est dû principalement à la rapidité de leur refroidissement : toutefois leur composition élémentaire se distingue, en général, de celle des granites proprement dits par une plus grande richesse en silice, une moindre quantité d'alcalis et une assez forte proportion d'alumine, relativement aux bases à 1 atome d'oxygène. Des caractères chimiques analogues se remarquent dans d'autres roches aphaniques (compactes ou vitreuses), telles que les pechsteins, réinites, perlites, etc., qui sont aussi très-riches en silice, et relativement pauvres en alcalis, surtout en potasse. Je suis donc amené à regarder comme défavorables au développement de la cristallisation ces deux circonstances, et surtout la trop forte proportion de la silice, dont l'influence est sans doute liée à la propriété de passer par l'état visqueux en se solidifiant. Dans mon premier travail, publié il y a douze ans, j'ai fait observer que, si certaines circonstances physiques, et notamment la rapidité du refroidissement, avaient empêché les pétrosilex et eurites de prendre l'état cristallin comme les granites, il fallait aussi attribuer une part d'influence à

Liaison entre  
les pétrosilex  
et les granites.

Remarques gé-  
nérales concernant  
le défaut  
de cristallisation  
dans certaines  
roches ignées.

certaines différences dans la composition chimique des magmas, notamment à la grande richesse en silice et à la pauvreté relative en alcalis des masses pétrosiliceuses : ainsi mes recherches actuelles ont pour résultat d'imprimer à cette observation un plus grand caractère de généralité.

Développement  
des éléments  
minéralogiques  
dans  
les trachytes.

Passons actuellement aux roches feldspathiques des périodes tertiaire, quaternaire et moderne : mon tableau montre que, dans ces roches, à l'exception des rétinites et perlites, l'oxygène de l'alumine comparé à celui des bases alcalines et alcalino-terreuses offre un rapport un peu au-dessous de 3 à 1 : il y a donc un peu moins d'alumine qu'il n'en faudrait pour que toute la masse se changeât en feldspath : par conséquent, ou bien il reste une portion du magma à l'état de pâte, ou bien il se forme des minéraux moins alumineux que les feldspaths ; mais ce ne peut être des micas blancs, à deux axes optiques, car ils contiennent encore plus d'alumine que le feldspath ; aussi on n'en trouve pas dans les roches feldspathiques postérieures aux époques secondaires ; mais ce sont des micas ferro-magnésifères, à un axe et à teinte foncée, lesquels ne contiennent que de 11 à 15 p. 100 d'alumine. Même, lorsque la quantité de cette base est faible, il se forme des silicates où elle n'entre pas comme élément essentiel, savoir de l'amphibole ou du pyroxène. On voit ainsi comme ces derniers minéraux, qui semblent propres aux roches dérivant de la couche basique, peuvent se développer accessoirement dans les magmas trachytiques, par suite d'une insuffisance de la proportion atomique de l'alumine.

Importance  
de l'examen  
des rapports  
atomiques,

C'est par l'examen non des quantités absolues, mais des rapports atomiques des divers éléments, que l'on arrive à ces conséquences qui expliquent si simplement le développement de telles espèces minérales, de pré-

férence à d'autres, au sein des magmas ignés. Les trachytes, par exemple, contiennent, en centièmes, plus d'alumine que les granites ; et pourtant ils offrent une moindre proportion atomique de cette base comparée aux autres oxydes : c'est principalement de là que provient la différence de nature des minéraux associés au feldspath dans les deux groupes de roches siliceuses, le groupe ancien et le groupe moderne.

J'ai encore à expliquer comment, aux trachytes, qui offrent entre la silice et les bases un rapport atomique très-voisin de 3 à 1, peuvent être liées, d'un côté des masses dont la richesse en silice surpasse le rapport de 4 à 1, comme les porphyres trachytiques, les rétinites, etc. ; d'un autre côté les phonolithes, qui offrent des rapports variant entre 2 et 2,50 : 1. Dans son beau travail sur les roches volcaniques, M. Abisch a envisagé les phonolithes comme des trachytes modifiés par le contact de l'eau de la mer, vu leur richesse en soude et leur teneur en eau : cette considération est juste, mais elle me paraît insuffisante ; elle n'explique pas, en effet, la grande teneur en alumine des phonolithes, teneur qui est moyennement de 20 à 21 p. 100, et qui s'élève parfois à 24 p. 100, tandis que l'addition de soude et d'eau au magma trachytique aurait dû diminuer plutôt qu'augmenter la proportion relative de cette base. Mais on peut observer que l'alumine, qui se trouve en plus dans les phonolithes se trouve en moins dans les porphyres trachytiques, et dans les perlites, qui s'y rattachent comme des produits vitrifiés. Ces roches ne renferment, en effet, que 12 à 14 p. 100 d'alumine, et c'est l'inverse qui a lieu pour la silice, dont il existe seulement 57 à 58 p. 100 dans les phonolithes, tandis qu'il y en a 72 à 74 dans les perlites et porphyres trachytiques. Par suite de ces rapports contraires, si l'on ajoute par-

Rapports  
des porphyres  
trachytiques  
et des phonolithes  
avec  
les trachytes.



Proportion atomique de la silice deux fois moindre que dans les roches du magma siliceux.

De toutes ces roches, le diorite est la seule où le rapport atomique entre la silice et l'ensemble des bases alcalines et terreuses, soit d'un peu plus de 2 à 1. D'ailleurs, si l'on tient compte de l'oxyde de fer, qui est un des éléments essentiels de l'amphibole hornblende, du pyroxène augite, etc., on voit que, dans les roches basiques, l'oxygène de la silice est généralement compris entre  $1 \frac{1}{2}$  et  $1 \frac{3}{4}$  pour 1 dans la totalité des bases; ainsi le rapport est près de deux fois moindre que dans les roches du groupe siliceux, et l'on voit combien est grande la différence qui sépare les produits éruptifs des deux couches fluides, quand on les compare sous le rapport des proportions atomiques de leurs éléments.

Absence générale de l'orthose et de l'albite dans les roches basiques.

Cependant, comme le minéral ferro-calcifère associé à l'élément feldspathique dans les roches basiques est ordinairement un bisilicate (pyroxène, hypersthène, diallage), ou la réunion de 3 atomes de bisilicate et 1 atome de trisilicate (amphibole), il est clair qu'il ne reste pas assez de silice pour que les bases entrent dans la composition des feldspaths s'y trouvent combinées à l'état de trisilicates; de là résulte la rareté de l'orthose ou de l'albite dans les roches basiques: c'est seulement dans les variétés de diorites riches en silice et se rapprochant de la syénite que l'on peut rencontrer ces trisilicates, et encore c'est plutôt de l'oligoclase qui s'y trouve. Si même, dans les diorites, il a pu se former des espèces feldspathiques aussi riches en silice que l'oligoclase, malgré la faible proportion atomique de la silice dans le magma, cela tient, dans beaucoup de cas, à ce qu'il s'est produit en même temps, comme par une sorte de liquation, du mica ferro-magnésifère, du grenat, et souvent aussi de l'épidote, minéraux qui sont tous des protosilicates, et qui ont dû laisser disponible

une certaine quantité de silice: il y en a même eu parfois assez pour qu'elle s'isolât sous forme de quartz (1), bien que la proportion atomique de la silice et des bases fût beaucoup au-dessous du rapport de 5 à 1. D'ailleurs, les diorites ne contiennent pas tous de l'oligoclase; on y trouve souvent aussi, comme l'a observé M. Delesse, de l'andésine ou feldspath des Andes, qui est un bisilicate, et parfois même du labrador.

Néanmoins, dans le groupe basique, les roches amphiboliques paraissent être les seules qui renferment des espèces feldspathiques un peu riches en silice (2),

Éléments feldspathiques des roches basiques.

(1) Il serait erroné de croire que la teneur en silice de tous les minéraux contenus dans une roche ignée dépende absolument de l'abondance de la silice dans le magma: ainsi, dans le granite, à côté du quartz et de trisilicates, comme l'orthose, on trouve du mica ferromagnésifère, et souvent aussi du grenat, qui sont l'un et l'autre des protosilicates. L'isolement de la silice sous forme de quartz n'exige donc pas nécessairement qu'il y en ait assez pour amener toutes les bases à l'état de trisilicates: il ne faut pas perdre de vue que la silice est un acide polybasique et peu puissant; aussi des influences diverses, physiques et chimiques, ont amené la formation simultanée de composés très-inégalement siliceux. Dans les roches pyrogènes, ce sont seulement les feldspaths à bases exclusivement alcalines qui se trouvent à l'état de trisilicates, mais il n'en est point ainsi pour les feldspaths calcifères (labrador et anorthite): il n'y a même, comme partie intégrante des roches ignées, aucun minéral qui consiste en trisilicate à bases de chaux, ou de magnésie, ou d'oxyde de fer; de telles combinaisons avaient donc peu de tendance à se produire. D'ailleurs, dans des masses pyrogènes, comme les diorites de la Scandinavie, dans le granite même, on voit quelquefois du fer oxydulé et du quartz qui, au lieu de s'unir, sont restés isolés, bien qu'étant en contact: c'est que le fer oxydulé est un oxyde salin; et, auprès du protoxyde, le sesquioxyde de fer a joué le rôle acide à un degré assez marqué pour contrebalancer l'affinité de la silice.

(2) On a remarqué depuis longtemps une diminution de la richesse en silice dans les roches ignées de plus en plus modernes. Mais, ainsi exprimée, cette loi était trop absolue et

comme l'oligoclase : les autres roches, qui ont pour élément ferrocalfifère du pyroxène, de l'hypersthène ou du diallage, contiennent comme feldspaths des composés où l'alumine est toujours à l'état de protosilicate, et où les bases à 1 atome d'oxygène sont à l'état, tantôt de trisilicate (labrador), tantôt de bisilicate (feldspath voggien de M. Delesse), tantôt de protosilicate (anorthite et saussurite).

Substitution fréquente de silicates présentant des formules analogues à celles des feldspaths.

Quelquefois l'élément feldspathique se trouve remplacé, en partie ou en totalité, par des silicates aluminocalcifères, qui ont des compositions atomiques analogues à celles des feldspaths, mais des formes cristallines très-différentes : ainsi l'augite est quelquefois associé, dans les laves leucitiques, à de l'amphigène, qui offre la formule atomique de l'andésine; dans les dolérites néphéliniques, à de la néphéline qui représente l'anorthite; dans les basaltes, à des minéraux zéolithiques qui, suivant la remarque de M. Ch. Deville, peuvent être envisagés comme des feldspaths hydratés.

Proportions relatives de l'alumine et des autres bases.

Si nous considérons le rapport atomique entre l'alumine, les bases alcalines et alcalino-terreuses, nous voyons que, dans les roches basiques, ce rapport varie généralement de 1 1/2 à 1. Or, comme dans tous les feldspaths il y a 3 atomes d'oxygène dans l'alumine,

présentait d'assez grandes difficultés d'interprétation; car des roches relativement modernes, comme les produits trachytiques, sont bien plus riches en silice que des trapps, mélaphyres, euphotides, etc., provenant d'éruptions antérieures. Mais la loi d'appauvrissement en silice acquiert une certaine rigueur, si l'on se borne à comparer ensemble les produits d'une même couche, acide ou basique : ainsi les trachytes sont moins riches en silice que les granites. De même les basaltes et les laves pyroxéniques contiennent notablement moins de silice que les diorites qui forment les premières émanations de la couche basique.

pour 1 dans les autres bases, on voit que la formation de l'élément feldspathique a absorbé, avec toute ou presque toute l'alumine, du tiers à la moitié des autres bases; les alcalis y sont entrés intégralement, ainsi qu'une portion de la chaux et de la magnésie : la partie restante de ces dernières bases a servi à composer le bisilicate ferrocalfifère et magnésifère.

Aux autres caractères que j'ai déjà signalés comme appartenant aux roches du groupe basique, vient s'en joindre un nouveau, consistant en ce que la proportion atomique de l'alumine, relativement aux autres bases, y est ordinairement deux fois moindre que dans les roches du groupe acide; et, par suite, les minéraux qui accompagnent l'élément feldspathique (amphibole, pyroxène, diallage, etc.) ne contiennent point, en général, d'alumine comme principe essentiel. Néanmoins, dans les diorites, il y a souvent du mica; mais c'est du mica ferro-magnésifère, qui est deux fois moins alumineux que le mica blanc; et, d'ailleurs, il s'y est formé aux dépens des éléments feldspathiques.

J'ajoute que, les diverses bases étant entrées dans les combinaisons qui ont produit les minéraux feldspathiques, amphiboliques et pyroxéniques, il est resté habituellement un excès d'oxyde de fer, qui s'est isolé sous forme d'oxyde salin (fer oxydulé), quelquefois avec du fer titané : aussi ces roches attirent presque toujours l'aiguille aimantée.

Cependant, il s'est produit, dans la formation des roches basiques, des phénomènes de liquation analogues à ceux que j'ai signalés en m'occupant des roches siliceuses : en effet, les mélaphyres sont des masses très-riches en alumine, qui en contiennent généralement de 18 à 25 p. 100, tandis que, dans les autres roches basiques, il y en a rarement plus de 16 p. 100.

Rapport atomique de l'alumine deux fois moindre que dans les roches siliceuses.

Attraction magnétique générale dans les roches basiques.

Rapport entre les mélaphyres, les basaltes et les dolérites.

is si, d'un côté, se trouvent les mélaphyres si fortement alumineux, de l'autre il y a des roches pyroxéniques relativement pauvres en alumine, comme les basaltes, certaines dolérites et roches diallagiques; il y a même des roches basiques où il n'entre qu'une minime quantité de cette base, comme les serpentines (1) et les masses de nature pyroxénique, telles que la lherzolite. Mais il n'y a aucune difficulté à admettre que des phénomènes de liquation aient partagé la masse fluide basique en deux alliages, dont l'un, fortement alumineux, aura formé les mélaphyres, tandis que l'autre aura engendré des masses renfermant une plus ou moins grande quantité de silicates ferrocalfifères et magnésifères.

D'ailleurs, en se solidifiant, certaines roches basiques, comme le basalte, ont retenu de l'eau, qui a donné naissance à des hydrosilicates aluminifères de la famille des zéolithes, et remplaçant, en partie, l'élément feldspathique (labrador). Ces hydrosilicates y sont accom-

(1) D'habiles minéralogistes regardent la serpentine comme un produit de pseudomorphose: c'est ce qui a évidemment lieu dans certains gîtes d'une petite étendue; mais une telle manière de voir présente de sérieuses difficultés lorsqu'il s'agit de grandes masses. Celles-ci me paraissent, en général, avoir pris naissance par suite de phénomènes de liquation, dans lesquels il y a eu ségrégation de la plus grande partie de l'alumine, d'où résulte, comme conséquence inévitable, l'absence d'éléments feldspathiques. On sait, d'ailleurs, qu'en se combinant avec la silice, la magnésie retient habituellement de l'eau de combinaison.

La composition que j'ai assignée à la serpentine, dans mon tableau général des roches, représente la moyenne de quinze analyses: elle conduit à envisager les magmas serpentineux comme formés, en général, par la réunion de deux atomes d'un bisilicate de magnésie et un atome d'hydrate de magnésie ( $2MS^2 + MAq^2$ ). La composition du talc peut être représentée par une formule analogue ( $5MS^3 + MAq^3$ ).

Développement  
de zéolithes  
en place  
de l'élément  
feldspathique.

pagnés, non-seulement d'augite et de fer oxydulé, mais souvent aussi de péridot ou protosilicate ferromagnésifère.

Dans mon tableau de la composition des roches basiques, j'ai fait entrer des laves que j'ai nommées leucito-augitiques-sodifères, et qui sont comme des dolérites ou des mélaphyres dont le labrador est remplacé par de l'amphigène à base de soude; ainsi l'on peut citer comme telles les laves actuelles du Vésuve: sous le rapport de la composition chimique, elles ne diffèrent des laves doléritiques, ou à bases de labrador et de pyroxène, que par une moindre proportion d'oxyde de fer, et par l'abondance de la soude, qui paraît due à l'intervention des eaux marines.

Il y a encore un minéral que l'on ne considère pas, en général, comme faisant partie essentielle des roches ignées, mais qui s'y trouve souvent en grande abondance, et avec une certaine régularité; c'est le grenat, qui a pour formule (A, F) S + (C, M, f, m n) S. Par sa pauvreté relative en silice, sa richesse en bases alcalino-terreuses et en oxyde de fer, le grenat doit être moins abondant au sein des roches siliceuses, que dans des roches hybrides, comme la syénite, ou dans certaines roches basiques: il y a, en effet, des roches amphiboliques où le grenat est si abondant, que des géologues ont cru devoir les considérer comme formant une espèce particulière qu'ils ont nommée *éclogite*. Mais, de même que la leucite de certaines laves, ou la néphéline de certaines dolérites, c'est aux dépens de l'élément feldspathique qu'a pris naissance le grenat; car, en se formant, il a absorbé une grande partie de l'alumine. Le même minéral se montre fréquemment aussi associé à de la serpentine, où il paraît suppléer, dans une certaine mesure, au manque d'éléments feldspathiques.

Laves leucito-  
augitiques.

Développement  
du grenat  
dans les roches  
ignées.

Principes généraux de l'explication des différences de composition chimique et de caractères minéralogiques des roches.

En résumé, si l'on généralise le principe des phénomènes de liquidation qui tendent à se produire dans toute masse à l'état de liquidité ignée, et composée d'éléments de natures différentes ; si l'on tient compte des faits constatés par les observations géologiques et par l'analyse chimique, ainsi que des phénomènes qui se produisent sous nos yeux, dans les usines, on s'explique d'une manière simple et naturelle les inégalités de composition chimique des roches dérivées de la même nappe fluide. Si, de plus, on a égard aux proportions atomiques des divers éléments de chaque magma, on se rend très-bien compte des dissemblances minéralogiques offertes par les roches qui en proviennent : on peut même deviner quels minéraux doivent prendre naissance dans la cristallisation des masses silicatées.

Physionomie spéciale des roches éruptives modernes due principalement à l'influence des fluides élastiques.

Je dois cependant ajouter qu'il y a une cause particulière, qui contribue puissamment à donner aux produits éruptifs modernes une physionomie spéciale, et aussi à élargir les limites entre lesquelles varie leur composition chimique, surtout pour les corps susceptibles de former des combinaisons volatiles ; c'est, indépendamment des circonstances différentes sous le rapport de la pression, l'intervention des éléments extérieurs, et principalement l'influence des gaz et des vapeurs, qui s'y manifeste d'une manière beaucoup plus prononcée que dans les produits anciens. C'est cette action qui donne aux roches géologiquement modernes la texture si fréquemment amygdaloïde, qui les rend quelquefois scoriacées ou ponceuses ; elle modifie également la forme des orifices d'émission, qui prennent la structure de cratères placés au sommet de montagnes coniques.

Résultats justificatifs de la distinction fait ressortir les relations physiques, chimiques et géo-

géniques qui lient entre elles les roches pyrogènes, si variées dans leur aspect : la clarté avec laquelle se sont dévoilés ces rapports me semble confirmer la proposition que j'ai établie en premier lieu, proposition d'après laquelle toutes les roches ignées dérivent de deux couches fluides, situées au-dessous de la croûte terrestre, et dont l'une est caractérisée par la richesse en silice, tandis que l'autre, plus pauvre en silice et en alcalis, contient une proportion incomparablement plus grande de bases alcalino-terreuses et d'oxyde de fer, en même temps qu'elle se distingue par des rapports atomiques fort différents.

En outre, les produits de la première couche renferment presque toujours, comme élément essentiel et prédominant, la seule espèce du genre feldspath qui cristallise dans le cinquième système, tandis que les diverses espèces de feldspath qui font partie intégrante des produits de la seconde couche appartiennent, sans exception, au sixième système cristallin. La distinction que j'ai établie se trouve ainsi confirmée, même au point de vue cristallographique ; mais il me reste à vérifier si elle est en harmonie avec les observations géologiques, si elle permet de rendre compte de l'éruption successive des roches pyrogènes de divers âges.

#### QUATRIÈME PARTIE.

##### EXAMEN DES FAITS RELATIFS A L'ÉMISSION DES ROCHES IGNÉES.

La première pellicule qui s'est figée à la surface du globe terrestre, jadis incandescent, a été évidemment formée par la nappe fluide supérieure, la plus légère et la moins fusible : de là est résulté le granite primitif. Si l'on examine ensuite les formations des premiers âges, savoir les terrains schisteux azoïques, et paléozoïques, ainsi que les terrains secondaires inférieurs, on voit que

des roches ignées en deux groupes dérivant de magmas différents.

Les roches ignées des premiers âges appartiennent presque exclusivement au groupe siliceux.

les roches pyrogènes, qui, pendant ces anciennes périodes, ont surgi à la surface du globe, et qui en ont couvert une portion considérable, étaient presque exclusivement des roches feldspathiques et siliceuses, dérivant du magma supérieur : c'étaient des granites, des eurites ou porphyresfeldspathiques et quartzifères, avec leurs dérivations. En effet, un simple coup d'œil jeté sur les cartes géologiques des diverses parties de l'Europe montre que, jusqu'à la période jurassique, les roches amphibolico-pyroxéniques, provenant du magma basique, forment rarement plus de la centième partie de l'espace occupé par les roches siliceuses : elles ne constituent donc que de simples accidents par rapport à celles-ci.

De plus, il est un fait très-général, que j'ai constaté dans toutes les régions cristallines que j'ai visitées, dans le nord de l'Europe, en Allemagne, dans les Vosges, les Alpes, les Pyrénées et dans l'ouest de la France, c'est que l'émission des roches basiques a été constamment précédée par des éruptions de roches granitiques ou euritiques, à travers lesquelles on les voit former des filons, quelquefois des amas. Ces éruptions postérieures appartiennent, pour ainsi dire, à des phénomènes secondaires et consécutifs : il est même remarquable de voir les roches amphiboliques concentrées, pour la plus grande partie, dans la zone occupée par les roches granitiques, ou sur les bords de cette zone.

Voyons si ces faits ne s'accordent pas avec les conséquences de mes recherches : c'est au moment où, à la suite de dislocations produites en quelques points de la croûte terrestre, surgissent les matières en fusion, que soulevée par la compression qu'elle éprouve de la part des masses susjacentes, et par la puissance expansive des fluides élastiques, la partie supérieure de la zone fluide s'élève le long des fentes ; c'est ainsi que

L'éruption  
des roches  
basiques  
anciennes résulte  
de phénomènes  
secondaires  
et consécutifs.

Origine  
de la disposition  
générale  
des roches  
dioritiques  
en dykes et amas  
sillonant  
les formations  
granitiques  
et les terrains  
adjacents.

se sont produites les grandes éruptions qui amenèrent au jour le magma granitique. Mais cette éjection ne pouvait avoir lieu sans changer les conditions d'équilibre du magma basique situé au-dessous : une certaine portion a généralement été entraînée, à la suite du magma siliceux, dans les anfractuosités ou les crevasses de la croûte terrestre, où elle a conservé en partie sa chaleur et sa fluidité, pendant le refroidissement des grandes masses feldspathiques accumulées autour des fentes ou orifices d'éruption, et formant des chaînes de montagnes ou des collines à contour arrondi. Mais, en se solidifiant, les masses granitiques se sont contractées et fissurées ; diverses causes de dislocation y ont fait naître, de même que dans les terrains stratifiés adjacents, des fentes à travers lesquelles vinrent s'injecter les portions encore liquides du magma basique déplacé lors de l'éruption du granite. Telle paraît être l'origine des dykes et masses plus ou moins considérables de diorite que l'on voit sillonner les formations granitiques et les terrains environnants.

D'ailleurs, des parties internes du magma siliceux, non entièrement figées, donnèrent lieu à des effets analogues, et produisirent ces filons et stockwerks de granite ou de pegmatite, que l'on remarque dans la plupart des régions granitiques, et qui se distinguent de la masse encaissante par certains caractères de composition ou de texture.

La même série de phénomènes a dû se produire dans des périodes différentes, quelquefois dans le même pays, comme je l'ai observé dans le nord de l'Europe. Néanmoins, l'on voit comment une contrée où a eu lieu une grande éruption est devenue le théâtre d'éruptions secondaires et consécutives ; ainsi que nous le montrent encore aujourd'hui, mais sur une échelle différente, les

Filons  
et stockwerks  
de granite  
ou de pegmatite.

Succession  
de divers  
phénomènes.

phénomènes volcaniques. Longtemps après l'émission des produits rocheux, s'est continué le dégagement de gaz et de vapeurs, dont sont résultés des filons métallifères, et il faut rattacher à la même cause les émanations des sources thermo-minérales que l'on peut envisager comme la dernière manifestation des phénomènes ignés.

Changement dans le mode d'éruption des roches basiques pendant la seconde moitié de la période secondaire.

Quoi qu'il en soit, il est incontestable que les roches basiques dont l'éruption a eu lieu pendant les premières périodes géologiques ne forment que de simples accidents, par rapport à l'immense développement des masses feldspathiques et siliceuses. C'est dans la seconde moitié de la période secondaire que des changements bien marqués se produisirent dans la nature des roches qui surgissaient à travers la croûte terrestre : alors la couche supérieure de la nappe fluide avait, en général, beaucoup diminué d'épaisseur, soit par suite des éruptions, soit par la solidification résultant du rayonnement de chaleur vers l'espace. Dès lors, la matière de la couche inférieure, riche en bases terreuses et en oxyde de fer, a commencé à produire de grandes éruptions : s'élevant directement et en grandes masses de la zone liquide centrale, elle possédait une chaleur et une fluidité plus grandes qu'aux époques antérieures, où elle ne formait que des éruptions secondaires et consécutives. Aussi, elle ne s'est pas bornée à produire des veines ou des amas de médiocre étendue, mais elle s'est épanchée sur le fond des mers, ou à la surface des continents, en formant de vastes nappes de trapp et de basalte.

Éruptions postérieures à l'époque secondaire.

D'ailleurs, il est remarquable de voir que, à des époques modernes, comme aux époques anciennes, dans les points où la couche siliceuse était encore assez épaisse pour donner lieu à des émissions considérables,

ces éruptions ont précédé celles du magma basique : ainsi, en Auvergne et sur les bords du Rhin, pendant la période tertiaire, la sortie des basaltes a succédé à de puissantes éruptions de roches trachytiques. De même, avant la création de l'homme, une étendue considérable du sol de l'Italie a été couverte de produits trachytiques ; mais actuellement les éruptions de l'Etna et du Vésuve amènent au jour des produits de la couche inférieure, ferrocalfifère, car ces produits sont à base de pyroxène. Toutefois, il n'en est pas ainsi sur toute la surface du globe, puisque les volcans de l'Islande et ceux des Andes émettent, en général, des produits trachytiques, mais plus pauvres en silice, plus riches en bases terreuses et en oxyde de fer que les trachytes anciens ; ce qui doit être en effet, car la couche siliceuse d'où émanent ces masses feldspathiques doit aujourd'hui être presque complètement épuisée, et doit tendre à se fondre dans la couche basique, par suite du mouvement des fluides élastiques. D'ailleurs, nous allons voir un peu plus loin que, parmi les produits des volcans actuels, beaucoup sont le résultat d'une refonte de matières éjectées à des époques antérieures.

Tout à l'heure, dans les phénomènes relatifs à l'émission des roches ignées anciennes, j'ai distingué deux sortes d'éruptions : 1° des éruptions de premier ordre, provenant directement des nappes fluides sur lesquelles s'appuie la croûte terrestre ; 2° des éruptions de second ordre, ou consécutives, ayant pour foyers des amas de matière incandescente qui, au lieu de s'épancher au dehors, sont restés enclavés à l'intérieur de l'écorce du globe. L'observation des phénomènes ignés des dernières périodes géologiques (tertiaire, quaternaire et actuelle) me semble fournir une confirmation heureuse

Liaison entre les phénomènes éruptifs anciens et modernes.

de cette conception, et m'amène à éclaircir la liaison qui existe entre les tremblements de terre, les phénomènes volcaniques et la formation des chaînes de montagnes.

Communication générale des cheminées volcaniques avec des foyers secondaires.

Si l'on considère l'indépendance d'action des volcans même les plus rapprochés les uns des autres, et l'extrême variabilité d'intensité des éruptions, soit dans les divers volcans comparés entre eux, soit dans un même volcan observé à différentes époques; si de plus on envisage le peu d'étendue de la zone affectée par l'action éruptive de chaque volcan; et enfin, si l'on tient compte de la faible quantité de matière émise dans la plupart des éruptions, on reconnaît bien vite un défaut de proportion entre les effets si minimes qui se produisent dans le plus grand nombre des cas et la puissance colossale d'une cause qui serait susceptible de soulever la masse liquide centrale d'une profondeur de 4 à 5 myriamètres. Il est alors probable que, dans leur état ordinaire d'activité, les cheminées volcaniques ne communiquent point directement avec la grande nappe incandescente, mais qu'elles sont simplement alimentées par des foyers secondaires, ou sortes de poches remplies de matière incandescente, et situées à diverses profondeurs au-dessous de la surface (1).

Ainsi, les effets éruptifs qui se produisent à l'orifice des volcans, soit à des intervalles de temps plus ou moins rapprochés, soit d'une manière continue, comme à Stromboli, sont des effets locaux, d'un ordre secondaire, et complètement distincts, par leurs caractères essentiels et par le siège de leur cause immédiate,

(1) M. Hopkins a déjà considéré les laves comme provenant de réservoirs ou de sortes de lacs souterrains; mais l'isolement absolu où il les suppose, par rapport à la zone fluide interne, me paraît peu compatible avec les faits.

Différence profonde entre les effets volcaniques et les phénomènes qui ont produit des chaînes de montagnes ou des chaînes de volcans.

des violents cataclysmes qui ont donné naissance aux chaînes de montagnes ou aux grandes lignes de volcans. Jusqu'à ce jour l'histoire des races humaines n'a enregistré aucun de ces grands phénomènes qui résultent de larges ruptures, traversant toute l'épaisseur de la croûte terrestre, et se prolongeant sur des longueurs considérables: cependant c'est seulement alors qu'ont surgi du sein de la zone fluide d'assez grandes masses de matière incandescente pour former des rides importantes à la surface du globe.

Sur ces grandes lignes de fractures se sont constitués, çà et là, des volcans disposés par chaînes: mais les crevasses pénétrant jusqu'à la zone liquide interne se sont promptement oblitérées dans une grande partie de leur étendue, et beaucoup de volcans se sont éteints, n'ayant eu qu'une existence éphémère, comme la plupart des anciens volcans de l'intérieur de la France. D'autres ont conservé un certain état d'activité, étant alimentés par des amas de matière qui s'étaient formés dans des cavités de la croûte terrestre. D'ailleurs, quelques-uns de ces foyers volcaniques paraissent se ravitailler, de temps à autre, par des cheminées pénétrant plus profondément, et représentant les portions des premières crevasses qui ne sont fermées qu'à demi et qui sont susceptibles de se rouvrir lors de violentes commotions.

C'est peut-être à ces époques de réouverture des crevasses profondes que correspondent certaines éruptions tout à fait extraordinaires, comme celle de l'Etna en 1669, qui produisit un volume de lave estimé à plus de 600 millions de mètres cubes, et celle de l'Hékla en 1788, qui déversa sur l'Islande un torrent de lave long de 80 kilomètres et s'étendant sur 15 à 16 kilomètres de largeur. Mais ces éruptions caractérisées par de si

Phénomènes consécutifs des grandes ruptures de la croûte du globe.

Eruptions extraordinaires par l'énorme quantité de lave éjectée.

fortes émissions de lave sont tout à fait exceptionnelles, et représentent ce qu'on pourrait appeler les *crises* ou *périodes aiguës* des volcans.

Incorporation  
dans les foyers  
secondaires  
de dépôts  
superficiels.

L'examen des produits émis dans les éruptions ordinaires montre que, au lieu de consister en substances émanant directement de la nappe fluide centrale, ils se composent, en partie, de matières plus ou moins rapprochées de la surface, et qui ont été englouties ou incorporées dans les foyers secondaires. Beaucoup de laves sont le résultat d'une refonte de laves antérieures : ainsi les produits amphigéniques émis par le Vésuve actuel paraissent n'être qu'un remaniement des laves de la Somma, avec addition de soude ; de même la lave de la coulée de l'Arso en 1501 est trachytique et de la même nature que la masse volcanique plus ancienne qui a donné naissance à l'île d'Ischia ; de même, d'après les analyses de M. Abisch, la masse éruptive du Montenuovo n'est autre chose que le Piperno des champs flégréens refondu.

Intervention  
des éléments  
extérieurs,  
qui donnent lieu  
successivement  
à des phénomènes  
contraires.

C'est dans cet état d'activité secondaire ou consécutive des volcans que se manifeste au plus haut degré l'intervention des éléments extérieurs, appartenant au sol, aux eaux superficielles et à l'atmosphère : souvent en effet, il y a engouffrement de dépôts chargés de corps organiques ; l'introduction des eaux marines détermine cet énorme accroissement de la proportion de soude que l'on remarque dans certaines laves, en même temps qu'elle alimente les dégagements des fluides élastiques, dont le rôle est alors prépondérant (1). Telle

(1) Les fluides élastiques, dont le dégagement a lieu avec tant d'abondance pendant les éruptions ordinaires des volcans, exercent une puissance expansive à laquelle paraît due principalement l'élévation de la lave jusqu'à la surface du sol. Mais, dans les éruptions ignées de premier ordre, la matière en fu-

paraît être en effet la source des principaux éléments des émanations gazeuses, de la vapeur d'eau, et de l'hydrogène qui entre en combinaison avec le chlore et le soufre provenant d'une réduction de chlorures et de sulfates, laquelle réduction a lieu au contact de corps organiques, ou de matières incomplètement oxydées, à l'intérieur des foyers souterrains. Mais, par un phénomène contraire, dans leur mouvement ascensionnel vers la surface, une partie des émanations, et notamment l'acide sulfhydrique, éprouvent une combustion aux dépens de l'oxygène de l'air aspiré dans les fissures des cônes volcaniques, ainsi que l'ont constaté les récentes analyses de M. Ch. Deville.

Néanmoins, lorsque dans un foyer souterrain la chaleur est trop affaiblie pour maintenir les masses minérales à l'état de fusion, la cheminée qui lui sert d'exutoire perd les caractères de volcan brûlant, pour se changer en solfatare, et elle ne revient à son premier état que dans les cas plus ou moins rares où le foyer est remis en communication, soit avec la nappe centrale, soit avec d'autres foyers situés dans le voisinage.

Changement  
des  
volcans brûlants  
en solfatares.

Si maintenant nous examinons les tremblements de terre, nous y reconnaissons des caractères tout autres que ceux des phénomènes volcaniques : ils ne donnent lieu à aucun effet calorifique ou chimique ; mais, abstraction faite de trépidations ou de secousses évidemment liées à des foyers volcaniques, les grands tremblements de terre se distinguent par la vaste étendue des zones qui en sont affectées, et qui offrent habituel-

Caractères  
généraux  
des tremblements  
de terre comparés  
aux effets  
volcaniques.

tion, provenant, non de foyers secondaires, mais de la zone fluide centrale, est poussée vers l'extérieur par la compression que lui font subir les masses solides situées au-dessus : dans ce phénomène, l'action des gaz et des vapeurs ne joue probablement qu'un rôle accessoire.

lement des directions particulières. Cette propriété d'extension linéaire et presque indéfinie, directement opposée au caractère d'action rayonnante et circonscrite des effets volcaniques, montre que ces deux ordres de phénomènes ont un siège différent. Quand on voit des tremblements de terre se faire sentir presque simultanément à des distances de plusieurs centaines de lieues, on ne peut douter que le siège de leur action soit placé au-dessous de l'écorce terrestre. Les effets que nous éprouvons résultent d'une transmission des ébranlements que subit la paroi interne de cette écorce, au contact de la nappe liquide incandescente, dont la surface est soumise à des actions de divers ordres, physiques et chimiques; d'ailleurs, les fluides élastiques rassemblés dans cette zone de contact paraissent jouer un assez grand rôle dans les commotions.

Relations  
des tremblements  
de terre  
avec les zones  
volcaniques.

Les tremblements de terre, en général, sont indépendants des volcans en activité, bien que pouvant réagir sur eux et même y provoquer des éruptions. Néanmoins, les régions qui sont bouleversées par les secousses sont en rapport avec les principaux accidents orographiques, et surtout avec les grandes zones volcaniques, qui nous représentent les lignes les plus récentes de fractures profondes; et c'est évidemment dans le sens de ces lignes que les effets doivent être le plus marqués: d'ailleurs, ils doivent offrir des caractères variables, suivant la nature, la structure, et le mode de superposition des compartiments de l'enveloppe extérieure.

Causes  
principales  
des différences  
dans le mode  
d'action  
des volcans et des  
tremblements  
de terre.

La différence capitale entre les tremblements de terre et les phénomènes des volcans consiste donc en ce que les premiers ont leur siège général au-dessous de la croûte du globe, tandis que les seconds ont leurs foyers immédiats à l'intérieur même de cette croûte, et par suite à des profondeurs beaucoup moindres, ce qui rend bien

plus facile l'ouverture et la conservation de cheminées de communication avec l'extérieur. De là résulte la dissimilitude dans le mode d'action; les effets des tremblements de terre sont presque exclusivement mécaniques, tandis que, à raison de la proximité de leurs foyers, les manifestations des volcans se distinguent principalement par des phénomènes calorifiques et chimiques, dans lesquels l'intervention des éléments extérieurs et notamment des eaux superficielles paraît jouer un rôle important.

Quelque désastreux qu'ils soient pour l'homme, les tremblements de terre ne font naître que des crevasses d'une petite étendue, tant en profondeur qu'en surface; et leur répétition indéfinie ne peut produire aucune des grandes rides qui sillonnent la surface du globe. La formation des chaînes de montagnes ou chaînes de volcans est, en effet, la conséquence de ruptures opérées dans l'épaisseur entière de la croûte terrestre; c'est-à-dire à travers une hauteur de matière solide qui n'est pas moindre de 40 kilomètres. De telles fractures exigent évidemment l'action de forces infiniment plus puissantes, et dont, suivant les vues ingénieuses de M. Élie de Beaumont, le développement graduel paraît dû à l'excès croissant d'ampleur de la périphérie du globe relativement à la masse interne, qui se contracte de plus en plus, à mesure que le refroidissement se propage à de plus grandes profondeurs (1).

La formation  
des chaînes  
de montagnes  
ne peut être  
attribuée à des  
tremblements  
de terre.

(1) D'après les vues de M. Élie de Beaumont, auquel on doit l'explication la plus satisfaisante des déformations de la croûte du globe: « les chaînes de montagnes correspondent (voir *Systèmes de montagnes*, p. 1517) aux parties de cette croûte dont » l'étendue horizontale a diminué par l'effet d'un *écrasement* » transversal, lequel atteint toutes les parties de l'écorce terrestre situées au-dessous de la crête montueuse: les masses

Ainsi, les résultats que j'ai déduits de mes recherches, loin d'être en désaccord avec les observations géologiques, fournissent une explication simple et naturelle des phénomènes relatifs à l'émission des roches ignées; ils éclaircissent les relations qui lient les effets volcaniques et les tremblements de terre à la formation des chaînes de montagnes. Nous avons vu aussi se dévoiler les rapports mutuels des roches éruptives les plus variées, qui forment comme des rameaux divergeant de deux troncs distincts : en m'appuyant sur des lois et des faits acquis à la science, j'ai pu rendre compte des inégalités qui ont lieu dans leur composition chimique et des variations que l'on observe dans leurs caractères minéralogiques. Au lieu de tout cet enchevêtrement de roches ignées si complexes, que l'on voit représentées sur les tableaux où de savants géologues ont voulu figurer la structure de l'intérieur de la terre, il n'y a qu'à concevoir, au-dessous de l'écorce du globe, une zone fluide présentant deux couches distinctes, d'où ont émané successivement toutes les roches qui sont venues s'épancher à la surface, et qui, après avoir éprouvé des effets de liquation plus ou moins prononcés, ont revêtu des formes diverses, suivant les conditions dans lesquelles s'est opéré leur refroidissement, et aussi en rapport avec l'action inégale des gaz et des vapeurs, action qui s'est

» solides écrasées, ainsi que les masses molles comprimées, ont augmenté d'épaisseur d'une quantité correspondante à la diminution qu'a subie leur étendue horizontale. » Cette belle conception des causes qui ont donné naissance aux chaînes des montagnes me paraît ne pas être applicable à la généralité des phénomènes volcaniques actuels : de là résulte la nécessité d'admettre, dans l'émission des roches pyrogènes, soit anciennes, soit modernes, la distinction fondamentale que j'ai établie entre les diverses éruptions, les unes de *premier ordre*, les autres de *deuxième ordre*.

manifestée d'une manière plus prononcée dans les produits de plus en plus modernes. J'aurais pu, d'ailleurs, citer comme une nouvelle confirmation des résultats de ce travail, les transitions que l'on a remarquées depuis longtemps, et dans beaucoup de pays, entre les diverses roches d'un même magma; ainsi les passages des granites aux porphyres quartzifères, aux eurites et pétrosilex, et leur liaison avec les roches trachytiques, ou bien les passages des roches amphiboliques aux roches pyroxéniques et aux roches diallagiques; mais je me suis déjà occupé de ces faits dans des travaux précédents.

## CINQUIÈME PARTIE.

## CLASSIFICATION NATURELLE DES ROCHES IGNÉES.

Si toutes les roches ignées dérivent de deux magmas, dont chacun a donné lieu à des émissions, depuis qu'il s'est formé une première croûte solide à la surface de la terre, il est clair que le classement de ces roches ne doit point avoir lieu suivant une échelle unique, mais bien suivant deux grandes séries parallèles, dont chacune correspond à l'un des magmas : de plus, il doit y avoir une série intermédiaire pour les roches hybrides. On est ainsi conduit logiquement à la classification qui est présentée par le tableau suivant, et qui me paraît concilier les trois sortes d'analogies, chimique, minéralogique et géologique.

Classement  
des roches ignées  
suivant  
trois séries.

GRANDES DIVISIONS en rapport avec l'âge des roches ignées (*).	DIFFÉRENCES de types tenant à la texture plus ou moins cristalline.	1 <sup>re</sup> SÉRIE.	SÉRIE INTERMÉDIAIRE.	2 <sup>e</sup> SÉRIE.
				<p><i>Roches acides ou siliceuses,</i> Riches en silice et en alcali, pauvres en bases terreuses et en oxyde de fer.</p> <p><i>Groupe granito-trachytique,</i> Contenant de l'orthose, comme élément essentiel, avec du quartz, du mica et un peu de feldspath du 6<sup>e</sup> système (oligoclase ou albite).</p>
Roches anciennes ou paléopyres. (Périodes primitive et paléozoïque.)	Types cristallins.	Granite.	Syénite.	Diorite ou diabase.
	Types porphyriques et aphaniques.	<p>Dérivations du granite. { Pegmatite. Leptynite. Hyalomrite.</p> <p>Eurites ou porphyres feldspathiques, quartzifères et micacés. Pétrosilex et pechsteins.</p>	<p>Porphyres syénitiques, présentant un peu d'amphibole, avec prédominance d'éléments feldspathiques.</p> <p>Pétrosilex à teinte foncée ou cornéennes.</p>	<p>Kersanton. { Diorite offrant une substitution de mica ferro-magnésifère à l'amphibole.</p> <p>Porphyres dioritiques et ouraliti-ques. Porphyres kersantiques. Aphanites.</p>
Roches plus ou moins riches en magnésie.	Types cristallins.	Protogynes communes (granites avec un peu de talc).	Protogynes très-riches en talc. Syénites diallagiques et hypersthéniques, avec prédominance d'éléments feldspathiques.	Euphotides plus ou moins diallage. Hypercrites riches en hypersthène.
	Types porphyriques	Idem porphyriques.	Idem porphyriques.	Id. porphyriques et trappéennes. Variétés ou euphotides compactes.
Roches d'un âge méso-pyre (de	Types cristallins.	Granites des terrains secondaires.	Syénites des terrains secondaires.	Diorites, ophites et roches à base d'ouralite. Trapps doléritiques.
	Types porphyriques et aphaniques.	Porphyres feldspathiques. Pétrosilex et pechsteins.	Porphyres syénitiques avec passage aux porphyres ophitiques et aux melaphyres.	Porphyres ophitiques. Melaphyres et spilites. Trapps subcompactes.
Roches modernes ou néopyres, appartenant en général	à la période tertiaire.	Types cristallins.	Variétés de trachytes riches en amphibole ou pyroxène. (Trachy-dolérites d'Abisch, correspondant à la syénite.)	Dolérites et roches pyroxéniques à grains cristallins.
	Types porphyriques aphaniques et vitreux.	Idem porphyriques. Donites. Phonolithes. Rétinites, perlites, obsidiennes, ponces.	Idem porphyriques. Perlites. Pechsteins ferro-calcifères.	Basanites ou porphyres basaltiques. Basaltes compactes et vitreux.
à la période quaternaire et à l'époque actuelle.	Types cristallins.	Laves trachytiques, contenant avec le feldspath vitreux peu de pyroxène ou d'amphibole.	Laves trachy-doléritiques contenant, avec le feldspath vitreux, du pyroxène ou de l'amphibole.	Laves doléritiques. Laves leucito-augitiques. Et laves pyroxéniques en général.
	Types porphyriques aphaniques et vitreux.	Porphyres avec feldspath vitreux. Obsidiennes. Ponces.	Idem à l'état porphyrique. Idem à l'état compacte ou vitreux. Obsidiennes et ponces ferro-calcifères.	Idem porphyriques. Idem à l'état compacte ou vitreux.

(\*) Les divisions chronologiques des roches ignées ne peuvent avoir un caractère absolu; car, pendant la période secondaire, il a encore surgi des roches ignées qui ressemblaient par leurs caractères minéralogiques aux espèces de la section paléopyrique; et réciproquement pendant les périodes primitives et paléozoïque, il y avait déjà quelques éruptions dont les produits commençaient à affecter les caractères des types de la section méso-pyrique. Les roches méso-pyres et néopyres, envisagées sous le point de vue chronologique, donneraient lieu à la même remarque.



## DE L'EMPLOI

DES PROPRIÉTÉS OPTIQUES BIRÉFRINGENTES EN MINÉRALOGIE.

Par M. A. DES CLOIZEAUX.

M. Brewster a établi depuis longtemps que les corps cristallisés biréfringents peuvent se partager en deux catégories distinctes. Dans l'une se trouvent les cristaux à un seul axe de double réfraction; ils appartiennent soit au système du prisme carré, soit au système rhomboédrique, et leur axe optique coïncide toujours avec l'axe cristallographique principal; dans l'autre viennent se ranger tous les cristaux qui possèdent deux axes de double réfraction, et qui appartiennent à l'un des trois systèmes cristallographiques, du prisme rhomboïdal droit, du prisme rhomboïdal oblique, et du prisme oblique non symétrique.

On est convenu d'appliquer spécialement le nom de *bissectrice*, ou *ligne moyenne*, à la bissectrice de l'angle aigu que forment entre eux les axes optiques réels ou intérieurs des cristaux à deux axes. La position de cette ligne reste le plus généralement constante pour tous les échantillons d'un même groupe minéralogique, tandis que, comme chacun le sait, l'écartement de leurs axes, et même le plan dans lequel ils se trouvent, peut être différent.

L'axe unique des cristaux de la première catégorie et la bissectrice des cristaux de la seconde coïncident avec l'une des trois directions que Fresnel a nommées

axes d'élasticité optique; si la coïncidence a lieu avec l'axe de plus *petite* élasticité, on peut, pour abrégé, dire que le cristal est *attractif* ou *positif*. Si la coïncidence a lieu avec l'axe de plus *grande* élasticité, le cristal sera *répulsif* ou *négalif*.

Les recherches, qui font l'objet de ce mémoire, ont pour but de montrer que la détermination précise du caractère optique de l'axe unique des cristaux à un axe, ou de la bissectrice des cristaux à deux axes, peut fournir à la minéralogie un élément précieux pour assurer la réunion ou la séparation de certaines espèces, lorsque l'étude cristallographique et chimique laisse cette réunion ou cette séparation incertaine: elles confirment aussi ce fait, déjà annoncé par M. de Sénarmont (1), que des corps chimiquement et géométriquement isomorphes peuvent très-bien offrir des propriétés optiques opposées. Il en résulte, pour l'espèce minéralogique, une définition un peu différente de celle qui était adoptée jusqu'ici, de sorte qu'un certain nombre d'espèces anciennes devront désormais être considérées comme formant plutôt des groupes ou familles.

La véritable espèce simple ne doit en effet comprendre, selon moi, que les individus dont tous les caractères chimiques, cristallographiques et optiques sont semblables: le groupe ou la famille se composera, au contraire, des individus ayant la même forme cristalline, mais dont la composition chimique offre des variations soumises aux lois de l'isomorphisme, et dont les propriétés optiques biréfringentes peuvent se manifester avec des signes contraires.

(1) Recherches sur les propriétés optiques biréfringentes des corps isomorphes (*Annales de chimie et de physique*, t. XXXIII, p. 391.)

Ces définitions restreignent nécessairement beaucoup le nombre des espèces naturelles, et il ne saurait en être autrement; car la nature ne s'astreint pas aux précautions que nous avons l'habitude de prendre dans nos laboratoires, et les minéraux sont soumis, pendant leur formation, à une foule d'influences que nous sommes loin de connaître exactement. Ces influences doivent certainement produire des composés hybrides dont nous ne savons presque jamais distinguer les éléments parasites. La synthèse seule pourrait fournir le produit simple dégagé de toutes ses parties hétérogènes, et les travaux, entrepris depuis quelques années dans cette voie, nous ont déjà enrichis de données précieuses; mais en général, lorsqu'on prend les minéraux tout formés, on ne parvient guère à les ranger qu'en groupes, dans lesquels l'isomorphisme, tel que l'a défini M. Mitscherlich, joue le principal rôle. C'est ainsi que nous avons le groupe des *grenats*, celui des *pyroxènes*, celui des *amphiboles*, celui des *micas*, celui des *topazes*, celui des *tourmalines*, celui des *apophyllites*, celui des *orthoses*, etc.

Les différences que présentent entre eux les divers membres d'un même groupe peuvent être de plusieurs sortes; ainsi, tandis que dans le *diopside* et l'*augite*, c'est surtout la composition chimique qui éprouve les plus grandes variations, les individus du groupe *mica* offrent à la fois des compositions et des propriétés optiques dissemblables; et pour les *apophyllites*, c'est seulement le caractère optique qui jusqu'ici ne s'est pas montré constant. Des recherches ultérieures rattacheront sans doute cette inconstance à des différences dans la constitution chimique de ces corps.

On sait que depuis longtemps le docteur Brewster, sir John Herschel et M. Biot ont signalé plusieurs par-

ticularités dans les propriétés optiques de l'apophyllite; la plus remarquable, découverte par Herschel, consiste en ce que l'axe cristallographique coïncide tantôt avec l'axe de plus *petite* élasticité, tantôt avec l'axe de plus *grande* élasticité optique.

L'expérience prouve que cette transformation des propriétés optiques ne s'effectue pas sans que la constitution intime de la substance soit profondément modifiée; en effet, les cristaux *positifs* d'apophyllite en tête desquels on doit placer les échantillons d'Utoë, désignés par Herschel sous le nom de *leucocyclite*, font voir au microscope polarisant d'Amici, avec la lumière blanche, un fond blanc coupé par une croix et par trois ou quatre anneaux d'un noir presque parfait; les cristaux *negatifs* montrent au contraire une croix grisâtre traversant un champ violet, dans lequel aucun anneau n'est visible à cause de leur trop grande dilatation. Les cristaux *positifs* ont donc un pouvoir biréfringent suffisant pour polariser tous les rayons dont se compose la lumière blanche, tandis que dans les cristaux *negatifs*, dont le pouvoir biréfringent est beaucoup plus faible, tous les rayons autres que les rayons violets traversent la substance sans y éprouver de double réfraction et viennent s'éteindre dans l'analyseur, en conservant leur polarisation primitive.

Les cristaux *positifs*, qui produisent le phénomène le plus net, sont, comme je viens de le dire, les échantillons d'Utoë; les échantillons *negatifs*, où l'effet est le plus tranché, sont des lames assez grandes de provenance inconnue, dont M. Soleil père possédait autrefois une certaine quantité, et de très-petits cristaux tapisant un calcaire plus ou moins compacte de Czielowa, en Bannat; mais entre ces types extrêmes, il existe une foule de variétés mélangées, où les caractères optiques

sont souvent difficiles à saisir, et l'on rencontre même assez fréquemment des apophyllites sans aucune action régulière sur la lumière polarisée.

On sait du reste, par les expériences de MM. Brewster et Biot, que ce minéral n'offre presque jamais une structure homogène, et que ses cristaux se composent généralement de lames emboîtées les unes dans les autres. Cependant, dans les cristaux *negatifs* du Bannat, toutes les lames coupées perpendiculairement à l'axe, m'ont offert une double réfraction de même sens et de même intensité; et si l'on couche un de ces cristaux sur une des faces du prisme, de manière que son axe soit à 45° du plan primitif de polarisation, on établit très-facilement une compensation qui produit des hyperboles colorées, en faisant passer au-dessus du cristal une lame prismatique de quartz dont l'axe soit parallèle à l'axe de l'apophyllite.

Dans certains échantillons de l'île de Skye, j'ai au contraire trouvé à un bout des lames *positives* montrant une croix noire très-nette, et à l'autre bout, des lames paraissant encore *positives*, mais n'ayant plus qu'un pouvoir biréfringent si faible, que la croix noire était à peine visible. Sur ces derniers cristaux comme sur ceux de Férœe, qui présentent le plus nettement le phénomène attribué par M. Biot à la polarisation lamellaire, la compensation par la lame de quartz est à peu près impossible.

Ces variations dans les propriétés optiques des divers individus du groupe *apophyllite*, ont été reproduites et naturellement expliquées par les curieuses expériences de M. de Sénarmont, décrites dans le mémoire que j'ai cité plus haut. En faisant cristalliser ensemble de l'hyposulfate de strontiane, sel à un axe *negatif*, et de l'hyposulfate de plomb, sel à un axe *positif*, M. de Sénarmont a obtenu des échantillons tantôt *negatifs*, tan-

tôt *positifs*, suivant que l'un des deux sels composants prédominait; d'autres cristallisations montraient au microscope d'Amici un champ violacé coupé d'une croix noire, dans lequel l'affaiblissement du pouvoir biréfringent ne permettait plus d'apercevoir que le premier anneau. Dans certains mélanges des deux sels à propriétés optiques contraires, la double réfraction était donc annulée; ou plutôt, ces mélanges se comportaient pour une extrémité du spectre, comme l'hyposulfate de plomb, en réfractant le rayon ordinaire moins que le rayon extraordinaire; et pour l'extrémité opposée, comme l'hyposulfate de strontiane, en réfractant le rayon ordinaire plus que le rayon extraordinaire; ils n'avaient pas de double réfraction pour les rayons intermédiaires du spectre, les rayons ordinaire et extraordinaire demeurant réunis.

Selon toute probabilité, ces mélanges en proportions variables de deux corps chimiquement et cristallographiquement isomorphes, existent dans l'apophyllite; seulement jusqu'ici, l'élément à double réfraction *positive* s'est seul montré isolé dans les cristaux d'Utoë et de Fassa, tandis que l'élément à double réfraction *negative* nous est encore inconnu.

Le groupe des *micas*, sur les propriétés optiques desquels M. de Sénarmont a également publié des observations pleines d'intérêt dans les *Annales de chimie et de physique*, tome XXXIV, p. 171, ne nous offre plus, comme celui des apophyllites, des individus jouissant tantôt d'une double réfraction positive, tantôt d'une double réfraction négative; ici la ligne moyenne est toujours l'axe de plus grande élasticité, c'est-à-dire que tous les *micas* sont *négatifs*, ce qui permet immédiatement de distinguer ces minéraux d'avec les *chlorites*, par exemple, dont la très-grande majorité est positive.

Mais en admettant, avec M. de Sénarmont, que la forme primitive commune à toutes les variétés de mica, est un prisme rhomboïdal droit très-voisin de  $120^\circ$ , le plan des axes coïncide, tantôt avec la *grande* diagonale, tantôt avec la *petite* diagonale de la base de ce prisme. Dans l'un et l'autre cas, l'écartement des deux axes optiques est excessivement variable, et il est même quelquefois complètement nul, comme on l'observe dans certains cristaux de la Somma et des États-Unis.

L'inconstance de ce caractère s'explique très-simplement par la supposition que les deux termes extrêmes de chaque série peuvent se mélanger en toutes proportions; ces deux termes étant les variétés de mica où l'on a observé, dans deux directions rectangulaires, un écartement maximum de  $70^\circ$  environ. Dans ces combinaisons de corps géométriquement et chimiquement isomorphes, il se fait un échange mutuel de propriétés optiques, et quand le mélange est en proportions optiquement équivalentes, ces propriétés peuvent complètement être annulées l'une par l'autre. M. de Sénarmont a produit des phénomènes tout à fait du même genre, en combinant en proportions variables du sel de Seignette potassique, dont les axes s'ouvrent dans un plan parallèle à la *petite* diagonale, avec du sel de Seignette ammoniacal dont les axes s'ouvrent au contraire dans un plan parallèle à la *grande* diagonale de la base (1).

Il serait sans doute excessivement intéressant de pouvoir comparer entre elles les compositions des divers *micas* dont les axes optiques sont situés dans deux plans se coupant à angle droit; malheureusement nous man-

(1) Voyez le mémoire sur les propriétés optiques biréfringentes des corps isomorphes, p. 429.

Ce dernier clivage était pourtant assez net, sur les échantillons analysés par M. Dainour, et qui lui avaient été envoyés par M. Forchammer.

L'*eukolite* ne s'est présentée jusqu'ici qu'en petites masses cristallines dont quelques-unes se séparent facilement en prismes d'environ  $120^\circ$  et  $60^\circ$  terminés par une base perpendiculaire aux faces verticales. En examinant un grand nombre de ces fragments qui m'avaient été remis par M. Sæman, j'en ai rencontré un qui portait, sur l'angle solide obtus du prisme de  $120^\circ$ , une face inclinée sur les deux faces verticales adjacentes, d'environ  $117^\circ$ , nombre très-voisin de l'incidence du rhomboèdre  $a^2$  sur le prisme  $d^1$  de l'*eudialyte*.

Malgré ce rapprochement, les mesures prises sur les fragments d'*eukolite* ne me paraissaient pas susceptibles d'une assez grande précision, pour permettre de conclure avec certitude si leur forme était un prisme rhomboïdal droit, voisin de  $120^\circ$ , ou un prisme hexagonal régulier. Pour lever mes doutes à cet égard, j'ai eu recours aux caractères optiques; en amincissant suffisamment un fragment d'*eukolite* parallèlement à sa base, j'ai pu reconnaître que cette substance se comportait comme un cristal à un seul axe *néгатif*; dès lors sa forme ne pouvait plus être rapportée qu'au rhomboèdre, et d'après ce que j'ai dit plus haut, cette forme était presque identique à celle de l'*eudialyte*. Il devenait donc intéressant de comparer les propriétés optiques biréfringentes de ce dernier minéral, à celles de l'*eukolite*: c'est ce que j'ai fait en usant convenablement un rhomboèdre basé d'*eudialyte*; mais au lieu de trouver dans cette substance un axe *néгатif*, j'ai reconnu avec étonnement un axe *positif*. Voici donc deux minéraux géométriquement semblables, à peu près identiques dans leur composition, mais dans l'un desquels l'axe optique

coïncide avec l'axe de plus *grande* élasticité, tandis que dans l'autre, il coïncide avec l'axe de plus *petite* élasticité.

Cette opposition des caractères biréfringents est encore plus remarquable ici que dans les apophyllites, et dans les combinaisons d'hyposulfate de strontiane et d'hyposulfate de plomb réalisées par M. de Sénarmont; car d'une part, l'*eudialyte* et l'*eukolite* offrent toutes deux une couleur rouge qui ne diffère que par la nuance; et comme des lames même très-minces ne possèdent qu'une transparence assez imparfaite, ces lames ne laissent à peu près passer que les rayons rouges de l'une des extrémités du spectre; d'autre part, l'hyposulfate de strontiane et l'hyposulfate de plomb sont chimiquement isomorphes, mais avec des éléments différents, tandis que d'après les analyses de M. Damour, les deux minéraux en question contiennent essentiellement les mêmes principes constituants. Suivant les définitions que j'ai données au commencement de mon mémoire, on pourrait donc conserver le nom d'*eudialyte* au groupe minéralogique qui comprendrait l'ancienne *eudialyte positive* du Groënland, et l'*eudialyte négative*, ou *eukolite* de Norwége.

Un autre exemple du même genre va nous être fourni par un minéral appartenant à un groupe naturel, qui a offert jusqu'à présent une très-grande incertitude sur la nature des substances qu'on doit lui rapporter. Ce minéral est la *pennine*, connue d'abord sous le nom de *mica triangulaire* de Binnen, décrite plus tard sous celui de *pennine*, par MM. Fröbel et Schweitzer, et enfin examinée de nouveau, il y a quelques années par M. Mari-gnac et par moi (1).

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3<sup>e</sup> série, t. X, p. 427.

Les quatre localités connues jusqu'ici pour la *pennine*, sont : les vallées de Zermatt et de Binn en Valais, celle d'Ala en Piémont, et celle de Pfitsch en Tyrol.

La *pennine* se présente toujours en rhomboèdres aigus d'environ  $65^{\circ} 28'$  plus ou moins fortement tronqués par une base perpendiculaire à l'axe principal; cette troncature est quelquefois assez profonde pour réduire les cristaux à l'état de tables à bases hexagonales, dont les pans sont alternativement inclinés sur chacune des bases, de  $103^{\circ} 45'$  et  $76^{\circ} 15'$  (1).

On rencontre assez fréquemment une hémitropie composée de deux individus tabulaires, opposés base à base, et disposés de telle façon que les douze plans du solide résultant déterminent par leur rencontre trois angles rentrants et trois angles saillants de  $152^{\circ} 30'$ .

Un clivage très-facile permet de diviser la *pennine* en lames minces perpendiculaires à l'axe; ces lames se laissent souvent briser suivant les trois côtés d'un triangle équilatéral, parallèles aux faces du rhomboèdre. La grosseur des cristaux varie depuis quelques millimètres jusqu'à plusieurs centimètres; ils jouissent au plus haut

(1) Les premiers échantillons de Zermatt que j'avais examinés étaient des cristaux *negatifs* sur lesquels j'avais trouvé très-approximativement, pour l'angle au sommet du rhomboèdre,  $63^{\circ} 15'$ , et pour l'inclinaison de ce rhomboèdre sur la base,  $100^{\circ} 30'$ ; les nouvelles mesures que je donne ici ont été prises, au goniomètre de réflexion, sur de très-petits cristaux *positifs*, à faces miroitantes et suffisamment unies, rapportés dernièrement par M. Hugard, de la même localité, et sur des lames vertes d'Ala, également *positives*; ces mesures sembleraient faire croire que les cristaux *positifs* et les cristaux *negatifs* n'offrent pas exactement les mêmes incidences; cependant, en présence de l'inégalité des faces de la plupart des cristaux de Zermatt sur lesquels j'avais opéré autrefois, je n'oserais pas affirmer si cette différence est aussi grande que l'indiquent mes nouvelles et mes anciennes mesures.

degré du dichroïsme; ce phénomène est surtout visible sur les très-petits cristaux qui offrent une transparence complète, et qui sont d'un beau vert-émeraude, ou d'un vert bleuâtre, lorsque la lumière les traverse normalement à leur base, tandis qu'ils sont rouge-hyacinthe quand elle les traverse normalement à leur axe.

Les lames minces de *pennine*, examinées à l'aide du microscope polarisant, présentent les particularités suivantes : si l'on emploie un faisceau de rayons parallèles, on voit que ce faisceau est dépolarisé dans tous les azimuths, comme cela doit avoir lieu à travers un corps *uniaxe*, mais qu'en même temps une grande partie en est absorbée par le minéral : la cause principale de cette absorption paraît être la structure particulière de la *pennine*, dont les lames ressemblent à un *lapis* de fibres tordues et serrées les unes contre les autres. Si le faisceau employé se compose de rayons convergents, on voit en général apparaître une croix noire plus ou moins nette, au milieu d'un champ bleu ou vert jaunâtre : quant aux anneaux, on ne peut jamais les apercevoir, à cause de leur très-grande dilatation.

Le pouvoir biréfringent de la *pennine* étant très-faible, ce n'est qu'à l'aide d'une lame de mica excessivement mince qu'on parvient à déterminer avec quel axe d'élasticité coïncide son axe de double réfraction; on reconnaît ainsi que les lames à fond bleu extraites, soit des petits cristaux transparents, soit de la majorité des grandes tables vert bleuâtre de Zermatt ou du Tyrol, soit encore des cristaux à base triangulaire de Binn, possèdent un axe *negatif*, tandis que les lames à fond verdâtre, provenant de Zermatt et surtout d'Ala, ont un axe *positif*; quelques lames de cette dernière localité paraissent complètement neutres et ne laissent pas du tout passer la lumière polarisée. Pour les petits

cristaux transparents, le sens de la double réfraction se vérifie facilement, en plaçant horizontalement l'axe d'un de ces cristaux à  $45^\circ$  du plan primitif de polarisation, et cherchant à établir la compensation à l'aide d'une lame prismatique de quartz; cette compensation ayant lieu lorsque l'axe du quartz est *parallèle* à l'axe de la *pennine*, on en conclut que celle-ci est de signe contraire au quartz, ou *négative*.

Lorsqu'on promène une lame de *pennine* ou qu'on la fait tourner dans son propre plan, les branches de la croix noire paraissent souvent se diviser; mais cette division n'a rien de constant, et elle n'est sans doute due, comme celle des apophyllites, qu'à des irrégularités dans la structure du minéral. La chaleur ne m'a paru produire aucun effet appréciable sur les dislocations des branches de la croix noire.

Les analyses de la *pennine* publiées par MM. Schweitzer, Marignac et moi, n'ont porté jusqu'ici que sur des échantillons de Binnen et de Zermatt, dont les propriétés biréfringentes sont en général de même sens; il serait intéressant de leur comparer la composition des cristaux d'Ala, qui offrent tantôt des propriétés biréfringentes opposées, tantôt une neutralisation complète de ces propriétés, et qui par conséquent, doivent être des combinaisons en proportions variables de corps géométriquement et chimiquement isomorphes, mais optiquement dissemblables.

Les divers échantillons de *pennine* présentent donc exactement les mêmes phénomènes que les *apophyllites*, et ils offrent la réalisation des diverses combinaisons que M. de Sénarmont s'était proposé d'obtenir en faisant cristalliser ensemble l'hyposulfate de strontiane et l'hyposulfate de plomb.

Si maintenant nous cherchons à distinguer, au moyen

des propriétés biréfringentes, les divers minéraux rangés dans la grande famille des *chlorites*, nous trouvons qu'à côté de la *pennine*, vient se placer la *Leuchtenbergite*.

Les minéralogistes ne sont pas encore bien d'accord sur la composition et la forme de ce minéral, qui a été principalement trouvé dans l'Oural; M. Breithaupt le regarde comme une espèce à part; d'autres en font un pseudomorphe du *talc*; d'autres enfin le réunissent à l'ancienne *chlorite*. Suivant M. Kenngott, la composition admise jusqu'à présent devrait être modifiée, car ce savant a reconnu, dans l'intérieur des lames de *Leuchtenbergite*, de petits grenats dont la présence n'a pas été remarquée par les chimistes auxquels on doit son analyse. Quant à la forme que lui assigne M. Kenngott, ce serait un prisine rhomboïdal oblique d'environ  $120^\circ$ , dont la base ferait, avec les pans du prisme, des angles de  $95^\circ$  et  $87^\circ$ . Les échantillons qui existent dans les collections de Paris sont tous trop altérés à la surface pour permettre de prendre leurs mesures autrement qu'au goniomètre d'application; j'y ai reconnu de cette manière un prisme hexagonal de  $120^\circ$ , avec une base qui m'a toujours paru normale aux faces verticales. Du reste, cette altération n'est que superficielle, car si l'on clive un cristal parallèlement à sa base, on peut en extraire des lames transparentes où l'on reconnaît immédiatement un seul axe *positif* de double réfraction. Lorsque ces lames sont suffisamment épaisses, on aperçoit même les trois premiers anneaux; leur pouvoir biréfringent est donc plus considérable que celui de la *pennine*. L'apparence uniaxe de la *Leuchtenbergite* prouve que sa forme dérive d'un rhomboèdre comme celle de la *pennine*, ou bien qu'elle appartient, comme celle des *micas*, à un axe, à un prisme rhomboïdal droit susceptible de modifications hémihédriques; mais

la première hypothèse me paraît la seule admissible, car la composition de la *pennine* est si voisine de celle de la *Leuchtenbergite*, telle que l'ont établie les analyses de M. Hermann, qu'on doit regarder ces deux minéraux comme faisant partie d'un même groupe, dont le type  *négatif*  serait la *pennine négative* de Zermatt, caractérisée par sa couleur vert bleuâtre et par la présence d'environ 4 pour 100 d'oxyde ferreux, et dont le type  *positif*  serait la *Leuchtenbergite* blanche, presque complètement exempte d'oxyde de fer.

M. Delesse a analysé, sous le nom de *chlorite* blanche de Mauléon, de petites lames hexagonales, presque toujours formées de lamelles groupées en roses, qui doivent trouver leur place ici : leur constitution chimique est en effet identique à celle de la *Leuchtenbergite*, sauf que le fer a complètement disparu ; les caractères optiques sont aussi exactement les mêmes, puisque, sous le microscope polarisant, la *chlorite* de Mauléon se comporte également comme un cristal à un axe  *positif* .

Viennent maintenant les nombreuses variétés de *clinocllore*.

M. Blake a décrit sous ce nom un minéral de Pensylvanie très-voisin de ce qu'on nommait autrefois *chlorite hexagonale*, et qui se présente généralement en grandes lames triangulaires. Ces lames possèdent deux axes de double réfraction, dont le plan est généralement parallèle à un de leurs côtés, ainsi que M. de Sénarmont l'a déjà fait remarquer dans les *Annales des Mines*. Les axes n'étant pas également inclinés autour d'une ligne perpendiculaire au plan des lames, suivant lequel la substance se divise à la manière d'un *mica*, on en a conclu que la forme primitive du *clinocllore* est un prisme rhomboïdal oblique. Cette conclusion a été pleinement confirmée par l'examen que M. de

Kokscharow a fait des formes cristallines du minéral désigné précédemment sous le nom de *chlorite* d'Achmatowsk, et qui est identique au *clinocllore* de Pensylvanie. Les nombreuses modifications, décrites par M. de Kokscharow, se rapportent en effet d'une manière très-simple à un prisme rhomboïdal oblique de  $125^{\circ} 37'$ , dans lequel la base fait, avec les faces verticales, un angle de  $113^{\circ} 57'$ . Cette base offre la propriété remarquable d'avoir ses angles plans égaux à  $120^{\circ}$  et à  $60^{\circ}$ , d'où il résulte que toutes les modifications placées, soit sur ses arêtes, soit sur ses angles aigus, déterminent dans son plan des lignes qui se rencontrent sous des angles de  $120^{\circ}$  ou de  $60^{\circ}$ . Outre le clivage principal qui se fait parallèlement à la base du prisme, le *clinocllore* en lames minces se laisse souvent diviser comme les micas, dans des directions parallèles aux côtés de cette base et à sa diagonale  *inclinée* , ce qui produit, dans ces directions, soit des hexagones réguliers, soit des triangles équilatéraux. Le plan des axes optiques étant, comme je l'ai dit plus haut, généralement parallèle à un côté de ces triangles ou de ces hexagones, coïncide nécessairement avec la diagonale  *inclinée*  de la base : M. Blake a pourtant indiqué ce plan comme étant perpendiculaire à un côté des lames triangulaires du *clinocllore* d'Amérique ; mais cette position tient sans doute à ce que le *clinocllore*, comme certains *micas*, possède encore d'autres indices de clivage dans le sens de la diagonale horizontale de la base, et dans celui de la double troncature  $g^2$ , située sur les arêtes latérales aiguës du prisme rhomboïdal.

Or, dans le cas particulier où la base d'un prisme rhomboïdal a des angles de  $120^{\circ}$  et de  $60^{\circ}$ , les traces de la modification  $g^2$  déterminent des triangles équilatéraux ou des hexagones réguliers dont un des côtés, se confon-

dant avec la diagonale *horizontale*, est nécessairement perpendiculaire à la diagonale *inclinée* de cette base.

Le pouvoir biréfringent du *clinocllore* est assez fort pour permettre de voir dans tous les échantillons les deux systèmes d'anneaux non symétriques; il est donc facile de constater que l'écartement des axes varie avec les localités d'où proviennent ces échantillons, mais que la ligne moyenne coïncide toujours avec l'axe de plus *petite* élasticité. Le plus grand écartement qui a été observé dans le *clinocllore* d'Amérique, est d'environ 86° d'après Beer; dans le *clinocllore* d'Achmatowsk, les axes sont plus rapprochés, et ils mesurent un angle voisin de 48°. M. de Kokscharow a déjà réuni au *clinocllore*, la *chlorite* de Schwarzenstein, analysée par Kobell; voici les diverses variétés dont j'ai pu me procurer des échantillons, et qui s'y rapportent également:

1° La *chlorite hexagonale* d'Ala qui se trouve avec le diopside et les grenats rouges, sous forme de prismes plus ou moins contournés et composés de lames empilées d'un vert plus ou moins pâle: ces échantillons sont souvent dichroïtes; nous les avons décrits et analysés, M. Marignac et moi, dans les *Annales de chimie et de physique*, 5<sup>e</sup> série, t. X. Leur composition est identique à celle du *clinocllore* d'Achmatowsk, et l'écartement de leurs axes optiques est presque le même.

2° La *chlorite hexagonale* de Pfitsch, de Pfunders et de Zillerthal en Tyrol. Cette variété se présente presque toujours en dodécaèdres bipyramidés à base hexagonale, dont toutes les faces ont généralement la même inclinaison sur cette base. Vues dans un faisceau polarisé de rayons parallèles, les lames extraites de ces cristaux montrent un assemblage de six parties triangulaires plus ou moins régulières; elles appartiennent donc à des macles semblables à celles qui ont été dé-

crites par M. de Kokscharow pour les cristaux d'Achmatowsk: ces macles se composent de trois individus complètement enchevêtrés les uns dans les autres à la manière des *cymophanes* de l'Oural; les plans d'assemblage sont presque exactement perpendiculaires à la base commune, qui se trouve ainsi divisée en six triangles équilatéraux, dont tous les sommets sont réunis au centre, et dont un des côtés coïncide avec les côtés de l'hexagone. Lorsque la pyramide résultante n'offre aucun angle rentrant, toutes ses faces appartiennent à une modification située sur les angles solides aigus de la forme primitive; dans les cristaux d'Achmatowsk, cette modification a pour symbole  $e^{1/4}$ , et son inclinaison sur la base est égale à 108° 14'. Les cristaux de Pfitsch, de Pfunders et de Zillerthal m'ont toujours offert des incidences plus fortes, qui m'ont conduit à admettre les divers symboles  $e^{4/9}$ ,  $e^{6/11}$ ,  $e^{3/5}$ ,  $e^{8/11}$  correspondant aux nombres:

$$pe^{4/9} = 120^{\circ} 21';$$

$$pe^{6/11} = 125^{\circ} 42';$$

$$pe^{3/5} = 128^{\circ} 35';$$

$$pe^{8/11} = 133^{\circ} 46'.$$

Les modifications  $e^{3/5}$  et  $e^{8/11}$  sont les plus habituelles, et ce sont elles qui m'ont fourni les mesures les plus nettes; ces mesures sont, du reste, à peu près impossibles à prendre avec une grande exactitude, à cause des stries et des inégalités que présentent les faces des dodécaèdres. Les deux pyramides qui composent ces dodécaèdres m'ont paru tantôt exclusivement formées par une seule modification, tantôt par une face  $e^{3/5}$  à la pyramide supérieure, et par une face  $e^{8/11}$  à la pyramide inférieure.

Malgré les macles des cristaux du Tyrol, on y reconnaît facilement les deux axes du *clinocllore* avec une ligne moyenne *positive*, et l'on peut même s'assurer

que le plan des axes y est encore parallèle à la diagonale *incliné*e de la base primitive.

3° On a désigné sous le nom de *tabérgite* de grandes lames vertes que Werner appelait *talc bleu* de Taberg en Wermeland; ces lames, dont la composition ne diffère de celle de la *pennine* que par un peu plus de silice et un peu moins de magnésie, offrent tous les caractères biréfringents du *clinocllore*; on doit donc les rattacher à cette dernière espèce.

Parmi les échantillons en lames vertes dont on ne connaît pas la composition, mais que leurs caractères extérieurs et leurs propriétés optiques biréfringentes doivent faire réunir au *clinocllore*, je citerai encore :

De petites lames arrondies d'un vert bleuâtre, à deux axes écartés *positifs*, de Marienberg;

Des lames hexagonales d'un vert pâle, parfaitement transparentes, à deux axes *positifs* écartés, sans localité;

Des lames d'un vert émeraude un peu contournées à deux axes écartés : pouvoir biréfringent faible; de Sibérie?

De petites lames vertes implantées sur une sorte de *métaxite* fibreuse à deux axes *positifs* rapprochés : pouvoir biréfringent très-faible; du Tyrol;

De grandes lames hexagonales vertes, accompagnées d'asbeste fibreuse dure, à deux axes *positifs* voisins : pouvoir biréfringent faible; localité inconnue;

Tous ces échantillons font partie de la collection de l'École des mines : les deux derniers pourraient peut-être appartenir au groupe des *pennines positives*;

Des lames vertes à deux axes *positifs* peu écartés, offrant de très-beaux anneaux, d'Arendal? collection du Muséum;

Des lames d'un beau vert à deux axes *positifs* très-écartés, étiquetés « *talc laminaire* » et possédant un pouvoir biréfringent assez fort, sans localité; collection du Muséum.

Enfin des lames vertes transparentes qui se trouvent à Pfunders en Tyrol, avec une sorte de chlorite bacillaire entremêlée de longs prismes contournés de tourmaline noire; ces lames ont tous les caractères du *clinocllore*, leurs axes sont écartés, et les anneaux dissymétriques qu'elles montrent dans la lumière polarisée sont très-nets.

4° On rencontre avec le minerai de fer oxydulé de Traverselle, des lames grossièrement hexagonales, ayant jusqu'à 3 et même 6 centimètres de côté; ces lames sont plus onctueuses au toucher que le *clinocllore* ordinaire, et leur poudre rappelle tout à fait celle du minéral nommé vulgairement *craie de Briançon*. M. Marignac en a publié trois analyses (1), sous le nom de *chlorite de Traverselle*; et comme il a trouvé des quantités un peu variables de silice, d'oxyde ferreux et d'eau, il en a conclu que cette substance ne constituait pas une espèce définie, mais qu'elle était probablement un mélange de *chlorite* et de *talç*; cette conclusion paraît confirmée d'une manière bien remarquable par les propriétés optiques; en effet, en examinant attentivement des lames provenant de l'échantillon analysé par M. Marignac, j'ai vu qu'elles se composent : d'une enveloppe extérieure d'un vert clair, transparente, possédant deux axes optiques excessivement rapprochés, dont la bissectrice est *positive*, et d'un centre translucide, vert noirâtre, à deux axes nettement séparés, avec une bissectrice *negative* : la disposition des branches d'hyperbole qui résultent de la dislocation de la croix noire, lorsqu'on fait tourner la lame dans son plan, semblerait indiquer que la *chlorite* de Traverselle appartient plutôt au prisme rhomboïdal oblique qu'au prisme rhomboïdal droit : cepen-

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XIV, p. 60.

dant, il est impossible d'affirmer si l'on doit adopter une forme plutôt que l'autre. En admettant le prisme rhomboïdal oblique, on pourra considérer l'enveloppe extérieure des lames comme un mélange de *clinochlore positif* et de quelque substance *talqueuse négative*, dans lequel le premier élément dominerait, tandis que le centre ne contiendrait presque qu'une sorte de *talc* en prisme légèrement oblique.

Un fait digne de remarque, et qui prouve que le mélange ou la combinaison est bien intime, c'est que dans l'une comme dans l'autre partie, le plan des axes optiques a exactement la même direction; cette direction est *normale* aux côtés de l'hexagone qui forme le contour tant intérieur qu'extérieur; d'où il suit d'une part, que les lames de Traverselle ne forment pas des cristaux simples, mais qu'elles sont le résultat d'une mâcle semblable à celle que j'ai décrite pour le *clinochlore* du Tyrol; et d'autre part, que les axes sont situés dans un plan *parallèle* à  $h^1$  ou à la *grande diagonale* de la base primitive de  $120^\circ$ . Quoiqu'on ne puisse tirer de ce fait aucune induction bien concluante, il est bon de noter que l'orientation des axes optiques est précisément la même dans le *talc* pur, considéré comme cristallisant en prisme rhomboïdal droit voisin de  $120^\circ$ ; cette circonstance viendrait à l'appui de l'opinion admise par quelques minéralogistes, que le *talc* appartient en réalité au système du prisme rhomboïdal oblique; malheureusement les anneaux colorés visibles dans ce minéral n'ont jamais une netteté suffisante pour infirmer ou pour confirmer cette opinion.

Outre les échantillons analysés par M. Marignac, on trouve encore avec le fer oxydulé de Traverselle des amas assez irréguliers de grandes lames d'un beau vert nacré, dont la forme est indéterminable, et qui se rap-

prochent assez, par leurs caractères extérieurs, du *clinochlore* de Sibérie; au chalumeau, elles se comportent comme ce minéral, et vues dans des rayons parallèles de lumière polarisée, elles paraissent parfaitement homogènes; mais, tandis que le plus grand nombre de ces lames possède deux axes optiques peu écartés et légèrement dissymétriques par rapport à leur plan, avec une bissectrice *positive*, d'autres lames d'un vert émeraude, intercalées au milieu des premières, font voir au microscope des branches d'hyperbole encore plus rapprochées, dont la bissectrice est *négative*.

La localité de Traverselle fournit aussi des échantillons sur lesquels sont réunis de nombreux petits cristaux de dolomie, quelques dodécaèdres de fer oxydulé, et un grand nombre de lames hexagonales d'un vert tendre, d'un éclat argenté, que leur aspect particulier a fait souvent désigner sous le nom de *mica chlorite* ou de *talc chlorite*. Ces lames, généralement opaques au centre, ne sont transparentes que sur les bords; leur pouvoir biréfringent est très-faible, et c'est avec quelque difficulté qu'on parvient à constater que leurs parties transparentes possèdent un seul axe, ou deux axes très-rapprochés, de double réfraction *positive*: chauffées dans le tube, elles dégagent beaucoup d'eau; au chalumeau, elles blanchissent, s'exfolient et fondent difficilement sur les bords en émail blanc; tous leurs caractères les rapprochent donc des lames analysées par M. Marignac.

Enfin j'ai rencontré dans la collection du Muséum, un morceau indiqué comme venant de Taberg, qui se compose de grandes lames enchevêtrées dans tous les sens, où l'on trouve à la fois une grande quantité de lames vert bleuâtre, offrant des branches d'hyperbole excessivement rapprochées, et une double réfraction

*positive*, avec d'autres lames d'un vert jaunâtre, à deux axes *negatifs* beaucoup plus séparés. La coexistence de deux substances possédant des caractères optiques biréfringents opposés, et des caractères extérieurs semblables, ne paraît donc pas un fait borné à une seule localité; et il est probable qu'on le retrouvera encore, en examinant attentivement toutes les substances talqueuses ou chloriteuses disséminées dans une foule de roches: ce fait semble établir qu'outre le *clinocllore positif*, à deux axes écartés et dissymétriques, il existe quelque minéral analogue au *talc* par ses propriétés, ayant comme lui une ligne moyenne *negative* et deux axes assez rapprochés, mais cristallisant, comme le *clinocllore*, en prisme rhomboïdal oblique: seulement, ce minéral ne s'est pas encore rencontré à l'état complètement isolé, et nous ne connaissons que les produits de ses combinaisons cristallines avec le *clinocllore*.

Cette supposition paraît, du reste, légitimée par la composition singulière que présente un échantillon appartenant à la collection de l'École des mines, et indiqué comme provenant de Brosso en Piémont; cet échantillon est formé de grandes lames parfaitement hexagonales, d'un beau vert uniforme dans toute leur étendue, empâtées dans une matière stéatiteuse blanche, et offrant extérieurement la plus grande ressemblance avec les lames qui accompagnent le fer oxydulé de Traverselle: vues dans la lumière polarisée, les lames hexagonales de Brosso paraissent être, comme celles de Traverselle, le résultat de l'accolement de six portions triangulaires, dans chacune desquelles le plan des axes est dirigé perpendiculairement au côté du triangle qui se trouve sur le contour hexagonal; ces axes, dont la bissectrice est *negative*,

sont d'ailleurs excessivement rapprochés, et par la rotation de la lame dans son plan, on peut obtenir une croix noire traversant des anneaux presque exactement circulaires; le pouvoir biréfringent de la substance est assez considérable pour permettre de voir très-nettement les quatre ou cinq premiers anneaux. M. Damour, ayant bien voulu, sur ma demande, faire l'analyse des lames de Brosso, y a trouvé:

Silice (par différence) . . . . .	33,67
Alumine . . . . .	20,37
Magnésie . . . . .	29,49
Oxyde ferreux . . . . .	6,37
Eau . . . . .	10,10

ce qui donne pour les quantités d'oxygène de la silice et des bases les rapports assez simples:

$$12 : 6 : 9 : 6$$

Les rapports trouvés par M. Marignac dans la *chlorite talqueuse* de Traverselle, qui se compose, comme je l'ai dit précédemment, d'un centre *negatif*, entièrement semblable aux lames de Brosso, et d'un contour *positif*, sont:

$$\begin{array}{l} 21 : 6 : 14 : 8 \quad \text{pour une analyse,} \\ 24 : 6 : 16 : 8 \quad \text{pour une autre analyse (1).} \end{array}$$

A l'exception de la magnésie, dont la quantité est presque identique dans les échantillons de Traverselle, et dans celui de Brosso, les proportions de tous les autres éléments sont notablement différentes; mais c'est surtout l'alumine qui offre les plus grandes variations, puisqu'au lieu de 20 p. 100 environ trouvés par M. Damour, les analyses de M. Marignac n'en accusent que 11 à 12 p. 100. L'analyse de M. Damour ne se

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XIV, p. 60.

rapporte pas mieux aux diverses analyses de la *pennine* ou du *clinocllore* d'Ala et de Slatoust que l'on doit à M. Marignac; de sorte que l'on est conduit à se demander si la *chlorite* de Brosso, optiquement homogène, ne doit pas être considérée comme une espèce à part, susceptible de s'allier avec le *clinocllore* ou quelque autre matière analogue, pour former des composés, tantôt optiquement *positifs*, tantôt optiquement *négatifs*; il est impossible de répondre affirmativement à cette question, d'après les résultats de l'analyse d'un seul échantillon, et je dois me borner à signaler ces faits à l'attention des minéralogistes.

5° La *Kämmerërite* de Sibérie, qu'on trouve en lames hexagonales violettes, sur un fer chromé, est la seule variété dont j'aie pu me procurer des échantillons bien caractérisés; ces lames sont si molles et se divisent si facilement, qu'il m'a été impossible de m'assurer si leur forme appartient réellement au système rhomboédrique, comme l'a publié M. Kokscharow; tout ce que j'ai pu constater, c'est qu'elles ont un pouvoir biréfringent très-faible, et qu'elles paraissent posséder deux axes optiques assez écartés, dont la bissectrice est *positive*, comme celle du *clinocllore*. La composition assez variable des échantillons de *Kämmerërite* de diverses localités, porterait à croire que ce minéral n'est pas homogène, et que, comme la *chlorite* de Traverselle, c'est un *clinocllore* imparfait. Des cristaux mieux caractérisés que ceux que j'ai examinés, permettraient sans doute de s'assurer si, comme l'a annoncé autrefois M. Nordenskiöld, la *Kämmerërite* possède réellement un seul axe de double réfraction; dans ce cas, elle devrait être rangée avec la *Leuchtenbergite*, dans le groupe des *pennines positives*.

M. de Kobell a donné le nom de *ripidolite* à des lames

d'un vert sombre, toujours groupées en éventail ou en boules contournées, qu'on rencontre sur des cristaux d'adulaire et de quartz, au Saint-Gothard, à Rauris dans les Grisons, et à Zillerthal en Tyrol. Ces lames, quoique assez transparentes lorsqu'elles sont très-minces, ont un pouvoir biréfringent si faible, qu'il est généralement impossible de constater aucun de leurs caractères optiques; un seul échantillon appartenant à la collection de l'École des mines, m'a permis de faire cette observation. Cet échantillon se compose d'une masse cristalline de quartz, sur laquelle sont groupées de grandes lames hexagonales d'un vert foncé, translucides, et bordées tout autour par une bande étroite, opaque, de fer hydroxydé brun; ces lames, chauffées dans un tube fermé, dégagent une petite quantité d'eau; au chalumeau elles fondent sur les bords en émail noir très-magnétique; leur pouvoir biréfringent est très-faible; cependant on parvient à reconnaître qu'elles ont une double réfraction *positive*, et qu'elles possèdent deux axes assez écartés; seulement on ne saurait dire si les axes sont ou non symétriquement disposés par rapport à la face de clivage, et si par conséquent la forme primitive des lames est droite ou oblique: ces lames tiennent donc encore au *clinocllore* par leurs propriétés optiques, mais elles s'en éloignent par la faiblesse de leur réfraction, et par la manière dont elles se comportent au chalumeau: d'après une ancienne étiquette de la collection de M. de Drée, leur localité serait le Pusterthal en Tyrol.

La composition de la *ripidolite*, telle qu'elle résulte des analyses de Varrentrapp et de de Kobell, paraît assez uniforme, et la grande quantité de fer qu'elle renferme la rapproche complètement de la *chlorite écailleuse* analysée par M. Marignac; on sait que cette

*chlorite écaillée* forme des nids et des filons assez considérables dans la vallée du Bourg-d'Oisans, à la montagne des Sept-Lacs entre Allevard et Allemont, dans les granites qui entourent la mer de glace de Chamouni, et dans beaucoup d'autres points des Alpes; elle enveloppe très-souvent une foule de minéraux, tels que la chrichtonite, l'anatase, la chaux fluatée rose, le quartz, etc., etc. C'est donc une substance assez répandue pour qu'on puisse la regarder comme formant une espèce à part, à laquelle on pourrait conserver le nom de *ripidolite*, afin d'éviter toute confusion avec celui de *chlorite*. Le nom de *chlorite* avait été en effet appliqué jusqu'ici à une multitude de substances diverses et mal connues, dont la plupart peuvent maintenant être rangées dans les trois groupes: *pennine*, *clinocllore* et *ripidolite*, auxquels il faudra peut-être ajouter un groupe formé par les *chlorites talqueuses* de Brosso, de Traverselle, etc.

L'ancienne famille des *zéolites* renferme plusieurs espèces qu'il n'est pas toujours facile de distinguer par leurs caractères physiques ou chimiques; l'examen optique permet de faire immédiatement cette distinction; ainsi, la *mésotype*, la *Thomsonite*, la *scolésite*, et la *mésolite* offrent souvent une grande ressemblance extérieure; mais dans la *mésotype*, le plan des axes optiques est parallèle à la modification  $g^1$  et la ligne moyenne, *positive*, est parallèle à l'arête  $\frac{m}{m}$ ; dans la *Thomsonite*, la bissectrice est encore *positive*, seulement le plan des axes est parallèle à la base, et leur bissectrice est normale au plan du clivage facile.

Dans la *scolésite*, le plan des axes est perpendiculaire à  $g^1$ ; mais la ligne moyenne est *negative*, et comme la forme primitive est un prisme rhomboïdal

oblique, cette ligne n'est plus parallèle à l'arête  $\frac{m}{m}$ , avec laquelle elle fait un angle d'environ  $11^\circ$  à  $12^\circ$ . Si donc on sépare les deux individus qui composent un cristal de *scolésite*, hémitrope autour de  $h^1$ , et si l'on pratique deux faces artificielles à peu près normales aux stries inclinées toujours visibles sur la face  $g^1$  suivant laquelle les cristaux sont généralement aplatis, on apercevra nettement les deux systèmes d'anneaux elliptiques, disposés d'une manière symétrique dans le champ du microscope; si au contraire on taille un cristal mâclé, perpendiculairement à ses arêtes verticales, on pourra voir à la fois, dans chaque moitié de la mâcle, et aux deux extrémités opposées du champ, ces deux systèmes d'anneaux dont le contact détermine au centre des courbes qui diffèrent notablement des lemniscates ordinaires.

Enfin la *mésolite*, soumise à la lumière polarisée, soit parallèlement, soit perpendiculairement à son axe vertical, montre des mâcles toutes particulières, qu'on ne sait trop jusqu'ici comment rattacher à ses formes extérieures; cette disposition ne permet de déterminer ni la direction des axes optiques, ni le signe de la double réfraction; mais elle suffit pour faire distinguer la *mésolite*, de la *scolésite*: du reste, comme la composition et les incidences de ces deux substances paraissent excessivement voisines, tout porte à croire que la *mésolite* n'est qu'une variété de *scolésite*, avec un mode particulier d'hémitropie dans ses cristaux.

M. Dana a proposé depuis quelques années de réunir à la *Heulandite*, un minéral de Baltimore décrit autrefois par M. Lévy, sous le nom de *Beaumontite*; les caractères optiques confirment pleinement cette réunion. Si en effet on prend, avec M. Miller, pour

forme primitive de la *Heulandite*, un prisme rhomboïdal oblique de  $136^{\circ} 4'$  dans lequel la base fait, avec les faces verticales, un angle de  $91^{\circ} 19'$ , le plan des axes optiques est presque exactement parallèle à cette base, et la bissectrice *positive* est normale au clivage facile et parallèle à la diagonale horizontale de la forme primitive. Dans la *Beaumontite*, les quatre faces qui formaient l'octaèdre rectangulaire de Lévy peuvent être considérées comme la réunion de deux faces du prisme primitif *m*, et des deux modifications *o'* et *a'* placées, l'une sur l'angle solide antérieur, l'autre sur l'angle solide postérieur de ce prisme. Dans les cristaux ainsi orientés, le plan des axes optiques est encore parallèle à la base; la ligne moyenne est de même signe que celle de la *Heulandite*, et elle a aussi la même direction (1).

La *stilbite*, qui cristallise en prisme rhomboïdal droit, offre dans ses caractères extérieurs tant d'analogie avec la *Heulandite*, qu'on a longtemps confondu les deux espèces en une seule; M. Brewster, trompé sans doute par quelque confusion d'échantillons, a annoncé que la *stilbite* était un cristal *positif* comme la *Heulandite*; tous les cristaux que j'ai examinés sont au contraire *negatifs*; le plan des axes est parallèle à la modification *g'* suivant laquelle a lieu un clivage très-facile, et la bissectrice est verticale; les localités dont j'ai pu me procurer des échantillons sont: Rødeford en Islande, où la *stilbite* est implantée sur le spath calcaire; la Nouvelle-Écosse et les îles Féroë, où elle tapisse des cavités dans des roches amygda-

(1) D'après une analyse publiée par M. Delesse dans le t. IX des *Annales de chimie et de physique*, la composition de la *Beaumontite* ne diffère de celle de la *Heulandite* que par une quantité de silice un peu plus grande.

loïdes; la Norwège et le Saint-Gothard, où les gangues sont des roches amphiboliques ou granitiques anciennes; Dumbarton et Kilpatrick en Écosse; et enfin le Renfrewshire, où se trouve la belle variété rouge. Malgré la diversité des gisements, les propriétés optiques de toutes ces variétés se sont montrées constantes.

La *datholite* cristallise en prisme rhomboïdal d'une si faible obliquité, que les mesures d'angles ont toujours laissé du doute sur la question de savoir si le type cristallin auquel on doit la rapporter, est réellement le prisme rhomboïdal oblique ou le prisme rhomboïdal droit avec troncatures hémédriques: M. de Sénarmont a montré que la dispersion des axes optiques appartenait bien à un prisme oblique symétrique, dans lequel le plan des axes serait parallèle à la modification *g'*, avec une bissectrice *negative*, très-rapprochée de la normale à la base. D'après les mesures de M. Schröder, les incidences de la forme primitive de la *datholite* sont:  $mm = 76^{\circ} 44'$  et  $pm = 90^{\circ} 4'$ .

La *pyrophyllite* se présente en lames groupées en étoiles rayonnées, dont la forme n'a jamais pu être déterminée rigoureusement; ces lames se laissent facilement cliver suivant une seule direction, et elles offrent alors des rectangles allongés, dont la plus grande dimension coïncide avec le plan des axes optiques; la bissectrice *negative*, autour de laquelle les axes sont symétriquement dispersés, est normale au plan de ces rectangles. On peut donc assurer que la forme primitive de la *pyrophyllite* est un prisme rhomboïdal droit très-facilement clivable dans la direction de la petite ou de la grande diagonale de sa base.

On avait regardé jusqu'ici l'*autunite* ou phosphate jaune d'urane et de chaux, comme cristallisant en prisme droit à base carrée, isomorphe avec la *chalcolite*

ou phosphate vert d'urane et de cuivre ; mais en examinant des lames d'*autunite*, j'ai vu qu'elles possédaient deux axes de double réfraction, situés dans un plan normal au plan des lames, et que par conséquent elles devaient appartenir au système du prisme rhomboïdal droit. L'angle de la forme primitive ne peut pas être déterminé avec une grande précision, parce que les échantillons en apparence simples, n'ont jamais de faces verticales suffisamment nettes pour permettre autre chose que l'usage du goniomètre d'application, et qu'ils se composent tous de lames groupées en rose à la manière de certaines *prehnites* du Dauphiné. Cet angle peut être évalué à  $95^\circ$  ou  $94^\circ$ , et c'est surtout dans les lames mâclées, flabelliformes, qu'on peut s'en assurer : ces mâcles se composent en effet de lames assemblées suivant une face *m* du prisme, et elles portent de nombreuses stries parallèles à la modification *g*<sup>1</sup> ; le plan des axes optiques dans chaque moitié de la mâcle, coïncide avec ces stries qui se croisent sous un angle d'environ  $93^\circ$  ; on conclut de cette disposition  $m:g^1 = 133^\circ 50'$  et  $m:m = 93^\circ$ .

La *cryolite* du Groënland a été regardée jusqu'ici comme cristallisant en prisme rectangulaire droit, ou même en prisme droit à base carrée. Si l'on ne considérait que l'inégale facilité des trois clivages à peu près rectangulaires qu'elle présente, on pourrait se ranger à la première opinion ; mais lorsqu'on cherche la position du plan des axes optiques, on voit que ce plan ne coïncide avec aucun des clivages, ce qui devrait pourtant avoir lieu si le prisme était droit ; on est donc conduit à supposer que les deux clivages difficiles forment peut-être les faces latérales d'un prisme rhomboïdal oblique voisin de  $90^\circ$  dont la base serait le clivage le plus facile, et que le plan des axes est parallèle à la diagonale horizontale de cette

base. J'ai en effet aperçu deux systèmes d'anneaux écartés et assez nets à travers deux sections parallèles entre elles, et inclinées d'environ  $145^\circ$  sur le clivage qui m'a paru se produire le plus facilement ; seulement, comme la mesure précise des incidences n'est pas possible sur les échantillons de *cryolite* connus jusqu'à présent, je n'ai pas pu m'assurer si les faces artificielles devaient être prises sur l'angle solide antérieur, ou sur l'angle postérieur de la forme primitive, et surtout si elles étaient réellement dirigées dans le même sens que la diagonale horizontale de la base.

Quelques échantillons m'ont bien offert des plans de séparation ou des clivages très-difficiles et interrompus, sur deux des angles du parallélépipède produit par les trois clivages principaux, et j'ai trouvé que l'un de ces plans faisait avec le clivage le plus facile un angle d'environ  $124^\circ$  ; mais je n'ai pu mesurer ses autres inclinaisons, ni par conséquent l'employer comme point de repère.

L'incertitude qui règne encore dans les déterminations cristallographiques de la *cryolite*, et même quelquefois dans la distinction de son clivage le plus facile, empêche d'affirmer que sa forme soit un prisme simplement oblique, tout en permettant, d'après la disposition des axes optiques, d'assurer que cette forme n'est pas un prisme droit ; l'inégale facilité des trois clivages principaux, très-marquée sur certains morceaux, rendrait même probable l'admission d'un prisme oblique non symétrique, avec trois incidences voisines de  $90^\circ$ .

Je pourrais encore citer d'autres exemples prouvant l'importance que peut avoir, dans la distinction des espèces minérales, l'introduction des caractères biréfringents ; mais ce que je viens de dire suffira, je l'espère,

pour démontrer cette importance, et je vais passer immédiatement au résumé de toutes les observations qui ont été faites jusqu'à ce jour à ce sujet. Ce résumé, auquel j'ai ajouté un grand nombre de résultats nouveaux, renferme déjà la plupart des minéraux transparents, et une certaine quantité de sels artificiels; cependant, il y a encore, surtout dans cette dernière catégorie, beaucoup de lacunes à combler.

Lorsque de nouveaux travaux m'auront mis à même de compléter les recherches exposées dans ce mémoire, on pourra sans doute en tirer quelques conclusions sur les causes générales qui tendent à faire coïncider la bissectrice des cristaux à deux axes optiques tantôt avec l'axe de plus petite, tantôt avec l'axe de plus grande élasticité. Pour le moment je me contenterai de présenter les principales remarques suggérées par les faits consignés dans le tableau qui va suivre.

Parmi les corps uniaxes soumis jusqu'ici à l'observation optique, tous les carbonates rhomboédriques sont négatifs, à l'exception de la Parisite, dont la composition assez compliquée n'est pas encore parfaitement établie: tous les phosphates et les arsénates hexagonaux ou carrés sont négatifs; tous les silicates de la famille des micas à un axe sont négatifs; parmi les zéolites, la Lévyne et la phacolite sont négatives; mais la chabasie est positive; les apophyllites sont, les unes positives, les autres négatives; les pennines, l'eudialyte et l'eukolite sont dans le même cas; la Willémite, silicate anhydre de zinc, est positive; l'eau et la magnésie hydratée sont aussi positives, les oxydes d'étain et de zinc sont positifs, mais le rutile et l'anatase sont, le premier positif, le second négatif, ce qui semble venir à l'appui de l'opinion que ces deux minéraux contiennent l'oxyde de titane sous deux états différents; en somme,

la quantité des corps négatifs l'emporte de beaucoup sur les corps positifs, puisque je trouve jusqu'à présent 71 cristaux de la première espèce, contre 38 de la seconde.

Parmi les corps à deux axes, tous les carbonates de plomb, de chaux, de baryte, de strontiane, sont encore négatifs; le disthène est négatif; mais la staurotide est positive; la majorité des zéolites, telles que la mésotype, la prehnite, la Thomsonite, l'harmotome, la Heulandite et la Brewstérite, sont positives; la scolésite et la stilbite font seules exception; les sulfates de baryte, de strontiane, de plomb, de chaux, anhydre ou hydraté, sont positifs; la Struvite ou phosphate ammoniaco-magnésien est positive, mais l'autunite, la Hopéite, le phosphate et l'arséniate de soude, sont négatifs; le talc et tous les micas sont négatifs; les clinochlores, chlorites et ripidolites, sont en général positifs; le feldspath orthose est négatif, mais les feldspaths du sixième système, albite, labradorite, anorthite et oligoclase, sont tous positifs.

Ce qu'il y a de plus singulier, c'est qu'un même échantillon d'orthose peut, comme les micas, présenter en différents points, d'énormes différences dans l'écartement de ses axes; l'un des deux prismes que j'ai employés pour mesurer les indices de cette substance, provient en effet d'un très-gros cristal sans macles appréciables, d'où on a extrait des plaques ayant un écartement apparent de  $119^\circ$ , d'autres où cet angle n'est que de  $72^\circ$ , d'autres enfin où les axes sont si rapprochés, qu'en faisant tourner la lame dans son propre plan, on arrive à produire une croix noire entourée d'anneaux très-peu elliptiques, ce qui suppose toujours un écartement assez faible. Une plaque mince enlevée à la surface, sur toute l'étendue de ce cristal, montre nettement la réunion de ces divers phénomènes, sans

autre régularité dans leur disposition que l'ouverture des axes optiques qui se fait presque constamment dans un plan à peu près *parallèle* au clivage de la base; en deux ou trois points seulement, où les axes sont très-voisins, cette ouverture a lieu dans un plan *perpendiculaire* au premier, la bissectrice conservant d'ailleurs sa position primitive. L'*orthose* étant un cristal *négalif* présente donc entre ses axes d'élasticité *moyen* et *minimum* un échange analogue à celui que M. de Sénarmont a le premier signalé dans le *mica*, puisque le même cristal renferme des individus dont le plan des axes est presque *parallèle* à la base (ce sont de beaucoup les plus abondants), et d'autres individus, où ce plan est *normal* à la base et *parallèle* à la modification  $g^1$ ; dans les deux cas, la *bissectrice* fait un angle d'environ  $5^\circ$  avec la diagonale *inclivée* de la base. Les variations dans les quantités relatives de soude et de potasse, qui ressortent de la comparaison des nombreuses analyses d'*orthose* connues jusqu'ici, autorisent pleinement à conclure que si l'on pouvait isoler les individus à caractères optiques différents ou opposés, leur composition pourrait bien être rapportée à la même formule, mais à la condition d'y faire entrer des éléments isomorphes. Nous avons donc à ajouter à beaucoup d'autres exemples un nouveau fait qui montre avec quelle réserve on doit admettre, pour établir une espèce nouvelle, les résultats d'analyses, même très-exactes, faites sur des cristaux et surtout sur des masses cristallines dont on n'a pu constater dans tous ses détails, la constitution physique.

On peut encore remarquer qu'en orientant de la même façon les cristaux d'*orthose* et ceux d'*albite*, la bissectrice des uns est presque dans le même plan que la bissectrice des autres, mais qu'elles se croisent à angle

droit; et comme les deux minéraux sont, l'un *négalif*, l'autre *positif*, s'ils appartenait au même système cristallin, leur seule différence optique consisterait en ce que la bissectrice de l'angle aigu de l'un devrait être regardée comme la bissectrice de l'angle obtus de l'autre.

Dans les cristaux à deux axes, le nombre des substances positives surpasse notablement celui des substances négatives, car il est de 70 pour les premières et de 57 pour les secondes.

On trouvera dans mon résumé les indices de réfraction d'un certain nombre de substances, qui n'avaient pas encore été mesurés jusqu'à présent, ou qui ne l'avaient été que d'une manière incomplète. Ces indices, déterminés à l'aide de prismes convenablement taillés, se rapportent à des cristaux dont la plupart ne fournissent que des prismes peu volumineux et dans lesquels les spectres sont peu étalés; il n'était donc pas possible de prendre comme points de repère les raies de Fraunhofer, et j'ai dû me contenter de choisir constamment la même portion du spectre: celle que j'ai employée dans toutes mes expériences, est la partie centrale la plus lumineuse du *jaune*. Avec cette manière d'opérer, on ne peut pas s'attendre à obtenir une très-grande précision; je regardais donc mes observations comme bonnes, lorsqu'en les répétant plusieurs fois, les variations des indices ne portaient que sur la troisième décimale.

Dans les cristaux à un axe, j'ai désigné par  $\omega$  l'indice ordinaire, et par  $\epsilon$  l'indice *extraordinaire*;  $\mu$  désigne l'indice *moyen*. Dans les cristaux à deux axes,  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$  sont les trois indices *maximum*, *moyen* et *minimum* qui sont fournis par trois prismes, dont l'arête est, pour le premier et le dernier, parallèle aux bissectrices de l'angle aigu et de l'angle obtus, et pour le moyen, per-

pendiculaire au plan des axes. Les trois constantes d'élasticité sont donc :  $a = \frac{1}{\gamma}$ ,  $b = \frac{1}{\beta}$ ,  $c = \frac{1}{\alpha}$ ; le demi-angle intérieur des axes optiques autour de l'axe d'élasticité maximum, obtenu au moyen de la formule  $\text{tang } \lambda = \frac{\gamma}{\alpha} \sqrt{\frac{\alpha^2 - \beta^2}{\beta^2 - \gamma^2}}$ , a toujours été comparé à celui qu'on déduit de l'indice moyen et de l'écartement apparent, mesuré à l'aide du goniomètre de Wollaston, en employant une tourmaline comme analyseur, et le miroir horizontal du goniomètre comme polariseur.

On sait quelle influence énorme peut avoir dans certains cas, sur la valeur de cet angle, la moindre variation dans la troisième ou même dans la quatrième décimale des indices; cette décimale a été également choisie, entre les limites fournies par les mesures des déviations minima plusieurs fois répétées, de manière à faire concorder autant que possible la valeur calculée de l'angle apparent et celle qui résultait de l'observation directe.

Les indices désignés par R ont été donnés par M. Brewster ou par d'autres observateurs, sans indication de la direction optique à laquelle ils se rapportent.

I. — CRISTAUX A UN AXE DONT L'AXE CRISTALLOGRAPHIQUE PRINCIPAL COÏNCIDE AVEC L'AXE DE PLUS PETITE ÉLASTICITÉ, OU CRISTAUX POSITIFS.

QUARTZ. — Système hexagonal. —  $\omega = 1,54418$ ,  $\varepsilon = 1,55328$  pour la raie D du spectre.

AMÉTHYSTE. — Système hexagonal. —  $\mu = 1,562$ . Wollaston (1).

PHÉNAKITE. — Système hexagonal. —  $\omega = 1,652$ ,

(1) M. de Sénarmont a bien voulu me communiquer les ob-

$\varepsilon = 1,672$  pour la partie rouge du spectre; Sénarmont (1).

SARCOLITE. — Prisme droit à base carrée; Descloizeaux.

EUDIALYTE. — Rhomboèdre aigu; Dx.

KATAPLÉITE. — Lames hexagonales; Dx.

WILLÉMITE. — Système hexagonal; Dx.

DIOPTASE. — Rhomboèdre obtus. —  $\omega = 1,667$ ,  $\varepsilon = 1,723$ .

ZIRCON. Prisme droit à base carrée. —  $\omega = 1,961$ ,  $\varepsilon = 2,015$ , Brewster. —  $\omega = 1,92$ ,  $\varepsilon = 1,97$  pour un zircon hyacinthe de Ceylan; rayons rouges; Sén.

CHABASIE d'Andréasberg. — Rhomboèdre obtus. Dx.

APOPHYLLITE d'Utøe, de Fassa, de Finlande, d'Andréasberg, du lac Supérieur, de Poonah, du Vicentin,

observations suivantes qu'il a faites sur diverses variétés de quartz amorphe.

HYDROPHANE NATURELLE :

1<sup>er</sup> échantillon, sec :  $m = 1,3818$ ; imbibé,  $m = 1,4381$  pour les rayons rouges.

2<sup>e</sup> échantillon, sec :  $m = 1,3777$ ; imbibé,  $m = 1,4241$ .

3<sup>e</sup> échantillon, sec :  $m = 1,2665$ ; imbibé,  $m = 1,4061$ .

4<sup>e</sup> échantillon, sec :  $m = 1,4065$ ; imbibé,  $m = 1,4463$ .

5<sup>e</sup> échantillon, sec :  $m = 1,378$ ; imbibé,  $m = 1,440$ .

6<sup>e</sup> échantillon, sec :  $m = 1,3875$ ; imbibé,  $m = 1,4394$ .

HYDROPHANE ARTIFICIELLE :

Prisme imbibé,  $m = 1,260$  pour les rayons rouges.

AGATE BLONDE,  $m = 1,5573$  pour les rayons rouges.

HYALITE sans action sur la lumière polarisée :

N<sup>o</sup> 1 :  $m = 1,4555$  pour les rayons rouges.

N<sup>o</sup> 2, fragile et très-fendillé :  $m = 1,4374$  pour les rayons rouges.

QUARTZ FONDU :

1<sup>er</sup> prisme :  $m = 1,457$  pour les rayons rouges.

2<sup>e</sup> prisme :  $m = 1,449$  pour les rayons rouges.

(1) L'angle du prisme et les déviations correspondantes mesurées par M. de Sénarmont sont :  $\alpha = 59^{\circ} 0' 15''$ ,  $\delta = 49^{\circ} 54'$ ,  $\delta' = 51^{\circ} 53'$ .

de Bohême, d'Islande, de Férøe et de l'île de Skye. — Prisme droit à base carrée. —  $\mu = 1,5431$ . Herschel, variété nommée *leucocyclite*.

OXAHVÉRITE. — Prisme droit à base carrée; Br.

PENNINE. — La plupart des cristaux d'Ala et quelques-uns de ceux de Zermatt. — Rhomboèdre aigu. — Pouvoir biréfringent faible; croix noire peu nette sur un fond verdâtre; Dx.

LEUCHTENBERGITE. — Système hexagonal? Dx.

CHLORITE BLANCHE de Mauléon. — Lames hexagonales. — Pouvoir biréfringent très-faible; Dx.

PARISITE. — Système hexagonal. —  $\omega = 1,569$ ,  $\epsilon = 1,670$  pour les rayons rouges; Sén. (1).

GLACE. — Système hexagonal. —  $\mu = 1,3095$  pour les rayons jaunes; Bravais.

GREENOCKITE. — Système hexagonal. —  $\omega = 2,688$ ,  $\epsilon$  presque égal à  $\omega$ ; Miller.

SULFITE DE POTASSE ET DE FER. — Prisme hexagonal; Br.

SULFATE DE POTASSE A UN AXE. — Système hexagonal.  $\omega = 1,493$ ,  $\epsilon = 1,501$ ; Sén.

HYPOSULFATE DE PLOMB. — Système hexagonal; Sén.

CALONEL. — Prisme droit à base carrée. —  $\omega = 1,96$ ,  $\epsilon = 2,60$  pour les rayons rouges; Sén.

PHOSGÉNITE; plomb chlorocarbonaté. — Prisme droit à base carrée; Dx.

IODURE D'ARGENT. — Système hexagonal; Dx.

OXYDE D'ÉTAIN. — Prisme droit à base carrée; Br.

OXYDE DE ZINC SUBLIMÉ. — Système hexagonal; Dx.

SPARTALITE; oxyde rouge de zinc. — Système hexagonal; Dx.

(1) L'angle du prisme employé par M. de Sénarmont pour calculer les indices, et les déviations minima correspondantes sont:  $\alpha = 59^\circ$ ,  $\delta = 42^\circ 9'$ ,  $\delta' = 51^\circ 39'$ .

BRUCITE; hydrate de magnésie. — Système hexagonal; Br.

RUTILE. — Prisme droit à base carrée.

SCHÉELITE; tungstate de chaux. — Prisme droit à base carrée, hémédrique. —  $R = 1,525$ ; Br.

MÉTATUNGSTATE ACIDE D'AMMONIAQUE;  $AzH^4O$ ,  $3Tu^2O^6$ ,  $3HO + 10Aq$  (Riche). — Octaèdre à base carrée excessivement voisin de l'octaèdre régulier; Dx.

HYDROFLUATE DE FLUORURE DE POTASSIUM (Frémy). — Prisme droit à base carrée; Sén.

SURACÉTATE DE CUIVRE ET DE CHAUX; Br.

SUCCINATE DE LITHINE;  $2LiO$ ,  $C^2H^4O^4$  (Troost). — Rhomboèdre obtus; Dx.

CYANURE DE MAGNÉSIUM ET DE PLATINE. — Prisme droit à base carrée; anneaux très-serrés; Dx.

PRUSSATE JAUNE DE POTASSE;  $(2KCy + FeCy) + 5Aq$ . — Prisme droit à base carrée. — Au milieu de lames à un axe, on en trouve d'autres qui paraissent avoir deux axes assez écartés; il est donc possible que la forme de ce sel soit un prisme rhomboïdal droit très-voisin de  $90^\circ$ , dans lequel se rencontreraient souvent des macles.

URÉE;  $2NH^2 + C^2O^2$ . — Prisme droit à base carrée, hémiedre. Double réfraction énergique; Dx.

II. — CRISTAUX UNIAXES DONT L'AXE CRISTALLOGRAPHIQUE PRINCIPAL COÏNCIDE AVEC L'AXE DE PLUS GRANDE ÉLASTICITÉ OPTIQUE, OU CRISTAUX NÉGATIFS.

TOURMALINE. — Rhomboèdre obtus. —  $\omega = 1,6366$ ,  $\epsilon = 1,6193$ , tourmaline blanche; pour la ligne D de Fraunhofer. —  $\omega = 1,64793$ ,  $\epsilon = 1,62617$  pour les rayons verts; Heus. —  $\omega = 1,6408$ ,  $\epsilon = 1,6203$ , tourmaline verte; pour les rayons rouges; Sén. —  $\omega = 1,6415$ ,  $\epsilon = 1,6230$ , tourmaline vert bleuâtre;

rayons rouges; Sén. —  $\omega = 1,6435$ ,  $\varepsilon = 1,6222$ , tourmaline bleue, rayons rouges; Sén. (1)

RUBELLITE; tourmaline rouge. — Rhomboèdre obtus. —  $\mu = 1,768$ , Hers.;  $\mu = 1,779$ ; Br.

EUKOLITE. — Système hexagonal; Dx.

ÉMERAUDE. — Système hexagonal. —  $\omega = 1,5841$ ,  $\varepsilon = 1,5780$ , pour le centre des rayons verts, dans un cristal parfaitement pur et d'une très-belle couleur verte; Dx. —  $\omega = 1,5796$ ,  $\varepsilon = 1,5738$  pour un cristal d'une couleur moins foncée et offrant de nombreuses gerçures intérieures; Dx. —  $\omega = 1,577$ ,  $\varepsilon = 1,572$ , cristal incolore, parfaitement pur et limpide, de l'île d'Elbe; rayons verts; Dx. — Un cristal d'une teinte légèrement rosée, de l'île d'Elbe, m'a donné exactement les mêmes nombres (2).

BÉRYL. — Système hexagonal. —  $\omega = 1,57513$ ,

(1) Les angles des prismes employés par M. de Sénarmont, et les déviations minima correspondantes, sont :

Pour la tourmaline verte :  $\alpha = 42^{\circ}58'$ ,  $\delta = 30^{\circ}54'$ ,  $\delta' = 29^{\circ}59'$ .  
Pour la tourmaline vert bleuâtre :

$$\alpha = 59^{\circ}42', \delta = 49^{\circ}53', \delta' = 47^{\circ}54'.$$

Pour la tourmaline bleue :  $\alpha = 60^{\circ}19'$ ,  $\delta = 51^{\circ}$ ,  $\delta' = 48^{\circ}51'$ .

(2) La comparaison des indices des divers cristaux d'émeraude semble prouver que la valeur de ces nombres augmente à mesure que la couleur devient d'un plus beau vert.

Les déviations minima que j'ai observées à travers deux faces naturelles, faisant entre elles un angle de  $60^{\circ}$ , sont :

Pour l'émeraude d'un très-beau vert :

$$\delta = 44^{\circ}45'30'', \delta' = 44^{\circ}11'30''.$$

Pour l'émeraude d'un vert plus pâle :

$$\delta = 44^{\circ}20', \delta' = 43^{\circ}47'30''.$$

Pour l'émeraude incolore de l'île d'Elbe :

$$\delta = 44^{\circ}5'50'', \delta' = 43^{\circ}37'30''.$$

Pour l'émeraude d'une teinte rosée de l'île d'Elbe :

$$\delta = 44^{\circ}8'30'', \delta' = 43^{\circ}38'.$$

$\varepsilon = 1,57068$ , pour les rayons verts; Heusser. —  $\omega = 1,582$ ,  $\varepsilon = 1,576$ , cristal d'un vert jaunâtre très-pâle, parfaitement pur et transparent, de Sibérie; Dx. (1).

NÉPHÉLINE. — Système hexagonal. —  $\omega = 1,539$  à  $1,542$ ,  $\varepsilon = 1,534$  à  $1,537$ ; Dx. (2).

GEHLÉNITE. — Prisme droit à base carrée; Dx.

LÉVYNE. — Rhomboèdre obtus; Br.

PHAKOLITE. — Rhomboèdre obtus; Dx.

IDOCHASE. — Prisme droit à base carrée. —  $\omega = 1,719$  à  $1,722$ ,  $\varepsilon = 1,717$  à  $1,720$ ; Dx. (3).

MEÏONITE. — Prisme droit à base carrée. —  $\omega = 1,594$  à  $1,597$ ,  $\varepsilon = 1,558$  à  $1,561$ ; Dx. (4).

PARANTHINE. — Prisme droit à base carrée; Br.

DIPYRE. — Prisme droit à base carrée; Dx.

MELLILITE de la Somma. — Prisme droit à base carrée; Dx.

EDINGTONITE. — Octaèdre à base carrée, hémédrique; Br.

APOPHYLLITE de Cziclowa en Bannat, et d'une loca-

(1) Pour le béryl vert jaunâtre de Sibérie, les déviations sont :

$$\delta = 44^{\circ}33'30'', \delta' = 44^{\circ}5'.$$

(2) Les déviations minima observées à travers deux faces naturelles de la néphéline sont :

Pour le 1<sup>er</sup> échantillon :  $\delta = 40^{\circ}35'$ ,  $\delta' = 40^{\circ}11'$ .

Pour le 2<sup>e</sup> échantillon :  $\delta = 40^{\circ}52'15''$ ,  $\delta' = 40^{\circ}26'$ .

(3) Les angles des prismes et les déviations correspondantes pour l'idocrase sont :

Pour le 1<sup>er</sup> cristal :  $\alpha = 55^{\circ}12'$ ,  $\delta = 50^{\circ}20'$ ,  $\delta' = 50^{\circ}14'$ .

Pour le 2<sup>e</sup> cristal :  $\alpha = 52^{\circ}17'$ ,  $\delta = 46^{\circ}25'30''$ ,  $\delta' = 46^{\circ}15'$ .

(4) Les déviations minima observées à travers deux faces naturelles de la meionite, faisant entre elles un angle de  $45^{\circ}$ , ont été les suivantes :

Pour le 1<sup>er</sup> cristal :  $\delta = 30^{\circ}11'$ ,  $\delta' = 28^{\circ}12'15''$ .

Pour le 2<sup>e</sup> cristal :  $\delta = 30^{\circ}21'30''$ ,  $\delta' = 28^{\circ}22'45''$ .

lité inconnue. — Prisme droit à base carrée. — Pouvoir biréfringent très-faible; croix grisâtre dans un champ violet; Hers. et Dx.

MÉLINOPHANE. — Forme indéterminée; Dx.

PYROSMAILITE. — Système hexagonal; Dx.

PENNINE. — La plus grande partie des échantillons de Zermatt et de Binnen; quelques-uns de ceux d'Ala. — Pouvoir biréfringent assez fort; croix noire dans un champ bleu; Dx. —  $\omega = 1,576$ ,  $\varepsilon = 1,575$ . Haidinger.

BIOTITE; mica à un axe de la Somma, de Norvège, du Groenland, des États-Unis, de Sibérie, etc., etc. — Prisme rhomboïdal droit très-voisin de  $120^\circ$  (1).

CLINTONITE. — Lames rectangulaires? Dx.

XANTHOPHYLLITE. — Forme indéterminée; Dx.

BRANDISITE. — Lames hexagonales; Dx. (2).

MELLITE. — Octaèdre à base carrée.

$\omega = 1,541$  à  $1,550$ ,  $\varepsilon = 1,518$  à  $1,525$ ; Dx. (3).

SPATH D'ISLANDE. — Rhomboèdre obtus.

$\omega = 1,65850$ ,  $\varepsilon = 1,48635$  pour la raie D de Fraunhofer.

CARBONATE DE CHAUX ET DE FER. — Rhomboèdre obtus; Br.

(1) Les micas ne sont placés ici que pour mémoire, car ils font tous partie d'un même groupe dont les divers membres ont leurs axes dirigés tantôt dans un plan, tantôt dans un autre plan normal au premier, avec un écartement variant de  $0^\circ$  à  $70^\circ$ .

(2) La clintonite, la xanthophyllite et la brandisite sont placées ici parce qu'elles ne possèdent qu'un seul axe optique; si leur composition mieux déterminée les fait quelque jour réunir au groupe des micas, on devra les considérer comme des variétés de micas à un axe.

(3) Les angles des prismes et les déviations correspondantes pour la mellite sont :

Pour le 1<sup>er</sup> cristal très-pur :

$$\alpha = 45^\circ 34', \delta = 27^\circ 41' 40'', \delta' = 26^\circ 25' 40''.$$

Pour le 2<sup>e</sup> cristal moins pur :

$$\alpha = 44^\circ 20', \delta = 27^\circ 14' 20'', \delta' = 25^\circ 56' 40''.$$

DOLOMIE. — Rhomboèdre obtus; Br.

MANGANÈSE CARBONATÉ. — Rhomboèdre obtus; Br.

ZINC CARBONATÉ. — Rhomboèdre obtus; Br.

SUZANNITE; plomb sulfotricarbonaté. — Rhomboèdre aigu; Dx.

HYDRATE DE STRONTIANE. — Prisme droit à base carrée; Br.

AZOTATE DE SOUDE. — Rhomboèdre obtus. —  $\omega = 1,586$ ,  $\varepsilon = 1,336$ ; Dx. (1).

AZOTATE ANHYDRE DE LITHINE:  $\text{LiO}$ ,  $\text{AzO}^5$  (Troost). — Rhomboèdre obtus de  $106^\circ$  environ. — Double réfraction énergique; Dx.

ARGENT ROUGE. — Système hexagonal. —  $\mu = 2,564$ ; Br.

CINABRE. — Système hexagonal; Br.

SULFATE DE NICKEL. — Prisme carré; Br.

SULFATE DE NICKEL ET CUIVRE. — Prisme carré; Br.

SULFATE DE GLUCINE. — Octaèdre à base carrée; Sén.

SULFATE CÉROSO-CÉRIQUE;  $2\text{CeS} + \text{CeS} + 16\text{Aq}$ . — Système hexagonal; Dx.

SULFITE DE CUIVRE ET D'AMMONIAQUE ( $\text{CuS}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $5\text{H}$ ), ( $\text{AzH}^3$ ,  $\text{HS}$ ,  $\text{CuS}$ ); Péan Saint-Gilles. — Prisme droit à base carrée; Dx.

HYPOSULFATE DE CHAUX. — Système hexagonal; Sén.

HYPOSULFATE DE STRONTIANE. — Système hexagonal; Sén.

ALUNITE. — Rhomboèdre obtus; Br.

CHLORURE DE CALCIUM. — Système hexagonal; Sén.

CHLORURE DE STRONTIUM. — Système hexagonal; Sén.

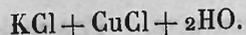
(1) L'angle du prisme et les déviations minima correspondantes pour l'azotate de soude sont :

$$\alpha = 59^\circ 44' 15'', \delta = 44^\circ 37' 30'', \delta' = 25^\circ 43' 30''.$$

CHLORURE ANHYDRE DE MAGNÉSIUM;  $MgCl$ . — Lames hexagonales? Dx.

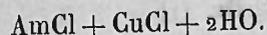
SESQUICHLORURE DE CHROME;  $Cr^2Cl^3$ . — Lames hexagonales; Dx.

CHLORURE DE CUIVRE ET DE POTASSIUM :



Octaèdre à base carrée; Sén.

CHLORURE DE CUIVRE ET D'AMMONIUM :

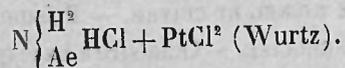


Octaèdre à base carrée; Sén.

MATLOCKITE; oxychlorure de plomb. — Prisme droit à base carrée; Dx.

PROTOCHLORURE DE FER;  $FeCl$ . — Lames hexagonales; Sén.

CHLORURE DE PLATINE ET D'ÉTHYLAMMONIAQUE :



Système hexagonal; Dx.

APATITE. — Système hexagonal.

$$\omega = 1,64607, \varepsilon = 1,64172$$

pour la raie D de Fraunhofer; Heusser.

PYROMORPHITE; plomb phosphaté. — Système hexagonal.

MIMETÈSE; plomb phosphoarséniaté. — Système hexagonal.

CHALCOLITE; phosphate vert d'urane et de cuivre. — Prisme droit à base carrée; Dx.

PHOSPHATE D'AMMONIAQUE:  $AmOPO^5 + 2HO$ . — Prisme droit à base carrée.

$$\omega = 1,512 \text{ à } 1,519, \varepsilon = 1,476 \text{ à } 1,477; \text{ Sén.}$$

PHOSPHATE DE POTASSE:  $KOPO^5 + 2HO$ . — Prisme droit à base carrée.

$$\omega = 1,505 \text{ à } 1,510, \varepsilon = 1,465 \text{ à } 1,472; \text{ Sén.}$$

ÉRINITE; cuivre arséniaté-micacé. — Système hexagonal; Br.

HÉDYPHANE; plomb arséniaté. — Système hexagonal; Br.

IODURE DE CADMIUM. — Lames hexagonales. — Pouvoir biréfringent considérable; Dx.

ARSÉNIATE DE POTASSE:  $KOAsO^5 + 2HO$ . — Prisme droit à base carrée.

$$\omega = 1,587 \text{ à } 1,596, \varepsilon = 1,534 \text{ à } 1,538; \text{ Sén.}$$

IODURE ROUGE DE MERCURE;  $HgI$ . — Octaèdre à base carrée; clivage facile suivant la base; Dx.

IODURE DE PLOMB;  $PbI$ . — Système hexagonal; géométriquement isomorphe avec l'iodure d'argent; Dx.

ARSÉNIATE D'AMMONIAQUE:  $AmOAsO^5 + 2HO$ . — Prisme droit à base carrée.

$$\omega = 1,576 \text{ à } 1,579, \varepsilon = 1,523 \text{ à } 1,525; \text{ Sén.}$$

CORINDON; saphir et rubis. — Rhomboèdre aigu. —  $\omega = 1,769, \varepsilon = 1,762$ ; Mill. —  $\mu = 1,794$  saphir bleu; Br. —  $\mu = 1,768$  corindon blanc. Woll.

ANATASE. — Octaèdre à base carrée.

$$\omega = 2,554, \varepsilon = 2,493; \text{ Mill.}$$

WULFÉNITE; plomb molybdaté. — Prisme droit à base carrée, hémiedrique; Br.

CYANURE DE MERCURE. — Prisme droit à base carrée.

CHIOLITE, de Miask. — Octaèdre à base carrée; Dx.

IODOFORME:  $C^2H, I^3$ . — Système hexagonal; Sén. (1).

(1) Les formules chimiques des sels compris dans les deux catégories précédentes, comme dans les deux suivantes, sont toutes conformes à celles qu'on trouve dans l'ouvrage de M. Rammelsberg, intitulé: « *Handbuch der krystallographischen Chemie.* »

## III. — CRISTAUX A DEUX AXES DE DOUBLE RÉFRACTION.

Afin de pouvoir orienter d'une manière précise le plan des axes et la direction de leur bissectrice, je donne pour les cristaux à deux axes la forme primitive à laquelle on les rapporte généralement, et leurs principaux clivages. Je désigne par  $m$  les faces latérales des prismes rhomboïdaux droits ou obliques, dont le symbole est 110, selon la notation de Miller; la base est  $p = 001$ ; la troncature parallèle à la *petite* diagonale des prismes droits ou à la diagonale *inclivée* des prismes obliques est  $g^1 = 010$ ; la troncature parallèle à la *grande* diagonale des prismes droits ou à la diagonale *horizontale* des prismes obliques est  $h^1 = 100$ . Dans le système du prisme oblique non symétrique,  $p$  est la base,  $m$  et  $t$  sont les faces latérales de la forme primitive. Les angles que j'ai adoptés sont, à quelques rares exceptions près, ceux qui sont donnés dans le traité de minéralogie de Brooke et Miller pour les minéraux, et ceux qu'on trouve dans le manuel de cristallographie chimique de Rammelsberg pour les sels artificiels.

L'angle réel intérieur des axes est désigné par  $2V$ .

L'angle apparent dans l'air est désigné par  $2E$ .

1° *Cristaux dont la ligne moyenne coïncide avec l'axe de plus PETITE ÉLASTICITÉ, ou cristaux positifs.*

STAURITIDE. — Prisme rhomboïdal droit de  $129^\circ 20'$ ; clivage parfait suivant  $g^1$ ; traces suivant  $m$ . — Plan des axes parallèle à la grande diagonale de la base; bissectrice normale à cette base. —  $\beta = 1,7526$  pour les rayons rouges; Mill. —  $2V = 85^\circ$ ; Br.

ANDALOUSITE verte, transparente, du Brésil; cris-

taux fortement dichroïtes. — Prisme rhomboïdal droit de  $90^\circ 44'$ ; clivage distinct suivant  $m$ , imparfait suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à  $h^1$ . —  $\beta = 1,624$  pour les rayons rouges; Mill. —  $2V = 87^\circ 34'$ .

EUCLASE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $144^\circ 40'$ ;  $pm = 99^\circ 47'$ ,  $a^1h^1 = 130^\circ 52'$ , Schabus; clivage parfait suivant  $g^1$ ; moins parfait suivant  $h^1$ ; moins parfait encore suivant  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice parallèle à la modification  $a^1$  et faisant un angle de  $40^\circ 52'$  avec une normale à  $h^1$ . —  $\alpha = 1,6710$ ,  $\beta = 1,6553$ ,  $\gamma = 1,6520$ , Dx. — On tire de ces nombres:  $2V = 49^\circ 37'$ ,  $2E = 87^\circ 59'$ . L'observation directe m'a donné:  $2E = 88^\circ 20'$  (1).

ÉPIDOTE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $116^\circ 53'$ :  $pm = 102^\circ 59'$ ,  $a^1h^1 = 90^\circ 33'$ , Miller; clivage parfait suivant  $h^1$ , moins parfait suivant  $p$ ; la face  $p$  est le plan d'hémitropie le plus habituel. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à  $a^2 = l$  de Miller. —  $\beta = 1,7$  environ,  $2V = 87^\circ 5'$ . Mill.

ALBITE. — Prisme oblique non symétrique:  $mt = 120^\circ 47'$ ,  $pm = 110^\circ 50'$ ,  $pt = 114^\circ 42'$ ,  $pg^1$  opposé au plan d'hémitropie  $= 86^\circ 25'$ ; clivage parfait suivant  $p$ , moins parfait suivant  $g^1$ ; traces suivant  $t$ ; hémitropie habituelle autour de la face  $g^1$ . — Plan des axes sensiblement normal à l'arête  $\frac{m}{t}$ , et faisant un angle d'environ  $11^\circ$  avec une normale à  $g^1$ ; bissectrice faisant un

(1) Les angles des prismes et les déviations minima qui ont servi à calculer les trois indices de l'Euclase sont:

$l = 49^\circ 36'$ ,  $D = 59^\circ 26'$ ,  $I = 51^\circ 11' 30''$ ,  $D' = 40^\circ 9' 30''$  pour un cristal;

$l' = 49^\circ 34'$ ,  $D' = 58^\circ 16' 30''$  pour un autre cristal;

$l'' = 50^\circ 8' 45''$ ,  $D'' = 58^\circ 43' 30''$  pour le premier cristal.

angle de  $10^\circ$  à  $12^\circ$  avec une normale à  $g^1$ , et un angle de  $85^\circ 35'$  à  $81^\circ 35'$  avec une normale à  $p$ .

Les courbes isochromatiques se voient aussi bien dans les cristaux hémitropes que dans les cristaux dédoublés; elles sont surtout nettes dans les petits échantillons mâclés du col du Bonhomme, ce qui prouve que le plan des axes est réellement très-près d'être normal à l'arête  $\frac{m}{t}$ . — Écartement des axes au moins égal, sinon supérieur à celui de l'orthose; Dx.

LABRADORITE. — Prisme oblique non symétrique;  $mt = 121^\circ 57'$ ,  $pm = 110^\circ 50'$ ,  $pt = 113^\circ 34'$  (Marignac); clivages; parfait suivant  $p$ , moins parfait suivant  $g^1$ ; traces suivant  $m$ . — Plan des axes situé à peu près comme dans l'albite; anneaux moins nets que dans ce minéral; Dx. —  $R = 1,80$ ; Heusser.

ANORTHITE. — Prisme oblique non symétrique;  $mt = 120^\circ 30'$ ,  $pm = 110^\circ 40'$ ,  $pt = 114^\circ 7'$  (Marignac); clivages parfaits suivant  $p$  et  $g^1$ . — Hémitropie habituelle autour de  $g^1$ . — Plan des axes situé à peu près comme dans l'albite; cependant les doubles systèmes d'anneaux qu'on voit dans les cristaux hémitropes prouvent que ce plan n'est pas normal à l'arête  $\frac{m}{t}$ ; Dx.

OLIGOCLEASE, pierre de soleil. — Prisme oblique non symétrique;  $mt = 119^\circ 58'$ ,  $pm = 111^\circ$ ,  $pt = 115^\circ 7'$  (Marignac); clivages; parfait suivant  $p$ , moins parfait suivant  $g^1$ , imparfait suivant  $m$ ; hémitropie habituelle autour de  $g^1$ . — Plan des axes sensiblement normal à  $g^1$  et à l'arête  $\frac{m}{t}$ . Les anneaux visibles à travers une face de clivage parallèle à  $g^1$  sont très-nets. L'écartement extérieur des axes optiques paraît être le même que dans l'albite; Dx.

MÉSOTYPE. — Prisme rhomboïdal droit de  $91^\circ$ ; clivage parfait suivant  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice parallèle à l'arête verticale  $\frac{m}{m}$ :  $2E = 90^\circ$  environ. —  $\alpha = 1,522$ ,  $\gamma = 1,516$ ; Br.

BRÉVICITE. — Identique à la mésotype; Dx.

PREHNITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $99^\circ 56'$ ; clivage assez parfait suivant  $p$ , moins parfait suivant  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2E = 119^\circ$  environ; Dx.

CLINOCHLORE de Pensylvanie. — Lames triangulaires ou hexagonales; clivage très-facile suivant la base, moins facile suivant trois directions faisant entre elles des angles de  $60^\circ$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant avec une normale à la base un angle de  $15^\circ 16'$ . —  $2E = 86^\circ$  environ; Beer.

CLINOCHLORE de l'Oural (ancienne chlorite hexagonale). — Prisme rhomboïdal oblique de  $125^\circ 37'$ ;  $pm = 113^\circ 57'$  (Kokschar.); clivage parfait suivant la base. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faiblement inclinée sur une normale à la base. —  $2E = 50^\circ$  environ; Dx.

CLINOCHLORE de Pfunders en Tyrol. — Prisme rhomboïdal oblique de  $125^\circ 57'$ ,  $pm = 113^\circ 57'$ ; cristaux presque toujours mâclés en doubles pyramides hexagonales; clivage parfait suivant la base. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faiblement inclinée sur une normale à  $p$ . —  $2E = 50^\circ$  environ; Dx.

CLINOCHLORE de Zillertal en Tyrol, et d'Ala en Piémont. — Prisme rhomboïdal oblique de  $125^\circ 37'$ ,  $pm = 113^\circ 57'$ . Les cristaux de Zillertal sont presque toujours mâclés comme ceux de Pfunders; ceux d'Ala sont souvent simples; clivage parfait suivant la base. —  $2E = 45^\circ$  environ; Dx.

**TABERGITE.** — Lames hexagonales ou triangulaires; clivage parfait suivant la base, moins parfait dans trois directions se coupant sous des angles de  $60^\circ$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice peu inclinée sur la base. —  $2E = 30^\circ$  environ; Dx.

**CHLORITE DE TRAVERSELLE.** — Lames hexagonales, presque toujours mâclées; clivage très-facile suivant la base. — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice peu inclinée sur la base. — Angle apparent très-petit. — Les lames positives sont mélangées de lames négatives d'un vert plus foncé; Dx.

**KÄMMERÉRITE.** — Lames hexagonales; clivage très-facile suivant  $p$ . — Pouvoir biréfringent très-faible. — Angle apparent inférieur à  $20^\circ$ ; Dx.

**RIPIDOLITE.** — Lames hexagonales; clivage parallèle à la base. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ . — Pouvoir biréfringent très-faible. — Angle apparent inférieur à  $20^\circ$ ; Dx.

**COMPTONITE.** — Prisme rhomboïdal droit de  $90^\circ 40'$ ; clivages; parfait suivant  $g^1$ , moins parfait suivant  $h^1$ ; traces suivant  $p$ . — Plan des axes parallèle à la base; bissectrice parallèle à la grande diagonale de la base. —  $2V = 56^\circ 6'$ ,  $R = 1,553$ ; Br.

**THOMSONITE de Dumbarton.** — Identique à la comptonite. —  $2E = 79^\circ$  environ; Dx.

**HARMOTOME.** — Prisme rhomboïdal droit de  $110^\circ 26'$ ; clivages; distinct suivant  $g^1$ , moins distinct suivant  $p$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2E = 90^\circ$  environ; Dx.

**HEULANDITE.** — Prisme rhomboïdal oblique de  $136^\circ 4'$ ;  $pm = 91^\circ 19'$ ; clivage parfait suivant  $g^1$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$  et presque parallèle à la base; bissectrice parallèle à la diagonale horizontale de la base. —  $2V = 41^\circ 42'$ ; Br.

**BEAUMONTITE.** — Identique à la Heulandite; Dx.

**BREWSTÉRITE.** — Prisme rhomboïdal oblique de  $136^\circ$ ;  $ph^1 = 93^\circ 40'$ ,  $pm = 93^\circ 24'$ . — Clivage parfait suivant  $g^1$ ; traces suivant  $h^1$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle d'environ  $60^\circ$  avec une normale à  $h^1$ , et un angle de  $26^\circ 20'$  avec une normale à la base. — Bissectrice parallèle à la diagonale horizontale de la base. —  $2E = 85^\circ$  environ; Dx.

**CALAMINE; Silicate de zinc hydraté.** — Prisme rhomboïdal droit de  $104^\circ 12'$ ; clivages; parfait suivant  $m$ , facile suivant  $a^1 = 011$  de Miller. — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2E = 80^\circ$  environ; Dx.

**PÉRIDOT.** — Prisme rhomboïdal droit de  $119^\circ 12'$ ; clivage facile suivant  $g^1$ ; traces suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $\alpha = 1,697$ ,  $\beta = 1,678$ ,  $\gamma = 1,661$ , sur de petits cristaux de Torre del Greco près Naples; on en conclut :  $2V = 87^\circ 46'$ ; Soret avait indiqué pour cet angle  $88^\circ$ ; Dx. (1).

**DIOPSIDE.** — Prisme rhomboïdal oblique de  $87^\circ 6'$ ;  $pm = 100^\circ 57'$ ,  $ph^1 = 106^\circ 1'$ ; clivages; assez parfait suivant  $m$ ; moins distincts suivant  $h^1$  et  $g^1$ ; hémitropie habituelle autour de  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $51^\circ 6'$  avec une normale

(1) Les angles des prismes et les déviations minima correspondantes qui ont servi à calculer les trois indices du péridot sont :

$$\begin{aligned} I &= 43^\circ 52', & D &= 34^\circ 50'; \\ I' &= 44^\circ 0' 48'', & D' &= 33^\circ 55'; \\ I'' &= 44^\circ 55' 30'', & D'' &= 33^\circ 51'. \end{aligned}$$

Le premier et le dernier prisme étaient taillés sur le même cristal; le prisme moyen était pris sur un autre cristal.

à  $h^1$  et un angle de  $22^\circ 54'$  avec une normale à  $p$ .  
 $\beta = 1,680$ ,  $2V = 58^\circ 57'$ ; d'où  $2E = 111^\circ 28'$  Miller.  
 $2E = 111^\circ 25'$  observé; Dx.

AZOTATE D'URANE. — Prisme rhomboïdal droit de  $117^\circ 20'$ . — Plan des axes parallèle à la base; bissectrice parallèle à la petite diagonale de la base; Sén.

AZOTATE D'ARGENT. — Prisme rhomboïdal droit de  $93^\circ 22'$ . — Les cristaux se présentent généralement sous la forme de tables rhomboïdales biselées, composées d'une base  $p$ , très-prédominante, et des faces de l'octaèdre  $b^{1/2}$ . — Plan des axes parallèle à la petite diagonale de la base; bissectrice normale à cette base.  
 $2V = 62^\circ 16'$ . —  $\alpha = 1,788$ ,  $\gamma = 1,729$ ; Br.

SOUFRE. — Prisme rhomboïdal droit de  $101^\circ 58'$ ; clivages imparfaits suivant  $m$  et  $b^{1/2}$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2V = 70^\circ$  à  $75^\circ$ ;  $R = 2,0$  à  $2,24$ .

SULFATE DE BARYTE. — Prisme rhomboïdal droit de  $101^\circ 40'$ ; clivages parfaits suivant  $p$  et  $m$ ; moins parfaits suivant  $g^1$  et  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice parallèle à la petite diagonale de la base. —  $\alpha = 1,64797$ ,  $\beta = 1,63745$ ,  $\gamma = 1,63630$ , pour la raie D de Fraunhofer, d'où l'on conclut  $2V = 35^\circ 4'$ ,  $2E = 59^\circ 6'$ ; Heusser. —  $2E = 60^\circ$  à  $61^\circ$  observé; Dx. — Les indices mesurés par Wilde conduisent à  $2V = 36^\circ 48'$ , d'où  $2E = 62^\circ 15'$ .

SULFATE DE STRONTIANE. — Prisme rhomboïdal droit de  $104^\circ 2'$ ; clivages; parfaits suivant  $p$  et  $m$ ; moins parfait suivant  $g^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice parallèle à la petite diagonale de la base.  $2V = 50^\circ$ ; Br.  $2E = 91^\circ$  observé; Dx. —  $R = 1,644$ ; Br.

SULFATE DE PLOMB. — Prisme rhomboïdal droit de  $103^\circ 38'$ ; clivages imparfaits suivant  $m$  et  $p$ ; traces suivant  $g^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ .

L'angle réel des axes est voisin de  $90$ . —  $R = 1,925$ ; Br.

ANHYDRITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $96^\circ 36'$ ; clivages; parfaits suivant  $p$  et  $g^1$ ; moins parfait suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à la base; bissectrice parallèle à la petite diagonale de cette base. —  $\alpha = 1,614$ ,  $\beta = 1,576$ ,  $\gamma = 1,571$ ; Miller. De ces trois indices on déduit  $2V = 40^\circ 34'$  et  $2E = 66^\circ 14'$ ; mais ces angles sont trop faibles; car j'ai obtenu pour l'angle apparent  $2E = 71^\circ 10'$  à  $20'$ ; et M. Miller indique comme résultat de ses observations  $2V = 43^\circ 52'$ ,  $2E = 71^\circ 31'$ .

GYPSE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $111^\circ 22'$ ,  $a^{1/2}h^1 = 127^\circ 44'$ ,  $pm = 109^\circ 27'$  (Dx.). — Clivages; parfait suivant  $g^1$ ; moins parfait et vitreux suivant  $h^1$ ; fibreux suivant  $p$ . ( $a^{1/2}$  est la face d'hémitropie dans les cristaux en fer de lance de Montmartre.) — A la température ordinaire, le plan des axes est parallèle à  $g^1$ ; à  $9^\circ,4$  centig., la bissectrice fait un angle de  $57^\circ 28'$  avec une normale à  $h^1$ , et un angle de  $14^\circ 48'$  avec une normale à  $a^{1/2}$  (1). — A  $9^\circ$  centig., l'angle réel des axes est égal à  $61^\circ 24'$ ; à  $80^\circ$  centig., les deux axes se réunissent et se confondent avec leur bissectrice; au delà de  $80^\circ$  ils se séparent de nouveau, mais dans un plan normal à  $g^1$ . —  $\alpha = 1,52975$ ,  $\beta = 1,52267$ ,  $\gamma = 1,52056$ , pour les rayons jaunes fournis par une lampe à alcool salé, à la température de  $19^\circ$  centig., Ångström; on déduit de ces nombres  $2V = 57^\circ 51'$ .

SULFATE DE POTASSE A DEUX AXES; KOSO<sup>3</sup>. — Prisme rhomboïdal droit de  $120^\circ 24'$ . — Plan des axes paral-

(1) La moyenne d'une très-nombreuse série d'expériences que j'ai faites il y a plusieurs années, dans le laboratoire de M. Biot, sur des macles naturelles ou artificielles, composées de deux lames hémitropes autour de  $h^1$ , m'a donné: pour l'angle de la bissectrice avec une normale à  $h^1$ ,  $59^\circ 59'$ ; et pour l'angle de cette même ligne avec une normale à  $a^{1/2}$ ,  $12^\circ 17'$ ; la température variant de  $15^\circ$  à  $20^\circ$  cent.

lèle à  $h^1$ ; bissectrice parallèle à la grande diagonale de la base. —  $2V = 66^\circ 54'$ ;  $\beta = 1,494$ ; Sén.

SULFATE D'AMMONIAQUE :  $AmOSO^3$ . — Prisme rhomboïdal droit de  $121^\circ 8'$ ; optiquement isomorphe avec le sulfate de potasse. —  $2V = 49^\circ 42'$ ; Marx.

SULFATE DE POTASSE ET DE MANGANÈSE :  $KOSO^3 + MnOSO^3 + 6Aq.$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $109^\circ 30'$ ,  $pm = 104^\circ 45'$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $99^\circ 21'$  à  $100^\circ 25'$  avec une normale à  $p$ , et un angle de  $8^\circ 49'$  à  $7^\circ 45'$  avec une normale à  $h^1$ . —  $2V = 51^\circ 6'$ ;  $\beta = 1,487$ ; Sén.

SULFATE DE POTASSE ET DE NICKEL :  $KOSO^3 + NiOSO^3 + 6Aq.$  — Isomorphe avec le précédent. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $96^\circ 56'$  à  $97^\circ 32'$  avec une normale à  $p$ , et un angle de  $11^\circ 14'$  à  $10^\circ 38'$  avec une normale à  $h^1$ . —  $2V = 54^\circ 2'$ ;  $\beta = 1,489$  à  $1,492$ ; Sén.

SULFATE DE POTASSE ET DE COBALT :  $KOSO^3 + CoOSO^3 + 6Aq.$  — Isomorphe avec le précédent. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $96^\circ 45'$  à  $97^\circ 36'$  avec une normale à  $p$ , et un angle de  $11^\circ 25'$  à  $10^\circ 34'$  avec une normale à  $h^1$ . —  $2V = 52^\circ 11'$ ;  $\beta = 1,462$  à  $1,469$ ; Sén.

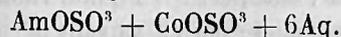
SULFATE DE POTASSE ET DE FER :  $KOSO^3 + FeOSO^3 + 6Aq.$  — Isomorphe avec le précédent. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $98^\circ 51'$  avec une normale à  $p$ , et un angle de  $9^\circ 19'$  avec une normale à  $h^1$ ; Mill.

SULFATE D'AMMONIAQUE ET DE MAGNÉSIE :  $AmOSO^3 + MgOSO^3 + 6Aq.$  — Isomorphe avec le précédent. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $98^\circ 41'$  à  $99^\circ 1'$  avec une normale à  $p$ . —  $2V = 51^\circ 4'$ ;  $\beta = 1,476$  à  $1,483$ ; Sén.

SULFATE D'AMMONIAQUE ET DE NICKEL :  $AmOSO^3 + NiO$

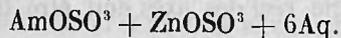
$SO^3 + 6Aq.$  — Isomorphe avec le précédent. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $102^\circ 1'$  avec une normale à  $p$ . —  $\beta = 1,498$  à  $1,500$ ; Sén.

SULFATE D'AMMONIAQUE ET DE COBALT.



Isomorphe avec le précédent. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $102^\circ$  avec une normale à  $p$ . —  $\beta = 1,491$  à  $1,494$ ; Sén.

SULFATE D'AMMONIAQUE ET DE ZINC.



Isomorphe avec le précédent. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $100^\circ 5'$  avec une normale à  $p$ . —  $\beta = 1,491$ ; Sén.

BISULFATE DE SOUDE (Deville). — Prisme rhomboïdal oblique. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle d'environ  $15^\circ$  à  $20^\circ$  avec une normale à  $h^1$ . —  $2E = 45^\circ$  environ; Dx.

HYPOSULFITE DE SOUDE :  $NaOS^2O^3 + 5Aq.$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $142^\circ 30'$ .  $pm = 103^\circ 10'$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle de  $49^\circ$  avec une normale à  $h^1$ , et un angle de  $54^\circ 55'$  avec une normale à  $p$ , pour les rayons rouges; ces angles sont respectivement de  $47^\circ$  et  $56^\circ 55'$  pour les rayons violets; bissectrice parallèle à la diagonale horizontale de la base. —  $2E = 100^\circ$  à  $110^\circ$ ; Sén. (1).

SULFITE DE SOUDE :  $NaOSO^2 + 6Aq.$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $65^\circ$ ,  $pm = 92^\circ 28'$ . — Plan des axes

(1) Le signe de la bissectrice de l'hyposulfite de soude et les angles que le plan de ses axes fait avec les normales à  $p$  et à  $h^1$  m'ont été communiqués par M. de Sénarmont; c'est par suite d'erreurs typographiques que dans une note de ce savant, intitulée « *Remarques sur les propriétés optiques de quelques cristaux,* » et insérée au tome XLI des *Annales de chimie et de*

l'on tire  $2V = 45^{\circ} 20'$  et  $2E = 84^{\circ} 43'$ . —  $2E = 85^{\circ}$  a été observé dans des échantillons bien homogènes; Dx. (1).

SPHÈRE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $133^{\circ} 48'$ ;  $pm = 94^{\circ} 30'$ ,  $a^2p = 140^{\circ} 39'$  (Miller); clivages; assez distinct suivant  $e^1 = 011$ , Mill.; moins distincts suivant  $p$  et  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice perpendiculaire à  $a^2 = x$  de Miller. —  $2V = 30^{\circ} 22'$ ;  $\beta = 1,631$ ; Mill.

SCORODITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $98^{\circ} 1'$ ; clivage imparfait suivant  $g^3 = 210$  de Mill.; traces suivant  $g^1$  et  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice parallèle à l'arête verticale  $\frac{m}{m}$ . —  $2E$  voisin de  $90^{\circ}$ ; Dx.

calculer les indices de la topaze incolore du Brésil, sont :

Pour les rayons verts :

$$\begin{aligned} I &= 58^{\circ} 9' 30'', & D &= 46^{\circ} 6' 30''; \\ I' &= 61^{\circ} 1' 20'', & D' &= 49^{\circ} 22' 20''; \\ I'' &= 65^{\circ} 38' 7'', & D'' &= 56^{\circ} 33'. \end{aligned}$$

Pour les rayons jaunes :

$$D = 45^{\circ} 56'; \quad D' = 49^{\circ} 10' 20''; \quad D'' = 56^{\circ} 9' 20''.$$

Quoique l'écartement apparent des axes varie beaucoup dans les topazes de diverses couleurs et de diverses provenances, M. de Sénarmont a observé que cet écartement n'éprouvait aucun changement quand on brûlait une topaze jaune du Brésil. Parmi les cristaux de cette dernière localité, j'en ai remarqué plusieurs qui se composaient d'un centre jaune foncé où les axes faisaient un angle d'environ  $70^{\circ}$ , et d'une croûte extérieure, d'un jaune clair, où cet angle s'élevait jusqu'à  $90^{\circ}$ .

(1) Dans un échantillon offrant des gerçures intérieures, je n'ai trouvé pour l'angle apparent que  $72^{\circ}$  environ; M. Biot avait, de son côté, observé autrefois un écartement de  $50^{\circ}$ .

Les angles des trois prismes taillés sur un même échantillon, et les déviations correspondantes qui ont servi au calcul des trois indices de la cynophane, sont :

$$\begin{aligned} I &= 45^{\circ} 24' 30'', & D &= 39^{\circ} 57' 45''; \\ I' &= 44^{\circ} 33', & D' &= 38^{\circ} 28'; \\ I'' &= 55^{\circ} 15' 30'', & D'' &= 52^{\circ} 59' 30''. \end{aligned}$$

STRUVITE; phosphate ammoniaco-magnésien. — Prisme rhomboïdal droit de  $122^{\circ} 50'$  hémédrique; clivage parfait suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à  $h^1$ . —  $2E = 59^{\circ} 30'$ ;  $R = 1,52$ .

BICHROMATE DE POTASSE;  $KOCr^2O^3$ . — Prisme oblique non symétrique;  $mt = 91^{\circ} 42'$ ;  $pm = 96^{\circ} 25'$ ;  $pt = 98^{\circ} 22'$ ; clivages; parfait suivant  $p$ , moins parfait suivant  $m$ , encore moins parfait suivant  $t$ . — Les cristaux sont souvent tabulaires parallèlement à  $p$ . — D'après la position d'un des systèmes d'anneaux, visible à travers  $p$ , le plan des axes doit être sensiblement normal à l'arête  $\frac{p}{t}$ .

PRUSSATE ROUGE DE POTASSE;  $3KCy + Fe^2Cy^3$ . — Prisme rhomboïdal faiblement oblique de  $76^{\circ} 4'$  (Rammelsberg et Kopp); prisme rhomboïdal droit (Beer et Schabus); clivage suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice sensiblement parallèle à l'arête verticale  $\frac{m}{m}$ . —  $2V = 19^{\circ} 35'$ ; Marx.

LÉVO ET DEXTROTARTRATE DE POTASSE ET DE SOUDE; sel de Seignette. — Prisme rhomboïdal droit de  $100^{\circ} 30'$ , hémédrique. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à  $h^1$ . —  $2V = 76^{\circ}$  pour les rayons rouges;  $= 56^{\circ}$  pour les rayons violets. —  $\beta = 1,4929$  pour les rayons rouges;  $\beta = 1,4985$  pour les rayons verts moyens; Herschel (1).

LÉVO ET DEXTROTARTRATE DE SOUDE ET D'AMMONIAQUE; sel de Seignette ammoniacal. — Prisme rhomboïdal

(1) Dans son mémoire intitulé « *Recherches sur les propriétés optiques biréfringentes des corps isomorphes*, » M. de Sénarmont a annoncé que le sel de Seignette était *négalif*, et que la bissectrice était normale à la base, quoiqu'en réalité ce sel soit *positif* et que sa bissectrice soit perpendiculaire à  $g^1$ ; il a

droit de  $100^{\circ} 30'$ , hémihédrique. — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à  $g^1$ . —  $2V = 62^{\circ}$  pour les rayons rouges;  $= 46^{\circ}$  pour les rayons violets. —  $2E = 100^{\circ}$  et  $70^{\circ}$ ;  $\beta = 1,490$ , lévotartrate;  $\beta = 1,495$ , dextrotartrate; Sén.

SEL DE SEIGNETTE POTASSIQUE ET AMMONIACAL. — Prisme rhomboïdal droit de  $100^{\circ} 38'$ . — Plan des axes parallèle, tantôt à la *petite*, tantôt à la *grande* diagonale de la base, suivant que le sel potassique ou le sel ammoniacal domine; bissectrice normale à  $g^1$  ou à  $h^1$ . Angle variable avec la composition du sel; Sén.

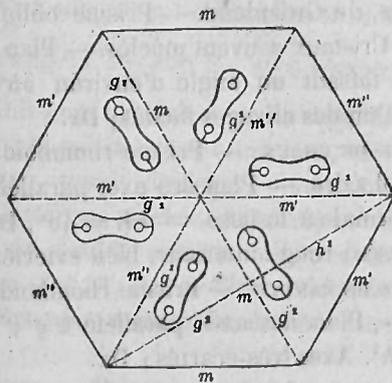
LÉVO ET DEXTROTARTRATE D'AMMONIAQUE. — Prisme rectangulaire oblique, hémihédrique;  $ph^1 = 91^{\circ} 58'$  (Pasteur). — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; la bissectrice fait un angle de  $16^{\circ} 43'$  avec une normale à  $p$ , et un angle de  $71^{\circ} 19'$  avec une normale à  $h^1$ . —  $2V = 38^{\circ} 2'$ ,  $2E = 59^{\circ} 35'$ . —  $\beta = 1,534$  dextrotartrate;  $\beta = 1,535$  lévotartrate; Sén.

GLUCOSATE DE SEL MARIN;  $(NaCl + 2C^{12}H^{12}O^{12}) + 2Aq$ . — Prisme rhomboïdal droit très-voisin de  $120^{\circ}$ , hémihédrique. — Les cristaux sont généralement mâclés en forme de dodécaèdre hexagonal modifié par une truncature sur les angles latéraux, et terminé par les faces d'un pseudorhomboèdre. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2E$  très-petit; Dx.

Les cristaux de glucosate de sel marin offrent des mâcles d'une disposition toute particulière, qui ne s'est rencontrée jusqu'ici dans aucune autre substance. En effet, si l'on examine dans la lumière polarisée, une

reconnu depuis, et il m'a prévenu que cette erreur tenait uniquement à ce qu'il avait toujours pris la bissectrice de l'angle *obtus* pour la bissectrice de l'angle *aigu*; toutes les remarques de ce savant restent par conséquent vraies, lorsqu'on applique à la *première* ligne ce qu'il a cru appliquer à la *seconde*.

plaque coupée perpendiculairement à l'axe vertical des dodécaèdres, on voit que cette plaque, hexagonale, se compose comme les mâcles de baryte carbonatée, de stromnite, etc., de six triangles plus ou moins nettement terminés; dans chacun de ces triangles, le plan des axes optiques est dirigé comme l'indique la figure ci-jointe.



Cette direction étant toujours parallèle à un des côtés des triangles, coïncide nécessairement avec la modification  $g^1$  de la forme primitive; par conséquent, au lieu de se joindre par des faces homologues,  $m$ , comme cela arrive dans la baryte carbonatée, les triangles présentent alternativement au contact une face  $m$  et une face  $g^1$ ; ce mode de groupement exige déjà que l'angle du prisme primitif soit presque rigoureusement égal à  $120^{\circ}$ ; mais ce qui prouve encore mieux qu'il en est ainsi, c'est que les dodécaèdres hexagonaux résultant de la mâcle, portent sur leurs six angles latéraux une modification parfaitement unie et plane, qui ne peut être que le résultat de la juxtaposition d'une face  $g^2$  et d'une face  $h^1$ , comme je l'ai indiqué sur une partie de la figure: or il n'y a que le prisme hexagonal régulier dans lequel ces deux

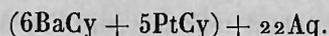
modifications n'en fassent réellement qu'une. Quant aux facettes hémihédriques des deux sommets, leur disposition s'explique très-bien si l'on suppose que chacun des six prismes triangulaires qui composent la macle porte alternativement une troncation simple ou une troncation double sur ses deux arêtes supérieure et inférieure, correspondant au contour hexagonal de la base.

CRYOLITE, du Gröenland. — Prisme oblique non symétrique? Cristaux souvent maclés. — Plan des axes et bissectrice faisant un angle d'environ  $55^\circ$  avec une normale à l'un des clivages faciles; Dx.

FORMIATE DE CHAUX. — Prisme rhomboïdal droit de  $129^\circ 55'$ , holoèdre. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2E = 40^\circ$ ; Dx. — Axes très-dispersés; rouge intérieur, bleu extérieur.

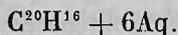
FORMIATE DE BARYTE. — Prisme rhomboïdal droit de  $105^\circ 10'$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à  $h^1$ . Axes très-écartés; Dx.

CYANURE DE BARYUM ET DE PLATINE :



Prisme rhomboïdal oblique de  $99^\circ 42'$ . — Plan des axes optiques parallèle à  $g^1$ ; bissectrice à peu près parallèle à l'arête verticale  $\frac{m}{m}$ . — Dispersion des axes très-forte; Sénarmont.

TERPINE; hydrate de térébenthine (Deville) :



Prisme rhomboïdal droit de  $102^\circ 35'$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à  $h^1$ ; Sén.

ACIDE CITRIQUE. — Prisme rhomboïdal droit de  $112^\circ 2'$ ; clivages parfaits suivant la base et suivant une face  $a^{1/2}$ ;  $a^{1/2}a^{1/2}$  sur  $p = 78^\circ 6'$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à  $g^1$ ; Dx. —  $2V = 70^\circ 29'$ ; R = 1,527; Br.

2° *Cristaux dont la ligne moyenne coïncide avec l'axe de plus GRANDE ÉLASTICITÉ, ou cristaux négatifs.*

DISTHÈNE. — Prisme oblique non symétrique :  $mt = 106^\circ 15'$ ,  $pm = 100^\circ 50'$ ,  $pt = 93^\circ 15'$ ; clivages; parfait suivant  $m$ , moins parfait suivant  $t$ , encore moins parfait suivant  $p$ . — Plan des axes normal à  $m$ , faisant un angle d'environ  $30^\circ$  avec l'arête  $\frac{m}{g^1}$ ; bissectrice sensiblement normale à  $m$ . En regardant à travers des lames très-minces et non macées, clivées parallèlement à  $m$ , on voit de beaux anneaux colorés très-écartés. Certaines macles, hémotropes autour de  $m$ , montrent un double système d'hyperboles très-net; Dx. —  $2V = 81^\circ 48'$ ; Br. — C'est évidemment par erreur que Brewster a rangé le *disthène* parmi les corps positifs.

CORDIÉRITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $119^\circ 10'$ ; clivage imparfait suivant  $h^1$ ; traces suivant  $m$  et  $g^1$ ; plans de séparation suivant  $p$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $\alpha = 1,5433$ ,  $\beta = 1,5413$ ,  $\gamma = 1,5371$  pour la variété de Ceylan; d'où l'on tire :  $2V = 69^\circ 3'$ ,  $2E = 121^\circ 46'$ . L'observation directe m'a donné  $2E = 121^\circ$  à  $122^\circ$ . —  $\alpha = 1,544$ ,  $\beta = 1,541$ ,  $\gamma = 1,535$  pour la variété de Bodenmais; d'où l'on conclut :  $2V = 70^\circ 4'$ ,  $2E = 124^\circ 24'$ . L'écartement apparent m'a semblé être à peu près le même que dans la variété de Ceylan. —  $\alpha = 1,5396$ ,  $\beta = 1,5377$ ,  $\gamma = 1,5345$ , pour la variété d'Orjårfvi très-dichroïte; on tire de ces nombres :  $2V = 69^\circ 57'$ ,  $2E = 123^\circ 38'$ . L'écartement apparent est un peu plus fort que dans la variété de Ceylan. —  $\alpha = 1,5627$ ,  $\beta = 1,5616$ ,  $\gamma = 1,5523$ , pour la variété de Haddam, faiblement dichroïte; on conclut de ces valeurs :  $2V = 57^\circ 48'$ .

$2E = 60^{\circ} 46'$ . L'observation directe m'a fourni :  $2E = 61^{\circ}$ ; Dx. (1).

**ORTHOSE.** — Prisme rhomboïdal oblique de  $118^{\circ} 48'$ ;  $pm = 112^{\circ} 16'$ ,  $ph^1 = 116^{\circ} 7'$ ; clivage très-facile suivant  $p$ , moins facile suivant  $g^1$ . — Plan des axes le plus généralement perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle de  $21^{\circ} 7'$  avec une normale à  $h^1$  et un angle de  $95^{\circ}$  avec une normale à  $p$ ; quelquefois ce plan devient perpendiculaire à la base, et *parallèle* à  $g^1$ ; la bissectrice fait constamment un angle d'environ  $5^{\circ}$  avec la diagonale inclinée de la base. —  $\alpha = 1,5260$ ,  $\beta = 1,5237$ ,  $\gamma = 1,5190$  pour un échantillon d'*adulaire* du Saint-Gothard; on tire de ces nombres :  $2V = 69^{\circ} 43'$ ,  $2E = 121^{\circ} 6'$ . L'observation m'a donné  $2E = 120^{\circ}$  à

(1) Les angles des prismes et les déviations minima correspondantes qui ont servi à calculer les trois indices de la coriérite sont :

Pour la variété de Ceylan :

$$I = 49^{\circ} 33', D = 51^{\circ} 2' 30''; I' = 49^{\circ} 1' 45'', D' = 30^{\circ} 35' 30'';$$

l'exiguité de l'échantillon n'avait pas permis de rendre l'arête de ce second prisme rigoureusement perpendiculaire au plan des axes; aussi l'indice qu'il fournit est-il notablement trop fort, puisqu'au lieu de  $1,5413$  qui a été adopté, le calcul donne  $1,5430$ :

$$I'' = 60^{\circ} 15' 30'', D'' = 40^{\circ} 41' 30''.$$

Pour la variété de Bodenmais :

$$I = 31^{\circ} 11', D = 17^{\circ} 51' 15'';$$

$$I' = 38^{\circ} 27' 45'', D' = 22^{\circ} 31' 45'';$$

$$I'' = 59^{\circ} 34' 30'', D'' = 59^{\circ} 48'.$$

Pour la variété d'Orjjarfvi :

$$I = 54^{\circ} 57', D = 35^{\circ} 54' 20'';$$

$$I' = 55^{\circ} 45' 15'', D' = 34^{\circ} 19' 30'';$$

$$I'' = 52^{\circ} 14' 15'', D'' = 32^{\circ} 45' 30''.$$

Pour la variété de Haddam :

$$I = 55^{\circ} 40', D = 38^{\circ} 2' 30'';$$

$$I' = 55^{\circ} 42' 45'', D' = 38^{\circ} 0' 47'';$$

$$I'' = 55^{\circ} 28' 48'', D'' = 37^{\circ} 3' 7''.$$

$121^{\circ}$ . —  $\alpha = 1,5243$ ,  $\beta = 1,5223$ ,  $\gamma = 1,5181$  pour un autre échantillon du Saint-Gothard; d'où l'on tire :  $2V = 69^{\circ} 1'$ ,  $2E = 119^{\circ} 11'$ . L'observation directe a fourni :  $2E = 119^{\circ} 35'$ . Dans une plaque du second échantillon, où  $2E = 72^{\circ}$  à  $75^{\circ}$ , j'ai trouvé :  $\beta = 1,5225$ . — Certaines parties de ce même échantillon offrent un écartement apparent inférieur à  $10^{\circ}$ ; Dx. (1).

**FELDSPATH PIERRE DE LUNE.** — Identique à l'orthose le plus ordinaire, pour la forme et les propriétés optiques. —  $2E = 120^{\circ}$ ; Dx.

**SCOLÉSITE.** — Prisme rhomboïdal oblique de  $91^{\circ} 36'$ ; clivage facile parallèlement à  $g^1$ ; cristaux généralement hémotropes autour de  $h^1$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle de  $10^{\circ}$  à  $11^{\circ}$  avec le plan d'hémitropie, et coïncidant avec les stries visibles sur la face  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $10^{\circ}$  à  $11^{\circ}$  avec

l'arête verticale  $\frac{m}{m}$ . —  $2E = 60^{\circ}$  environ; Dx.

**STILBITE.** — Prisme rhomboïdal droit de  $94^{\circ} 16'$ ; clivage très-facile parallèlement à  $g^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à  $p$ . —  $2E = 61^{\circ}$ ; Dx.

**MICA.** — Prisme rhomboïdal droit très-voisin de  $120^{\circ}$ ;

(1) Les angles des trois prismes taillés dans le même échantillon, et les déviations minima correspondantes qui ont servi au calcul des indices du feldspath, sont :

Pour le premier cristal où  $2E = 120^{\circ}$  à  $121^{\circ}$  :

$$I = 54^{\circ} 10', D = 33^{\circ} 50' 15'';$$

$$I' = 55^{\circ} 45', D' = 35^{\circ} 6' 56'';$$

$$I'' = 59^{\circ} 34' 48'', D'' = 34^{\circ} 36''.$$

Pour le second échantillon où  $2E = 119^{\circ} 35'$  :

$$I = 49^{\circ} 22', D = 29^{\circ} 42' 15'';$$

$$I' = 53^{\circ} 19', D' = 32^{\circ} 50' 30'';$$

$$I'' = 48^{\circ} 33' 30'', D'' = 28^{\circ} 41' 26''.$$

Pour la plaque où  $2E = 72^{\circ}$  à  $75^{\circ}$  :

$$I' = 57^{\circ} 29' 45'', D' = 36^{\circ} 59' 30''.$$

clivages; très-facile suivant la base, moins faciles suivant  $m$  et  $g^1$ . — Plan des axes parallèle à la grande diagonale, dans certains échantillons, et à la petite diagonale, dans d'autres échantillons; bissectrice normale à la base. L'angle réel des axes varie depuis  $0^\circ$  jusqu'à  $70^\circ$ .

LÉPIDOLITE, mica à lithine d'Altenberg. — Lames hexagonales. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base; 2 axes voisins; Dx.

LÉPIDOLITE lamellogrenue de Moravie. —  $2V = 45^\circ$ ; Br.

ÉMÉRILITE. — Prisme rhomboïdal oblique? — Dans quelques échantillons les deux systèmes d'anneaux ne paraissent pas disposés symétriquement autour d'une normale à la base, ce qui semblerait annoncer que la forme de cette substance est un prisme rhomboïdal oblique; Dx.

FUCHSITE. — Lames indéterminables. — 2 axes voisins; Dx.

MARGARITE. — Lames hexagonales. — 2 axes très-voisins; Dx.

GILBERTITE. — Lames indéterminables. — 2 axes voisins; Dx.

ASTÉROPHYLLITE de Brévig. — Lames rectangulaires; clivage très-facile dans un sens. — Plan des axes normal au clivage facile et parallèle à la plus grande longueur des lames; bissectrice normale au clivage facile. Axes très-écartés; Dx.

ANTIGORITE. — Forme indéterminable. — Axes très-rapprochés.

LEUCOPHANE. — Prisme rhomboïdal droit d'environ  $91^\circ$ ; clivage facile parallèlement à la base. — Plan des axes normal à la base; bissectrice normale à la base; Dx.

TALC. — Prisme rhomboïdal droit? voisin de  $120^\circ$ ;

clivage facile suivant  $p$ , traces suivant les faces  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale au clivage facile. —  $2V = 7^\circ 24'$ ; Br.

PYROPHYLLITE de l'Oural. — Lames rectangulaires facilement clivables dans une direction. — Plan des axes normal au clivage facile, et parallèle à la longueur des lames; bissectrice perpendiculaire au clivage facile. —  $2E = 110^\circ$  environ; Dx.

DAMOURITE, du Morbihan. — Prisme rhomboïdal droit? clivage lamellaire facile dans un sens. — Bissectrice normale au clivage. —  $2E = 10^\circ$  à  $12^\circ$ ; Dx.

BORAX. — Prisme rhomboïdal oblique de  $87^\circ$ ;  $pm = 101^\circ 20'$ ,  $ph^1 = 106^\circ 35'$ ; clivages; parfait suivant  $h^1$ ; moins parfait suivant  $m$ ; traces suivant  $g^1$ . — Plan des axes normal à  $g^1$ , variable pour les rayons violets et pour les rayons rouges; pour les premiers, le plan des axes fait un angle de  $108^\circ 35'$  avec une normale à  $p$ , et un angle de  $35^\circ 10'$  avec une normale à  $h^1$ ; pour les seconds, le plan des axes fait un angle de  $106^\circ 35'$  avec une normale à  $p$ , et un angle de  $33^\circ 10'$  avec une normale à  $h^1$ ; bissectrice normale à  $g^1$ . — L'angle apparent moyen est égal à  $59^\circ$ ; Sén. —  $R = 1,47$ .

DATHOLITE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $76^\circ 44'$ ;  $pm = 90^\circ 4'$ ; clivage imparfait suivant  $m$ ; plus facile suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice sensiblement normale à la base. — Axes très-écartés, dispersés d'une manière dissymétrique autour d'une normale à la base; Sén.

ARRAGONITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $116^\circ 10'$ ; clivages; distinct suivant  $g^1$ ; moins parfaits suivant  $c^1$  et  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $\alpha = 1,68589$ ,  $\beta = 1,68157$ ,  $\gamma = 1,53013$ , pour la raie D à  $18^\circ$  centig. Ces indices varient un peu à  $80^\circ$  cent. On en déduit  $2V = 17^\circ 50'$ .

— L'observation conduit à  $2V = 18^\circ 12'$  pour les rayons jaunes; Heusser. —  $2E = 30^\circ 50'$ ; Dx.

WITHERITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $118^\circ 36'$ ; clivage distinct suivant  $m$ ; cristaux le plus souvent mâclés en dodécaèdres hexagonaux, formés de six parties triangulaires assemblées par des faces  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base; angle des axes très-petit. —  $\gamma = 1,740$  Br.

STRONTIANE CARBONATÉE. — Prisme rhomboïdal droit de  $117^\circ 19'$ ; clivage assez facile suivant  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2V = 6^\circ 56'$ ,  $\alpha = 1,700$ ,  $\gamma = 1,543$ ; Br.

ALSTONITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $118^\circ 51'$ ; clivages suivant  $m$  et  $g^1$ ; cristaux mâclés comme la baryte carbonatée. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. — Axes très-rapprochés; Sén.

PLOMB CARBONATÉ. — Prisme rhomboïdal droit de  $116^\circ 10'$ ; clivages assez parfaits suivant  $m$  et  $e^{1/2}$  ( $i$  de Miller). — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $\alpha = 2,0745$ ,  $\beta = 2,0728$ ,  $\gamma = 1,7980$ ; Dx.  $\beta = 2,067$  Mil. — De la valeur de mes trois indices, on tire:  $2V = 8^\circ 3'$  et  $2E = 16^\circ 44'$ ; l'observation directe m'a donné  $2E = 16^\circ 30'$ . — D'après Miller,  $2V = 8^\circ 16'$ ,  $2E = 17^\circ 8'$  (1).

LEADHILLITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $120^\circ 20'$ ; clivage facile suivant  $p$ ; cristaux généralement mâclés et assemblés par une face  $g^2$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2V = 10^\circ 35'$ ; Bf.

(1) Les angles des trois prismes taillés dans le même échantillon, et les déviations minima correspondantes qui m'ont servi à calculer les trois indices du plomb carbonaté, sont :

$$I = 41^\circ 45' 45'', \quad D = 53^\circ 36';$$

$$I' = 43^\circ 20', \quad D' = 56^\circ 32';$$

$$I'' = 30^\circ 8' 30'', \quad D'' = 25^\circ 56' 10''.$$

$2E = 20^\circ$ ; Dx. — De ces deux angles on déduit approximativement  $\beta = 1,8828$ .

SOUS-CARBONATE DE SOUDE :  $\text{NaOCO}^2 + 10\text{Aq.}$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $76^\circ 28'$ ;  $ph^1 = 121^\circ 8'$ ,  $e^1 e^1 = 79^\circ 41'$  sur  $p$  (Sén.) ( $m = o^1 \text{ Ram}^e$ ,  $e^1 = p \text{ Ram}^e$ ); clivage suivant  $p$ ; imparfait suivant  $g^1$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle d'environ  $10^\circ$  avec une normale à  $p$ , et un angle d'environ  $48^\circ 52'$  avec une normale à  $h^1$ ; bissectrice normale à  $g^1$ . —  $2E = 69^\circ$  à  $70^\circ$ ; Sén. — Tous ces angles diffèrent un peu pour les différentes couleurs, de sorte que les courbes isochromatiques présentent, à un très-faible degré, les mêmes irrégularités que dans le borax.

BICARBONATE D'AMMONIAQUE (Deville). — Cristaux obtenus à froid;  $\text{C}^2\text{O}^1$ ,  $\text{AzH}^1\text{O} + \text{Aq.}$  — Prisme rhomboïdal droit de  $111^\circ 26'$ ; clivage parfait suivant  $m = e^1$  de Deville. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à l'arête  $\frac{m}{m}$ . —  $2E = 67^\circ 30'$  à  $68^\circ$ ; Dx.

AZOTATE DE POTASSE :  $\text{KO NO}^5$ . — Prisme rhomboïdal droit de  $118^\circ 50'$  (Miller); clivages; parfait suivant  $e^1 = k$  de Miller; moins parfait suivant  $g^1$ ; imparfait suivant  $m$ . — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice normale à  $p$ . —  $\alpha = 1,5052$ ,  $\beta = 1,5046$ ,  $\gamma = 1,3330$ , Miller. — On tire de ces valeurs:  $2V = 6^\circ 10'$  et  $2E = 9^\circ 17'$ ; Miller a trouvé directement:  $2E = 8^\circ 40'$ . — Suivant Brewster,  $2V = 5^\circ 20'$ .

AZOTATE DE STRONTIANE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $113^\circ 35'$ ,  $ph^1 = 91^\circ$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $11^\circ$  à  $12^\circ$  avec  $h^1$  et un angle de  $77^\circ$  à  $78^\circ$  avec l'arête  $\frac{e^1}{e^1}$ . —  $2E = 30^\circ$  environ; Sén.

SULFATE DE CUIVRE. — Prisme oblique non symétri-

que,  $mt = 122^{\circ} 31'$ ,  $pm = 108^{\circ} 12'$ ,  $pt = 127^{\circ} 41'$ ; clivages; imparfait suivant  $m$ ; très-imparfait suivant  $t$ . — Plan des axes sensiblement normal à la face  $p$ . —  $\alpha = 1,552$ ,  $\gamma = 1,531$ ; Br.  $2V = 45^{\circ}$  environ. — Les axes pour les différentes couleurs sont assez séparés.

SULFATE DE MAGNÉSIE :  $MgO SO^3 + 7Aq$ . — Prisme rhomboïdal droit de  $90^{\circ} 34'$ , hémihédre; clivages; parfait suivant  $g^1$ ; moins parfait suivant  $e^1$ ; traces suivant  $m$ . — Plan des axes parallèle à la base. — Bissectrice parallèle à la grande diagonale de la base. —  $\beta = 1,4817$ ;  $2V = 50^{\circ} 52'$  et  $2E = 79^{\circ} 2'$ ; Mill. — L'observation directe m'a donné  $2E = 78^{\circ} 40'$  (1).

SULFATE DE ZINC :  $ZnO SO^3 + 7Aq$ . — Prisme rhomboïdal droit d'environ  $91^{\circ} 7'$ ; clivage parfait suivant  $g^1$ . — Plan des axes parallèle à la base; bissectrice parallèle à la grande diagonale de la base. —  $\beta = 1,485$  à  $1,486$ . —  $2V = 44^{\circ} 2'$  et  $2E = 64^{\circ} 18'$ , Sén. — Des cristaux très-purs m'ont donné :  $2E = 71^{\circ} 20'$  à  $72^{\circ}$ .

SULFATE DE NICKEL A DEUX AXES :  $NiOSO^3 + 7Aq$ . — Prisme rhomboïdal droit de  $91^{\circ} 10'$ , isomorphe avec les deux précédents; clivages suivant  $g^1$  et  $m$ . — Plan des axes parallèle à la base; bissectrice normale à  $g^1$ . —  $2V = 42^{\circ} 4'$ ; Br.  $2E = 64^{\circ}$  à  $66^{\circ}$ ; Dx Comme le fait remarquer Beer, dans son « *Einleitung in die höhere Optik*, » c'est par erreur que Brewster a annoncé que le sulfate de nickel était positif; ce sel est cristallo-

(1) C'est sur des échantillons de sulfate de magnésie appartenant à M. de Sénarmont que l'écartement apparent a été trouvé de  $78^{\circ} 40'$ , nombre à peu près identique à celui de Miller; aussi la seule manière dont M. de Sénarmont puisse se rendre compte de l'angle  $2E = 56^{\circ} 56'$  et de l'indice moyen  $\beta = 1,454$  à  $1,459$  consignés dans ses « *Recherches sur les propriétés optiques biréfringentes des corps isomorphes*, » consiste t-elle à supposer qu'il avait opéré, au moment où il a publié son mémoire, sur des sels qui n'étaient pas du sulfate de magnésie pur.

graphiquement et optiquement isomorphe avec les sulfates de magnésie et de zinc.

GLAUBÉRITE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $83^{\circ} 20'$ ;  $pm = 104^{\circ} 15'$ ; clivage parfait suivant  $p$ . — De  $0^{\circ}$  à  $30^{\circ}$ , le plan des axes est normal à  $g^1$  et presque normal à  $p$ ; la bissectrice est sensiblement normale à  $p$ ; à  $30^{\circ}$  les deux axes sont réunis pour la lumière blanche; vers  $35^{\circ}$  ils se séparent de nouveau, mais leur plan est alors parallèle à  $g^1$ ; la bissectrice conserve sa position primitive. —  $2V$  variant de  $0^{\circ}$  à  $3^{\circ}$ ; Br.

SULFATE DE SOUDE, sel de Glauber;  $NaOSO^3 + 10Aq$ . — Prisme rhomboïdal oblique de  $80^{\circ} 24'$ ;  $ph^1 = 107^{\circ} 44'$ ,  $pm = 101^{\circ} 23'$ ; clivage parfait suivant  $p$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle de  $12^{\circ} 24'$  avec une normale à  $h^1$ , et un angle de  $11^{\circ} 55'$  avec une normale à  $o^{1/2} = w$  de Miller; bissectrice normale à  $g^1$  et parallèle à la diagonale horizontale de la base. —  $\beta = 1,44$  environ, Miller;  $2E = 80^{\circ} 26'$ . — Cet angle paraît trop faible pour l'écartement apparent dans l'air; mais il est beaucoup trop fort pour représenter l'écartement intérieur, comme le suppose Beer: j'ai en effet trouvé :  $2E = 118^{\circ}$  à  $119^{\circ} 20'$ , ce qui ne donnerait qu'une valeur de  $73^{\circ} 30'$  environ pour  $2V$ .

AUTUNITE; phosphate jauné d'urane et de chaux. — Prisme rhomboïdal droit de  $92^{\circ} 30'$  environ; clivages; très-facile suivant  $p$ ; moins parfait suivant  $g^1$ ; traces suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice perpendiculaire à la base. —  $2E = 54^{\circ}$  environ; Dx.

HOPÉITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $120^{\circ} 26'$ ; clivages; parfait suivant  $h^1$ , moins parfait suivant  $g^1$ ; bissectrice normale à  $h^1$  et parallèle à la petite diagonale de la base. —  $2V = 48^{\circ}$  environ. —  $R = 1,601$ ; Br.

PHOSPHATE DE SOUDE :  $2NaO, PO^3 + 25Aq$ . — Prisme rhomboïdal oblique de  $67^{\circ} 50'$ ,  $pm = 106^{\circ} 57'$ . — Plan

des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice sensiblement parallèle à  $o^1 = r$  de Mill. —  $\beta = 1,40$  environ. —  $2V = 56^\circ 40'$ ;  $2E = 83^\circ 17'$ ; Miller. — J'ai trouvé sur de très-beaux cristaux :  $2E = 83^\circ$  à  $83^\circ 30'$ .

ARSÉNIATE DE SOUDE :  $2NaO, AsO^3 + 25Aq.$  — Complètement isomorphe avec le phosphate. — Mêmes propriétés optiques que le phosphate; Sén.

BROOKITE. — Prisme rhomboïdal droit de  $99^\circ 50'$ ; clivage suivant  $g^1$ ; les cristaux sont fortement aplatis suivant  $h^1$ . — Plan des axes normal à  $h^1$  et parallèle à la base; bissectrice parallèle à la petite diagonale de cette base. — Axes très-rapprochés; Dx.

CHROMATE JAUNE DE POTASSE :  $KO, CrO^3.$  — Prisme rhomboïdal droit de  $120^\circ 41'$ , isomorphe avec le sulfate de potasse à deux axes. — Plan des axes parallèle à  $h^1$ ; bissectrice parallèle à la grande diagonale de la base. —  $\beta = 1,722$ . —  $2V = 49^\circ 32'$ ; Sén.

CHROMATE DE MAGNÉSIE. —  $MgO, CrO^3 + 7Aq.$  — Prisme rhomboïdal droit voisin de  $91^\circ$ , isomorphe avec le sulfate de magnésie; clivage facile parallèlement à  $g^1$ . — Plan des axes parallèle à la base; bissectrice parallèle à la grande diagonale de cette base; Sén.

TARTRATE NEUTRE DE POTASSE :  $2KO, T + Aq.$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $45^\circ 10'$ ;  $o^1 h^1 = 127^\circ 18'$ ,  $a^1 h^1 = 142^\circ 13'$ ,  $m = b$  Mill. —  $h^1 = e$  Mill. —  $o^1 = t$  Mill. —  $a^1 = m$  Mill. —  $g^1 = c$  Mill. — Clivages suivant  $u^1$  et  $o^1$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle de  $21^\circ 20'$  avec une normale à  $o^1$ ; Miller; bissectrice faisant le même angle de  $21^\circ 20'$  avec une normale à  $o^1$ . —  $\beta = 1,526$  environ. —  $2V = 62^\circ$  environ; Miller.

ACIDE LEVO ET DEXTROTARTRIQUE :  $HT, T = (C^1 H^2 O^3).$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $77^\circ 8'$ ;  $pm = 96^\circ 23'$ ,  $ph^1 = 100^\circ 32'$ ; hémédrique; clivage facile suivant  $h^1$ .

— Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$ , faisant un angle de  $20^\circ 27'$  avec une normale à  $h^1$ , et un angle de  $99^\circ 55'$  avec une normale à  $p$ ; bissectrice faisant les mêmes angles de  $20^\circ 27'$  et de  $99^\circ 55'$  avec les normales à  $h^1$  et à  $p$ . —  $2E = 60^\circ$  environ; Sén.

ACIDE OXALIQUE :  $HOC^2O^3 + 2Aq.$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $63^\circ 8'$ ,  $pm = 98^\circ 24'$ ; clivage parallèle à  $m$ . — Plan des axes perpendiculaire à  $g^1$  et à  $p$ ; bissectrice parallèle à la diagonale horizontale de la base. —  $\beta = 1,499$ .  $2E = 68^\circ$  à  $70^\circ$ ; Miller (1).

BIMALATE D'AMMONIAQUE :  $AmOM^2 + Aq.$  — Prisme rhomboïdal droit de  $108^\circ 16'$ , quelquefois hémédrique; clivage facile suivant la base. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. —  $2E = 76^\circ 20'$ ; Dx.

ACÉTATE DE PLOMB :  $PbO, AcO^3 + 3Aq.$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $52^\circ$ ;  $pm = 98^\circ 33'$ ,  $ph^1 = 109^\circ 48'$ ; clivages suivant  $p$  et  $h^1$ . — Le plan des axes partage à peu près en deux parties égales l'angle obtus  $\frac{p}{h^1}$ .

$2V = 70^\circ 25'$ ; Br. —  $R = 1,400$ ; Wollast.

BROMURE DE SODIUM HYDRATÉ :  $Na, Br + 4Aq.$  — Prisme rhomboïdal oblique de  $118^\circ 32'$ ;  $pm = 109^\circ 48'$ ,  $p = c$  Rammelsb. —  $m = p$  Rammelsb. — Cristaux souvent maclés parallèlement à  $p$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice sensiblement normale à  $p$ ; Dx.

(1) Dans une note insérée à la suite de ses « *Expériences sur la production artificielle du polychroïsme dans les substances cristallisées* » (voyez *Annales de chimie et de physique*, t. XLI), M. de Sénarmont fait remarquer que, dans l'acide oxalique, la double réfraction est énergique, et que les plans des axes correspondants aux différentes couleurs sont très-séparés; de sorte que les courbes isochromatiques présentent à un haut degré le genre d'irrégularité que M. Herschel a signalé depuis longtemps dans le borax. Une erreur typographique qui s'est glissée dans cette note, porte l'écartement apparent des axes de  $110^\circ$  à  $112^\circ$ , tandis qu'en réalité il est égal au supplément de ces angles.

FORMIATE DE SIBONTIANE:  $\text{SiO}$ ,  $\text{FoO}^3 + 2\text{Aq}$ . — Prisme rhomboïdal droit de  $118^\circ 20'$  hémihédrique (Pasteur) — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice parallèle à l'arête verticale  $\frac{m}{m}$ . —  $\alpha = 1,54148$ ,  $\beta = 1,52616$ ,  $\gamma = 1,48664$ ; Violette. — On tire de ces nombres:  $2V = 62^\circ 26'$  et  $2E = 104^\circ 33'$ , valeurs beaucoup trop faibles, puisque l'observation directe donne  $2E = 112^\circ 15'$  (1).

FORMIATE DE CUIVRE;  $\text{CuOFO}^3 + 4\text{Aq}$ . — Prisme rhomboïdal oblique de  $90^\circ 52'$ ;  $pm = 97^\circ 52'$ ,  $p \frac{m}{m} = 101^\circ 5'$ ; clivage très-net suivant la base. — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle d'environ  $16^\circ$  avec une normale à  $p$ , et un angle d'environ  $62^\circ 55'$  avec une normale à l'arête  $\frac{m}{m}$ . —  $2E = 54^\circ 50'$  à  $55^\circ 30'$ ; Dx.

SUCRE DE CANNE. — Prisme rhomboïdal oblique de  $78^\circ 28'$ ;  $pm = 98^\circ 30'$ ;  $ph^1 = 103^\circ$ ; hémihédrique; clivage facile suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ ; bissectrice faisant un angle de  $22^\circ 12'$  avec une normale à  $h^1$ , et un angle de  $54^\circ 48'$  avec une normale à  $p$ . —  $\beta = 1,57$ ;  $2V = 47^\circ 16'$ , et  $2E = 78^\circ 1'$ ; Miller. L'observation directe m'a donné:  $2E = 78^\circ 45'$ .

CODÉINE;  $\text{HO.C}^{36}\text{H}^{21}\text{NO}^6 + \text{Aq}$ . — Prisme rhomboïdal droit de  $91^\circ 40'$  environ; clivage facile parallèlement à  $p$ . — Plan des axes perpendiculaire à la base et parallèle à  $g^1$ ; bissectrice normale à la base. — Axes très-écartés; Sén.

SORBINE;  $\text{C}^{12}\text{H}^9\text{O}^9 + 3\text{Aq}$ . — Prisme rhomboïdal

(1) M. Violette ayant trouvé pour  $\alpha$  des nombres qui varient depuis 1,5387 jusqu'à 1,5446, on peut prendre  $\alpha = 1,543$ ,  $\beta = 1,526$ ,  $\gamma = 1,487$ , et alors  $2V = 65^\circ 26'$  et  $2E = 111^\circ 7'$ .

droit de  $141^\circ 11'$ ; clivage facile suivant  $g^1$ . — Plan des axes parallèle à la base; bissectrice normale à  $g^1$ . —  $2E = 99^\circ 30'$ ; Dx.

ORCINE;  $\text{C}^{14}\text{H}^8\text{O}^8 + 2\text{Aq}$ . — Prisme rhomboïdal oblique de  $77^\circ 36'$ ;  $pm = 94^\circ$ ,  $ph^1 = 96^\circ 23'$ ; clivage très-facile suivant  $h^1$ . — Plan des axes parallèle à  $g^1$ .

Axes très-écartés; Sén.

#### Post-scriptum.

J'avais placé le *cinabre* parmi les corps négatifs, sur l'autorité de Brewster; mais depuis la rédaction de ce mémoire, je suis parvenu à me procurer des lames de *cinabre* perpendiculaires à l'axe, suffisamment minces et transparentes pour y observer les anneaux produits par la lumière polarisée convergente. Ce minéral possède des propriétés optiques telles, que les procédés que j'ai décrits au commencement de mon travail sont insuffisants pour définir le sens de sa double réfraction. En effet, les anneaux ont tous les caractères de ceux qu'on observe dans un quartz moyennement épais; la croix noire ne pénètre pas dans la plage centrale, et cette plage se contracte avec les anneaux qui l'entourent, ou elle se dilate, suivant qu'on fait tourner l'analyseur de gauche à droite ou de droite à gauche. Si l'on interpose une lame de mica d'un quart d'onde, on obtient des spirales tout à fait comparables à celles d'un quartz lévogyre placé dans les mêmes conditions, et leur enroulement est en rapport avec le sens dans lequel les anneaux se contractent ou se dilatent.

Quant aux lames parallèles à l'axe, quoiqu'on les obtienne facilement par clivage, je n'en ai jamais rencontré d'assez transparentes ni d'assez régulières, pour

constater si elles produisent une polarisation rectiligne ou elliptique.

L'ensemble des caractères optiques rapproche donc la plupart des cristaux de *cinabre* sur lesquels j'ai opéré, des cristaux de quartz *lévogyre*; j'ai trouvé plus rarement à l'état isolé des lames de *cinabre* correspondantes au quartz *dextrogyre*; mais dans une macle composée de deux petits rhomboédres basés qui se pénètrent complètement, en tournant autour d'un axe vertical commun, j'ai aperçu les spirales d'Airy, absolument comme elles se produisent lorsqu'on superpose une plaque de quartz *gauche* à une plaque de quartz *droit* d'égale épaisseur, et dans un certain nombre de lames, j'ai trouvé une plage *dextrogyre* et une plage *lévogyre* séparées par un espace à peu près neutre qui donne, soit des spirales un peu confuses, soit la croix noire si commune dans les améthystes.

Rien cependant dans les formes cristallines, qui ont été très-bien étudiées par M. Schabus, n'annonçait une hémiedrie en rapport avec le pouvoir rotatoire, et j'ai été amené à le découvrir, en soumettant le *cinabre* aux mêmes épreuves que les autres corps biréfringents dont je voulais étudier les propriétés optiques; il est vrai que de petites facettes auraient très-bien pu échapper à un observateur non prévenu.

Quoi qu'il en soit, il me paraît désirable d'entreprendre un nouvel examen comparatif des caractères optiques et cristallographiques du *cinabre*.

D'après de premières expériences qui n'ont pas encore toute la précision désirable, on peut estimer approximativement que le pouvoir rotatoire du *cinabre* est égal à seize fois celui du quartz.

En effet, une petite lame très-pure de 0,2 de millimètre donne une déviation égale à 52° ou 58°; la dévia-

tion produite par un millimètre de quartz sur les rayons rouges étant de 18° d'après les observations de M. Biot, on en conclut qu'un millimètre de *cinabre* correspond à peu près à 15 ou 16 millimètres de quartz.

La dislocation qu'une lame de mica d'un quart d'onde imprime aux branches de la croix noire visible dans les lames mâclées montre que le *cinabre* a une double réfraction *positive* et non *negative*, comme M. Brewster l'avait annoncé par erreur: cette détermination est, du reste, pleinement confirmée par la valeur relative des indices *ordinaire* et *extraordinaire*; car ces indices que j'ai mesurés sur deux petits prismes bien transparents, taillés parallèlement à l'axe sous des angles de 15° 5' pour l'un et de 18° 50' pour l'autre, sont:  $\omega = 2,854$ ,  $\varepsilon = 3,201$ .

La suite de mes recherches m'a conduit à une découverte plus intéressante encore que celle de la polarisation circulaire du *cinabre*. Je suis en effet parvenu à trouver le premier exemple d'une substance qui dévie le plan de polarisation, soit à l'état de dissolution dans l'eau, soit à l'état de cristaux. On sait que jusqu'ici on n'avait pu constater la coexistence des deux phénomènes, puisque d'une part, le quartz et le chlorate de soude, qui ont le pouvoir rotatoire lorsqu'ils sont cristallisés, le perdent lorsqu'ils sont fondus ou dissous, et que d'autre part, presque tous les corps reconnus et signalés comme *actifs* cristallisent sous des formes qui possèdent deux axes optiques, et dans lesquelles les effets de la polarisation circulaire paraissent entièrement masqués par ceux de la double réfraction.

Le sulfate de strychnine, dont les dissolutions ont été essayées il y a quelques années par M. Bouchardat, cristallise quelquefois en octaédres à base quarrée qui

n'offrent par conséquent qu'un seul axe optique, suivant la direction duquel la double réfraction est annulée. Or, si l'on soumet ces cristaux à la lumière polarisée convergente, on y voit des anneaux nets et serrés, traversés par une croix noire dont le centre, au lieu d'être parfaitement noir, offre une teinte bleuâtre d'autant moins foncée que l'épaisseur est plus grande; si l'on augmente cette épaisseur en superposant plusieurs cristaux les uns aux autres, on parvient à faire évanouir plus ou moins complètement la portion de la croix noire qui traverse la plage centrale, et l'on reproduit ainsi le phénomène habituel des plaques de quartz ou de cinabre: en interposant une lame de mica d'un quart d'onde, on reconnaît, par la disposition des branches d'hyperbole produites par la dislocation de la croix, que le sulfate de strychnine est un cristal *négalif* ou *répulsif*.

Si maintenant, au faisceau de rayons convergents, on substitue des rayons parallèles, on voit immédiatement se développer un bleu de diverses nuances qui passe au rouge ou à la couleur *bois* quand on fait tourner l'analyseur de droite à gauche d'une quantité variable avec l'épaisseur, et qui disparaît complètement quand on continue cette rotation. D'après de premières déterminations qui n'ont pas encore toute la précision désirable, on peut conclure que 1 millimètre de sulfate de strychnine dévie le plan de polarisation des rayons rouges de  $9^\circ$  à  $10^\circ$ , et que, par conséquent, 1 millimètre de quartz correspond à peu près à  $1^m,8$  ou  $2^m$  de sulfate. Tous les cristaux que j'ai examinés jusqu'ici sont *lévogyres*, comme leur dissolution. M. Biot, qui a bien voulu mesurer le pouvoir rotatoire moléculaire d'une solution aqueuse faite à froid avec des cristaux octaédriques, a trouvé  $-28^\circ,5$  environ pour la valeur de  $[\alpha]_D$ . La

densité de ces cristaux prise dans de l'essence de térébenthine rectifiée et rapportée à celle de l'eau à  $16^\circ$  étant de 1,398, on conclut de ces nombres que le pouvoir du sulfate de strychnine dissous dans l'eau n'est guère que  $1/30$  ou  $1/31$  de celui qu'il possède en cristaux.

J'ai dit en commençant cette note que le sulfate de strychnine cristallisait *quelquefois* en octaèdres quarrés; ce n'est pas là, en effet, sa forme la plus habituelle; le sel qu'on rencontre dans le commerce, et qui est généralement obtenu dans une étuve à  $40^\circ$ , se présente en fibres soyeuses ou en prismes rhomboïdaux droits dont les modifications ont été décrites par M. Schabus; ce sel possède donc deux axes optiques, et ce n'est que dans ses dissolutions qu'on peut reconnaître le pouvoir rotatoire; ce pouvoir paraît presque identique à celui des solutions du sel octaédrique.

Le sulfate octaédrique se produit presque exclusivement, même dans une dissolution de sulfate prismatique, lorsque la cristallisation a lieu lentement et à la température ordinaire; les cristaux dérivent alors du prisme droit à base quarrée, et ils offrent deux ou trois octaèdres différents dont le plus habituel a des incidences de  $92^\circ 30'$  sur les arêtes culminantes, et de  $155^\circ 54'$  sur les arêtes latérales; ces cristaux sont souvent très-aplatissés parallèlement à leur base, suivant laquelle se fait un clivage excessivement facile; ce sont eux qui sont décrits à la page 380 du *Handbuch der krystallographischen Chemie*, de Rammelsberg. Jusqu'à présent, je n'ai rencontré dans le sulfate de strychnine, comme dans le cinabre, aucune espèce de *facettes hémédriques*.

La facilité avec laquelle le sulfate *prismatique* peut se transformer en sulfate *octaédrique*, et réciproque-

ment, semble prouver que ces deux sels ont sans doute des compositions très-voisines et ne diffèrent que par les quantités d'eau de cristallisation qu'ils renferment : ces quantités déterminées avec soin par M. Berthelot, en chauffant le sel vers  $110^{\circ}$  dans un courant d'air sec, s'élevaient à environ 12 p. 100 ou 12 atomes pour le sel prismatique, et à 13,1 p. 100 ou à 13 atomes pour le sulfate octaédrique.

J'ai indiqué d'après Miller, pour l'indice moyen de l'andalousite du Brésil, page 309, le nombre 1,624; mais ce nombre est notablement trop faible, ainsi qu'il résulte des observations que j'ai pu faire, pendant l'impression de mon mémoire, sur trois prismes taillés dans deux petits échantillons, et dont les arêtes suivent, aussi exactement que possible, la direction des trois axes d'élasticité. Les trois indices que j'ai obtenus sont;

$$\alpha = 1,643, \quad \beta = 1,637, \quad \gamma = 1,652$$

pour les rayons rouges.

L'écartement intérieur des axes déduit de ces quantités est  $2V = 84^{\circ} 58'$ . L'angle de  $87^{\circ} 34'$  donné par M. Miller est probablement plus près de la vérité, car en regardant à travers une plaque parallèle à  $h^1$ , on n'aperçoit au microscope polarisant que la naissance des anneaux, absolument comme dans une plaque parallèle à la base, et il est à peu près impossible de dire si les axes sont réellement plus écartés dans un sens que dans l'autre.

Les angles des prismes et les déviations minima correspondantes étaient :

$$\begin{array}{ll} I = 58^{\circ} 55' & D = 48^{\circ} 56' \\ I' = 54^{\circ} 48' & D = 42^{\circ} 57' 20'' \\ I'' = 50^{\circ} 50' & D = 38^{\circ} 6' \end{array}$$

## DISCOURS PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES

## DE M. DUFRÉNOY.

Par MM. DE SÉNARMONT et ÉLIE DE BEAUMONT.

Une existence consacrée, comme celle de M. Dufrénoy, à des travaux scientifiques et administratifs de l'ordre le plus élevé, à l'exercice continu des facultés d'une haute intelligence, des qualités d'un noble cœur, ne peut être dignement retracée en quelques pages; l'exposé de cette vie, si bien remplie jusqu'à ses derniers moments, exigera un long travail; d'illustres amitiés ne failliront pas à cette tâche, douloureuse et consolante à la fois.

Mais la Commission des *Annales* tient à ce que ce recueil, si souvent enrichi par les savantes communications de M. Dufrénoy, renferme dès à présent un hommage à sa mémoire.

La Commission ne pouvait mieux faire que de reproduire les discours prononcés sur la tombe de M. Dufrénoy par deux de ses collègues les plus éminents à l'Académie et dans le corps des mines. Jamais regrets plus profonds ne furent mieux exprimés, plus unanimement partagés.

C.

*Discours de M. DE SÉNARMONT, ingénieur en chef des mines, membre de l'Académie des sciences.*

Messieurs,

L'événement funeste, qui vient porter le deuil au sein de l'Académie des sciences, frappe au cœur le

corps des mines. Il perd aujourd'hui un illustre représentant des sciences, dans l'administration, dans l'industrie. L'École des mines pleure une de ses gloires, un chef dévoué, presque un fondateur.

Partout, en effet, dans nos travaux, dans nos institutions, dans nos annales, le nom de Dufrénoy est écrit en traits ineffaçables.

A peine sorti de l'école de Moutiers, il devenait déjà l'un de nos maîtres. Un digne appréciateur des jeunes talents, M. Brochant de Villiers, l'avait appelé à l'école naissante de Paris; et bientôt après se formait, entre M. Dufrénoy et M. Élie de Beaumont, cette union intime de deux esprits d'élite, cette noble association, si féconde pour la science, pour leur commune gloire, et qui devait jeter tant d'éclat sur le corps des mines tout entier.

On connaissait mal alors la constitution géologique de la France : MM. d'Omalius d'Halloy et Coquebert de Mombret n'en avaient esquissé que les traits généraux : MM. Dufrénoy, Élie de Beaumont furent chargés, sous la direction de M. Brochant de Villiers, d'une étude complète et détaillée de notre sol; tâche immense quand il faut marcher sans guide, que la science hésite encore et que l'observateur ne peut devoir qu'à lui-même le fil conducteur capable de le diriger dans le dédale de ses propres découvertes.

En 1825, MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont commençaient leur œuvre, tout était à faire; après dix-huit ans tout était fait, et ils avaient élevé aux sciences géologiques un monument impérissable, auquel demeureront à jamais attachés les noms inséparables des deux amis, des deux glorieux collaborateurs, comme celui de l'illustre Cassini au premier monument des sciences géodésiques.

Je n'essayerai pas, messieurs, de rappeler ici la série des travaux qui venaient chaque année signaler les progrès de ce prodigieux labeur. Avant de le commencer, les jeunes ingénieurs étudièrent en Angleterre les contrées devenues classiques pour la géologie. Ils venaient chercher des leçons, et tout d'abord ils se montrèrent capables d'enseigner les maîtres eux-mêmes, en posant, dans les terrains de transition d'un pays où ils arrivaient pour s'instruire, les bases des divisions fondamentales dont les plus éminents géologues n'ont eu plus tard qu'à ressaisir et à suivre les traces.

M. Dufrénoy apporte ensuite, pour sa part dans l'œuvre commune, de nombreux mémoires. On le voit, par exemple, révéler en Auvergne l'alternance des formations lacustres et des phénomènes volcaniques; montrer qu'aux environs de Paris, même après MM. Cuvier et Brongniart, il pouvait encore rester quelque chose à découvrir sur les terrains tertiaires; signaler les caractères exceptionnels de la craie dans les Pyrénées, et faire rentrer dans la structure de cette chaîne, en apparence si compliquée, l'ordre et la simplicité à la place de la confusion et du chaos.

Ces publications, bien d'autres encore, que je suis forcé d'omettre, n'ont pas fait seulement mieux connaître le sol de la France : elles ont contribué à répandre le goût d'une science aujourd'hui populaire; et par son exemple, par ses œuvres, autant que par son nom, M. Dufrénoy doit être compté parmi les premiers fondateurs de la Société géologique.

Ces travaux ont ouvert à M. Dufrénoy les portes de l'Académie des sciences; mais le savant n'avait jamais oublié les études de l'ingénieur. Déjà il avait publié, avec M. Élie de Beaumont, de précieuses observations sur la métallurgie de l'Angleterre; plus tard il rap-

porte, d'une mission spéciale dans le même pays, un traité complet sur les perfectionnements récents de l'industrie des forges.

Membre actif des jurys de nos expositions nationales, il était encore le délégué de la France à l'exposition universelle de Londres; et une commission, qui comptait des représentants de toutes les nations, le choisissait pour son vice-président et son rapporteur.

Partout où s'agitait une question nouvelle, l'administration avait recours à ses lumières. C'est ainsi qu'en dehors même de ses fonctions, déjà très-laborieuses, il venait à peine de terminer de longs travaux sur l'assainissement de la Sologne, sur l'aménagement des sources minérales de Vichy et de Plombières. Son zèle, sa facilité, ses vastes connaissances suffisaient à tout; mais sa santé devait y périr.

Parmi tant de travaux utiles et glorieux, le plus utile, le plus glorieux peut-être est la création de l'École des mines. Je dis la création sans crainte d'être démenti par ceux qui l'ont connue telle que l'avait reçue M. Dufrénoy, et qui la connaissent telle qu'il l'a laissée.

Entre ses mains, tout a changé de face: des collections de toute nature se sont ouvertes à l'étude, dans des constructions nouvelles; l'administration et l'industrie privée ont trouvé un laboratoire toujours prêt à répondre à leurs demandes; un grand nombre de jeunes ingénieurs sont venus chaque année puiser des connaissances spéciales à un enseignement presque transformé, et les étrangers eux-mêmes ont brigué à l'École des mines une place comme une faveur.

Tant de services, depuis longtemps reconnus, avaient reçu un prix bien mérité. M. Dufrénoy était membre de l'Académie des sciences, professeur au Muséum, inspecteur général des mines, directeur de l'École, com-

mandeur de la Légion d'honneur. Aucune distinction ne lui a manqué; mais il a toujours regardé comme sa plus précieuse récompense tout ce qu'il obtenait pour cette école, à laquelle il avait identifié sa vie.

Pour cette création, dont il avait droit de s'enorgueillir, il fallait, en effet, une grande influence légitimement conquise, la confiance entière d'une administration libérale et éclairée; ce n'était pas assez encore, il fallait de rares qualités, de l'intelligence et du cœur.

Qui de nous, en effet, messieurs, pourrait jamais publier la modération affectueuse, la tolérance conciliante et sereine de l'excellent confrère dont nous déplorons la perte prématurée? Et parmi ces jeunes gens qui m'entendent, combien ont été l'objet de son active sollicitude, combien même ignoreront toujours la reconnaissance qu'ils doivent à ce chef paternel!

Aussi, dans cette école qui était son ouvrage, tous ceux qui avaient appris à le connaître, tous, depuis les premiers jusqu'aux plus humbles, ont voulu apporter ici le pieux tribut de leur affliction et de leurs regrets.

Quel plus bel hommage que ce deuil universel devant une tombe! Puisse-t-il au moins adoucir d'autres douleurs, pour lesquelles il n'est pas de consolations!

*Discours de M. ÉLIE DE BEAUMONT, inspecteur général des mines, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.*

MESSIEURS,

Des voix éloquents et toujours heureusement inspirées vous ont retracé mieux que je ne saurais le faire, surtout en ce moment, les titres éminents qui feront vivre dans la science le nom de M. Dufrénoy. Mais son nom vivra aussi dans les cœurs, et la place que j'ai eu le bonheur d'occuper dans le sien m'était et me sera toujours trop chère pour que je ne réclame pas le pri-

vilége d'ajouter encore quelques mots aux paroles si bien senties que vous venez d'entendre sur les nobles et rares qualités qui le distinguaient.

Lié avec lui depuis plus de trente-six ans, appelé à faire avec lui de nombreux voyages, à concourir avec lui à de longs travaux, j'ai eu avec M. Dufrénoy, pendant des années entières, ces rapports de chaque jour où rien ne peut demeurer caché, même au fond de la pensée. Chaque jour j'ai eu de nouveaux motifs d'aimer et d'admirer cette riche et excellente nature. Sa franchise, l'égalité de son caractère, sa volonté toujours ferme et jamais cassante, rendaient les relations avec lui aussi faciles que sûres. Il avait fait un de ses premiers voyages scientifiques dans la Bretagne, dont il parlait souvent avec une prédilection particulière, peut-être parce qu'il y avait en lui quelque chose de la fermeté tenace et de la loyauté primitive du caractère breton.

Il restait toujours le même. En trente-six ans son âme n'avait pas vieilli d'un jour. Sa fraîcheur de sentiment, son inaltérable droiture, son amour pour tout ce qui est bon et beau, dans la conduite de la vie aussi bien que dans la science, justifiaient encore, dans ses derniers jours comme dans sa première jeunesse, ces vers charmants qu'une main tendre et chérie, longtemps éprouvée par le malheur, traçait pour lui à la fin de ses études :

Oui, mon fils, oui, ma noble idole,  
De mon été qui fuit ton printemps me console.  
Eh, comment du passé garder le souvenir,  
Quand les mâles vertus de ton adolescence,  
Et tes savants travaux, suivis avec constance,  
Répondent de ton avenir!

Madame Dufrénoy, dont le nom est consacré par tant

de succès littéraires, avait célébré en beaux vers, que l'Académie française a couronnés, les derniers moments de Bayard. Elle s'y était montrée la digne interprète du chevalier sans peur et sans reproche. Héritier de ses nobles sentiments comme de ses qualités aimables, son fils y puisait une élévation d'un caractère littéraire et presque poétique qu'il était plus facile de sentir que d'exprimer. Un homme dont le nom vivra aussi à plus d'un titre, M. Jay, qui n'était pas moins bon juge des sentiments que des écrits, l'avait apprécié de bonne heure; et sa fille, que tant de douleur accable aujourd'hui, était devenue le gage d'union de deux familles si dignes l'une de l'autre. Notre ami était à l'unisson de ces âmes élevées, et il trouva près d'elles un bonheur qui est pour lui-même un éloge et le plus digne peut-être de sa mémoire.

Il le goûtait sans appareil, avec la modestie qui était un des traits les plus aimables de son caractère. Des sujets de distraction si doux ne le détournaient pas d'études ardues dans lesquelles on ne peut réussir que par un long travail. Le travail était son élément. Doué d'une instruction aussi solide que variée, dans les lettres comme dans les sciences, il écrivait avec facilité et toujours avec une lucidité parfaite, réalisant le vers de Boileau :

Ce que l'on conçoit bien s'énonce clairement.

Familier dès l'enfance avec nos meilleurs littérateurs, il avait puisé près d'eux un goût sûr, dont la première règle était pour lui l'absence de toute enflure et de toute inutilité. Ses nombreux écrits, les fréquents et lumineux rapports qu'il a faits à l'Académie, attestent sa facilité autant que son vaste et profond savoir.

Il portait les mêmes qualités dans le professorat.

Toujours clair et substantiel, il savait fixer l'attention sur les sujets les plus arides et rendre saisissables les vérités les plus ardues. Jamais peut-être la cristallographie n'eut un interprète plus facile et plus élégant.

M. Dufrénoy restera parmi nous le modèle des directeurs. Avec sa modestie, sa douceur, sa constante volonté d'être juste, son désir infatigable d'être utile, M. Dufrénoy était toujours écouté. Pendant les quarante ans qu'il a passés à l'École des mines, l'ordre le plus parfait n'a jamais cessé d'y régner. Il ne parlait jamais de rigueur; personne ne songeait à lui désobéir, et chacun aurait été désolé de l'affliger; il y vécut constamment entouré d'amis.

Adieu, mon cher Dufrénoy, adieu pour toujours en ce monde!

## MÉMOIRE

SUR LE GISEMENT DU MINÉRAI DE PLOMB DANS LE CALCAIRE  
CARBONIFÈRE DU FLINTSHIRE (\*).

Par M. L. MOISSENET, ingénieur des mines.

## INTRODUCTION.

D'après les indications que j'avais reçues de M. Le Play, avant mon départ pour l'Angleterre, j'ai séjourné quelque temps dans le Flintshire, en vue d'étudier le gisement du plomb dans le calcaire carbonifère de ce comté; je me propose de présenter ici le résultat de mes observations, et d'exposer les quelques conséquences théoriques qu'elles m'ont conduit à admettre.

But  
de ce travail.

(1) Dans le cours de ce travail, j'ai cru devoir conserver les mesures anglaises pour n'avoir que des nombres ronds; voici un petit tableau de comparaison qui permettra de rapporter aux mesures françaises les longueurs, poids et monnaies dont il est ci-après question.

LONGUEURS.	
	mètres.
Mile (1.760 yards) . . . . .	1.609,3149
Fathom (2 yards) . . . . .	1,8287
Yard . . . . .	0,91438
Foot (pied) 1/3 du yard — — . . . . .	0,30479
Inch (pouce) 1/36 du yard — — . . . . .	0,025399
POIDS.	
	kilogr.
Ton (20 quintaux), T. . . . .	1.016,04
Quintal. Cwt (112 livres). . . . .	50,80
Livre, lb. . . . .	0,453558
Once (16 <sup>e</sup> de la livre). Oz . . . . .	0,028349
MONNAIES.	
	fr.
Livre sterling. Liv. st. . . . .	25,21
Shilling. Sh. . . . .	1,24
Pence, penny, 1/12 de shilling. d. . . . .	0,104

Ordre adopté.

J'avais eu l'intention d'établir dans ce travail un ordre, en apparence plus logique que celui que j'ai fini par adopter. Il consistait à indiquer, en premier lieu, le relief et la constitution géologique du sol, comprenant la délimitation des divers terrains; à passer ensuite à la description des filons métalliques en faisant ressortir les relations qui existent entre leurs directions générales et les grands mouvements qui ont disloqué le nord du pays de Galles; à terminer par la considération des minéraux et minerais de ces filons.

Mais l'étude des mines, qui a occupé la plus grande partie du temps que j'ai passé dans le Flintshire, a soulevé pour moi plusieurs questions relatives à la géologie stratigraphique, et notamment à la limite supérieure du calcaire carbonifère; j'ai pensé qu'il serait plus clair de ne les traiter ici qu'après avoir rapporté les faits que j'ai observés, tant à l'intérieur des mines qu'à la surface du sol.

J'ai divisé ce mémoire en trois parties.

La première, purement descriptive, comprendra :

Un *Aperçu* de l'aspect physique du Flintshire;

Une *Nomenclature* des roches dans leur ordre de superposition;

Un *Journal* des visites dans les mines et des courses dans la contrée.

La seconde, quelques considérations se rapportant :

Aux *lois* de la formation des filons;

Aux *âges* relatifs des divers systèmes de filons et des terrains sédimentaires;

A la *limite supérieure* du calcaire carbonifère;

Au *remplissage* et à l'*allure* des filons.

La troisième comprendra quelques indications sur l'*administration* et l'*exploitation* des mines;

La *statistique* de la production du Flintshire compa-

rée à celle des autres comtés et à la production totale en plomb et argent de la Grande-Bretagne.

Si l'on me reprochait de m'appuyer sur une base trop étroite et sur des faits trop peu nombreux, je ferais remarquer que la contrée, dont je m'occupe, est peu étendue, et que, excepté aux environs de Mold, où je n'ai pu séjourner autant que je l'aurais désiré, les mines que j'ai visitées sont situées dans des conditions assez variées pour comprendre les circonstances principales de gisement et d'allures des filons métallifères. Je me plais d'ailleurs à mentionner l'obligeance parfaite que j'ai rencontrée chez tous les directeurs et agents des mines. Je dois des remerciements particuliers à M. Robert Hunt, du Museum of Practical geology de Londres, pour sa recommandation auprès de son correspondant M. Buckley, *manager* de l'usine à plomb Mather et Compagnie de Bagillt, et qui m'a dirigé dans mes observations et donné des lettres pour les mines les plus importantes. Je ne saurais non plus oublier M. Roskill, *manager* des mines d'Holywell level et Talacre.

#### PREMIÈRE PARTIE.

##### DESCRIPTION.

#### § 1<sup>er</sup>. Aspect physique du Flintshire.

Le Flintshire s'étend, suivant environ 25 milles, long de la rive gauche de la Dee, depuis Chester jusqu'à la pointe d'Ayr, en conservant une largeur moyenne de 8 à 9 milles.

Le chemin de fer de Chester à Holyhead longe constamment la Dee, puis le bord de la mer, et a présenté, sur cette portion de son parcours, un tracé très-simple, sans tranchées profondes ni levées considérables.

Il n'en eût pas été de même si l'on eût cherché à le reporter à 1 mille seulement à l'intérieur, en quittant les atterrissements de la Dee ou les collines du terrain houiller. Le niveau du sol s'élève, en effet, avec rapidité dans la direction perpendiculaire au fleuve, et l'on ne tarde pas à rencontrer les premières chaînes de ces montagnes du pays de Galles, dont l'aspect sauvage et les dislocations multipliées semblent avoir repoussé jusqu'à ce jour le réseau envahisseur des lignes de fer. Lorsque après avoir quitté la station de Greenfield (*fig. 1*, Pl. IV), on remonte la vallée, et que, traversant la petite ville d'Holywell, on arrive au sommet de la montagne, à laquelle celle-ci est adossée, on jouit d'un panorama étendu sur toute la plaine du Cheshire jusqu'à Liverpool, dont les édifices se distinguent dans le lointain (*fig. 2* et *3*).

A ses pieds, on a la pente rapide et régulière que l'on vient de gravir, puis une rangée de collines, dont l'ensemble est orienté parallèlement à la Dee; dans les échappées, on aperçoit de temps à autre la fumée d'un convoi se mêlant à celle des usines à plomb bâties sur les bords du fleuve, puis la vaste étendue de ses sables le plus souvent à peine sillonnés par quelques rubans argentés, ou recouverts deux ou trois heures par la marée haute. Au delà, est la côte du Cheshire présentant un léger escarpement, et contre laquelle les eaux se portent en abandonnant de plus en plus la rive gauche.

Au nord, on distingue les petites îles d'Hilbre situées à l'entrée même du canal; à l'est, les hauteurs masquent la ville de Flint, construite aux pieds de la colline.

Derrière le spectateur, s'étend, sur plus de 4 milles, une sorte de plateau sauvage, aride, vigoureusement

accidenté; sol ingrat, exposé aux vents et à peine revêtu d'une maigre végétation. C'est la partie la plus large de la grande chaîne calcaire qui règne depuis Prestatyn au nord, jusqu'à l'extrémité sud du comté.

Traversons cette région bouleversée par la nature et par la main des hommes, où l'on rencontre à chaque pas des carrières et des monceaux d'amas extraits de mines, pour la plupart abandonnées aujourd'hui, et gagnons au sud-sud-est, à 4 1/2 milles d'Holywell et à 3 1/2 milles de Mold, un nouveau point d'observation, plus remarquable encore que le premier, l'ancien camp romain de Moel y Gaer (*fig. 4*).

Sauf le faite qui nous a servi de route et dont le niveau s'élève en pente douce jusqu'au camp, tout le reste de la contrée est dominé au loin par cette position, digne d'avoir été choisie pour poste militaire par les conquérants de la Bretagne.

Leur œuvre est encore debout presque intacte; l'enceinte, le fossé, les ouvertures aux quatre points cardinaux. Monté sur la partie sud-ouest du terrassement, on embrasse un immense horizon, dans lequel la variété des aspects est une conséquence naturelle de celle des terrains géologiques.

A gauche, ce sont encore les plaines fertiles du Cheshire (trias); si la vue ne s'étend plus au nord jusqu'à la mer, en revanche on aperçoit à l'est le large coude formé par la Mersey et la rive du Lancashire, à 20 milles environ de distance.

Devant soi, l'on a le terrain ondulé du bassin houiller de Mold, dont un lambeau remonte à un demi-mille sur la droite dans la vallée, au delà de laquelle reparait la chaîne du calcaire carbonifère, dominée elle-même par les hautes montagnes du terrain silurien supérieur (Wenlock).

Je ne m'arrêterai pas ici à faire ressortir le côté pittoresque de la scène, qui résulte de l'opposition des couleurs et de la différence des distances entre le spectateur et les divers points de l'horizon; deux fleuves aussi larges que des bras de mer, enfermant une presque île couverte de moissons, puis des collines boisées, reliées par de vertes prairies, enfin, des masses imposantes et obscures couronnées par le monument du roi Georges : c'est là une dégradation continue, qui comprend les effets les plus opposés, tels que les recherche le paysagiste.

Transportons-nous enfin à l'extrémité nord-ouest du Flintshire, près de la petite ville de Rhyl (*fig 5*).

Du massif calcaire, nous n'apercevons plus que les montagnes abruptes de Prestatyn à Talargoch, contre lesquelles s'arrête la plaine légèrement ondulée qui termine la vallée de la Clwyd.

La côte, comme la côte nord du Cornwall, est bordée par une ligne de sables, formée tant par les dunes que par des atterrissements continus, dont les effets se traduisent par les bas-fonds qui règnent, sur une zone de 5 à 6 milles de largeur, parallèlement au rivage. A l'ouest, la vallée de la Clwyd est bornée par une seconde chaîne calcaire, celle du Denbighshire, orientée nord-nord-ouest, comme celle du Flint, mais dont les escarpements s'avancent jusqu'à la mer.

### § 2. *Nature des roches.*

En supposant une coupe complète qui présentât les divers éléments du terrain carbonifère, on trouverait, en partant des argiles et des schistes de Wenlock, ou des grès dévoniens (*old Red Sandstone*), sur lesquels il repose, la série de termes dont les noms suivent, et que

je reprendrai en détail à propos des filons, mais qu'il est nécessaire de placer ici, au moins sous forme de nomenclature générale.

White ou mountain limestone.

Black limestone, comprenant le calcaire hydraulique connu sous le nom d'aberdor.

Blue limestone.

Chert, ou chirt, ou chart.

Shale.

Gravel.

Alternances de shales (schistes) et de freestones, sandstones, post, etc. (grès).

1° Le white limestone est un calcaire dont la couleur, toujours très-claire, varie du grisâtre au jaunâtre.

2° Le black limestone, ainsi que le porte son nom, est assez fortement coloré et atteint souvent même un noir foncé; c'est un calcaire argileux et parfois bitumineux.

3° Le blue se présente soit à l'état de calcaires durs et en couches minces, jaunâtre ou *gris bleu*, chargé d'encrines, soit à l'état de schistes très-argileux sans consistance et *noir bleu*.

4° Le chert est formé à peu près exclusivement de silice; sa couleur varie du noir le plus foncé au gris clair, quelquefois chargé de teintes rougeâtres.

5° Le shale est un schiste *noir* bien caractérisé, plus dur que les schistes du blue.

6° Le gravel consiste en galets roulés, dont les dimensions moyennes sont 0<sup>m</sup>,03 à 0<sup>m</sup>,04 de diamètre, avec toutes les variations de grosseur jusqu'au sable, le tout plus ou moins aggloméré et compacte, suivant les localités.

7° Les freestones, etc., sont des grès fins à stratification serrée et de couleur jaunâtre.

### § 3. Filons métalliques.

Les filons métalliques du Flintshire ne sont point uniformément répartis sur toute la zone du calcaire carbonifère.

C'est aux environs d'Holywell qu'ils sont groupés en plus grand nombre, et que les travaux des mines ont été le plus multipliés. Cependant ce district n'est plus en ce moment le grand centre de la production du comté, et quelques mines, soit au sud, soit au nord, jouissent seules d'une prospérité incontestée.

Je diviserai donc les mines en trois groupes, dont les limites n'ont, d'ailleurs, rien d'absolu : groupes d'Holywell, de Mold et du Nord.

#### 1° Groupe d'Holywell.

J'exposerai dès à présent quelques faits généraux, sur lesquels tous les mineurs sont d'accord :

1° Les filons affectent deux directions principales : l'une à peu près E.-O., l'autre N.-S. Les filons E.-O. (east and west lodes) sont les filons métallifères par excellence ; les N.-S. (north and south) sont souvent complètement improductifs et ne sont guère riches qu'au voisinage des east and west.

2° Dans le cas d'intersection de deux filons de systèmes différents, s'il y a rejet, c'est l'E.-O. qui est rejeté par le N.-S. ; les N.-S. sont aussi désignés sous le nom de *Cross-Courses*.

3° Dans le cas où, comme dans le district d'Holywell, on rencontre le *shale* au-dessus du *chert*, on arrête les travaux au contact du *shale*.

Ces points principaux connus de toute antiquité par

les mineurs gallois, joints, dans chaque mine, aux allures particulières que les travaux antérieurs ont manifestées, servent de guide aux directeurs de mines (managers) et aux *agents* sous leurs ordres.

La mine d'Holywell level comprend le grand et puissant filon E.-O. d'Holway et de nombreux cross-courses ; d'anciens travaux ont été conduits dans quelques filons E.-O. moins importants et situés au nord du principal filon (main lode).

Celui-ci s'étend sur une longueur de 3 milles suivant une direction générale de O. 5° N.

Aux environs du Victoria-Shaft (fig. 6), elle est à peu près O. 15° N. — E. 15° S., ainsi que l'indique le relevé suivant fait au 140 yards level.

Indications de la boussole.	Distances successives entre les points d'observations.
	A l'est.
123° 1/2 . . . . .	46 6"
124 . . . . .	34 6"
125 . . . . .	29 3"
155 . . . . .	47 4"
138° 1/2 . . . . .	65 7"
126° 1/2 . . . . .	42 3"
	A l'ouest.
304 . . . . .	55 0'

Admettant 20° pour la déclinaison actuelle et prenant 125° pour direction moyenne, on aura bien 125° — 20° — 90° = 15°.

L'inclinaison (underlie) est vers le nord, et, dans la profondeur, elle est régulière et de 9" par yard = 1/4 ; à la partie supérieure elle est très-variable et présente dans le chert une série de gradins.

Les cross-courses sont dirigés N. 25° à 0° E. ; leur inclinaison toujours très-grande est, pour la plupart, à l'est, mais pour quelques autres à l'ouest.

Les travaux ont été poussés à 150 yards de profondeur ; une longue galerie d'écoulement (adit-level), au

Mine d'Holway ou Holywell level. Filons exploités par la compagnie d'Holywell level.

niveau de 61 yards de la bouche du puits Victoria, conduit les eaux dans la vallée du Well et aboutit à la sortie même de la ville.

La profondeur d'eau y est maintenue assez grande pour porter plusieurs bateaux par lesquels on ne fait, d'ailleurs, qu'un très-minime service d'extraction. Elle se dirige d'abord pendant 500 à 600 yards en ligne droite; puis, rencontrant le filon au mur, elle fait un léger coude et le suit sur plus d'un mille. J'e n'ai mentionné cet adit que parce qu'il donne une coupe très-nette des terrains, s'accordant, d'ailleurs, avec celle indiquée sur le croquis pour le Victoria Shaft.

Gravel. . . . .	20 yards.
Shale. . . . .	20
Chert. . . . .	60
Calcaire. . . . .	déjà traversé sur 50 yards.

La mine a surtout été productive dans le chert jusqu'au contact de cette roche avec le shale. Aujourd'hui on est obligé de suivre le filon dans le calcaire où il est moins riche, quoique mieux réglé. Il arrive le plus souvent que le filon, qui, dans le chert, était divisé en plusieurs branches, n'en forme plus qu'une dans le limestone (*fig. 7*).

Les points où ces branches étaient multipliées ont été excavés par les anciens sur des largeurs considérables; on voit très-nettement au toit les matières de filon suivre le shale sans y pénétrer; les parois sont encore couvertes de cristaux de blende.

Le grand filon E.-O. est rencontré au mur sous un angle très-aigu par un autre E.-O. au nord de l'adit; ce point de jonction a produit un énorme amas de plomb.

Plus à l'ouest, j'ai vu travailler dans un cross-course par lequel on marche à la recherche des anciens ou-

vrages; le chemin serait plus court par une galerie à travers bancs (cross-cut); mais on compte couvrir une partie de la dépense par le minerai extrait du cross-course.

Là s'est présenté un fait sur lequel j'insisterai à dessein. Les anciens, qui avaient suivi ce N.-S. dans le calcaire noir, s'étaient arrêtés en rencontrant une roche schisteuse; quoique le filon s'amincît tout à coup, on pouvait encore en distinguer la trace; cependant, croyant avoir affaire à la formation du shale, ils avaient abandonné les travaux; le manager actuel, M. Roskill, soupçonnant leur erreur, a poussé la galerie sur quelques yards et est retombé en plein chert sur un filon, dont la puissance, après avoir été réduite à moins d'un pouce, s'est trouvée portée à 2'.

Les filons N.-S. sont dans la mine d'Holway moins importants, sous tous les rapports, que le main lode E.-O.

On voit nettement les intersections en suivant l'adit; la plupart du temps les N.-S. traversent sans déviation aucune; il en est même toujours ainsi dans le calcaire; par exception on observe dans le chert quelques N.-S. rejetés de 2 à 3 yards au plus, et eu égard à la faible puissance des cross-courses, relativement à celle du grand E.-O. et à la nature de la roche, ces rejets n'ont rien de caractéristique. Les N.-S., dont les uns inclinent à l'ouest, d'autres à l'est, paraissent, d'après les travaux en profondeur, se réunir deux à deux.

Les roches encaissantes plongent au N.-N.-E. Au toit du filon, à la partie supérieure de la mine, on a le shale qui est noir, et assez solide pour se soutenir sur une portée horizontale allant parfois jusqu'à 10 yards.

Le chert, généralement *noir*, prend dans les régions productives une teinte bleuâtre, souvent assez claire, et un aspect translucide caractéristique. C'est ce que les mineurs connaissent sous le nom de bearing chert (chert portant minéral).

Le blue est représenté par quelques couches de schistes bleuâtres, celles par exemple qu'on a rencontrées et traversées dans le cross-course, dont j'ai parlé ci-dessus.

Le black est caractérisé par un calcaire argileux parfaitement noir et portant des veines cristallines imprégnées de bitume liquide.

Le white, dans lequel on travaille aujourd'hui, est gris jaunâtre très-pâle.

La gangue des E.-O. est presque exclusivement de la chaux carbonatée spathique (spar), comprenant les veines de galène et de blende. Le spar est ordinairement blanc et formé de cristaux confus et serrés. Cependant on y trouve quelquefois des géodes contenant des cristaux plus nets, non-seulement de spar, mais aussi de galène. J'en ai vu une de 10 à 12' de profondeur sur 1' 1/2 de largeur et 5' de longueur dans le sens du filon.

Près du minéral le spar prend une teinte blonde, affectionnée du mineur, qui le désigne alors sous le nom de bearing spar.

Dans les N.-S. la gangue est encore principalement du spar, mais avec une forte proportion d'argile jaune (yellow clay). Cette argile forme les salbandes du filon et souvent aussi des lits intermédiaires dans le spar (*fig. 8*). On trouve fréquemment des fragments détachés des parois et empâtés dans le spar blanc.

Minerais.

La galène se rencontre dans les deux systèmes de fi-

lons; elle est plus pure, plus brillante dans les E.-O., et terreuse dans les N.-S.

La teneur en argent est de 6 à 8 onces par tonne de minéral dans les E.-O., et de 4 à 5 dans les N.-S.

Aux environs des points de croisement sont les parties riches des cross-courses.

En ces points la teneur en argent est modifiée d'une manière remarquable et s'accroît pour les deux filons; dans les E.-O. elle atteint 10 à 12 onces, et dans les N.-S. 5 à 6.

La galène à 12 onces est dure et à grain fin (steel-lead).

La blende ne se trouve que dans les E.-O.; il n'y a pas de calamine, on y rencontre au contraire quelque peu de plomb carbonaté en grains plus ou moins arrondis.

La mine de Merilyn est située à 2 1/2 milles d'Holywell sur la route de Saint-Asaph.

On y exploite un E.-O. principal se divisant en deux branches, et plusieurs cross-courses. Une des branches du main lode a été reconnue sur plus de 1 mille, et se dirige O. 1° N. — E. 1° S., la direction de l'autre branche est O. 8° N. — E. 8° S. Les cross-courses vont du N. 25 à 30° O. au S. 25 à 30° E.

La mine a été approfondie à 140 yards presque entièrement dans le calcaire.

Le soil, le chert, et les blue et black limestones sont réduits à une épaisseur totale d'environ 30 yards au puits d'extraction.

Au 40 yards level on voit l'E.-O. se diviser en deux branches dont l'une se perd en descendant presque verticalement dans le calcaire; l'autre, après avoir suivi au toit les schistes du blue avec une faible puissance, redevient riche en plongeant dans le calcaire; le point

Mine  
de Merilyn.

de jonction ( $\alpha$ ) a été excessivement productif (*fig. 9*).

Les N.-S. sont ici plus puissants qu'à Holway; ils atteignent jusqu'à 5 ou 6 yards, et alors sont pauvres et contiennent surtout des débris des roches calcaires avoisinantes, avec quelque peu d'argile et encore moins de chaux carbonatée.

L'un d'eux fait éprouver au main lode E.-O. un rejet dont l'étendue n'est pas au-dessous de 10 yards.

L'argile, qui abonde dans la plupart des N.-S., se rencontre aussi, mais en moindre quantité, dans les E.-O., dont la gangue est principalement le spar (chaux carbonatée).

La galène est, comme à Holway, plus terreuse dans les cross-courses et plus lamelleuse dans les east and west.

La blende est peu abondante et ne se rencontre que dans les E.-O.

Le plomb carbonaté et la calamine se trouvent en assez grande quantité dans tous les filons, avec ces particularités que le plomb carbonaté gît surtout dans les E.-O. et que la calamine semble manquer complètement dans le chert.

Dans un cross-course de 20" de puissance, distant de 3 yards d'un autre N.-S., qui donne du minerai de plomb, on vient de trouver du cuivre pyriteux et carbonaté bleu et vert.

A 150 yards au sud de Merllyn, est un autre E.-O. reconnu sur un demi-mille et exactement parallèle au précédent; son exploitation venait de s'arrêter lors de mon arrivée. Il est désigné sous le nom d'Orsedd mine.

A trois quarts de mille à l'ouest de Merllyn, on vient de reprendre la petite mine de Mitchell (*fig. 10*).

On y exploite deux cross-courses dirigés exactement

N.-S., et inclinés tous deux à l'est de 10" par yard. Ils ne sont distants que de 3 yards. Je suis descendu successivement dans les puits n° 2 et n° 3, le premier de 34 yards, l'autre de 14 yards seulement.

On n'a travaillé jusqu'ici que dans le calcaire et les schistes du *blue* et dans le black limestone; cependant ces couches sont tellement réduites en ce point que l'on a déjà atteint le calcaire blanc (white limestone).

Dans le 34 yards level on a au mur le calcaire noir grisâtre et au toit les schistes très-ébouleux, évidemment rendus tels par suite du glissement du toit sur le mur.

C'est ce qui se manifeste plus nettement au level commencé au fond du petit puits de 14 yards, où l'un des cross-courses présente au mur un miroir parfaitement poli.

Ledéplacement relatif paraît avoir été de 5 ou 6 yards.

Précisément dans le même point on voit se dessiner admirablement, sur cette surface de glissement, la section d'un filon E.-O. dont le calcaire spathique tranche sur la roche encaissante (*fig. 11*).

Les N.-S. contiennent du spar, de l'argile (yellow clay), une sorte d'oxyde de fer tout à fait analogue au gossan du Cornwall, de la galène et beaucoup de plomb carbonaté blanc et terreux.

A 1 demi-mille O.-O.-S. plus haut dans la montagne, je suis descendu dans un puits de recherches, où l'on a rencontré le calcaire blanc dès la surface; à la profondeur actuelle de 20 yards, on travaille dans des couches de rognons siliceux, sorte de faux chert, plus ou moins empâtés d'argile.

Le prolongement du grand E.-O. d'Holway passe à quelques pas de ce puits.

En remontant vers le nord, j'ai vu encore quelques

Matières  
des filons.

Mine d'Orsedd.

Mine  
de Mitchell.

Mines et fouilles  
diverses.

recherches peu importantes sur des cross-courses, dans des terrains analogues à ceux de Mitchell mine; ainsi à la mine du Sacramento où l'on n'a traversé que la partie supérieure des calcaires foncés.

A 2 milles N.-O. de Merilyn on arrive à la montagne dite Garreg mountain, où le calcaire blanc apparaît en roches saillantes à la surface et plongeant vers l'est. Au bas du coteau N.-E. est la Garreg mine (filon E.-O.); on a percé les couches schisteuses du blue où l'on a trouvé, à 20 yards, deux lits assez minces de substances charbonneuses et chargées de pyrite; à 100 yards, profondeur actuelle, on travaille en plein white limestone.

Mine de Milwr  
ou de Brynford-  
Hall.

Pour terminer ce qui est relatif aux mines du groupe d'Holywell, il me reste à signaler quelques circonstances intéressantes que j'ai observées dans la mine de Milwr, actuellement exploitée par la nouvelle compagnie de Brynford-Hall.

Les filons connus sont au nombre de six, savoir: deux E.-O. Milwr et Meadow-woodlands veins et quatre cross-courses, Clawddyford, Lloyds, Matthews, et Plas Brynford.

La grande *vein* de Milwr commence à 1 mille et demi S.-E. de Holywell et se dirigeant O. 25° N., sur un parcours de plus de 3 milles, va rencontrer l'extrémité ouest du filon d'Holway. Elle a été exploitée avec grand profit, par l'ancienne Milwr company sur une longueur de 720 yards dans sa partie est, et par diverses autres sociétés à l'ouest dans le calcaire blanc.

On se propose aujourd'hui de travailler dans une portion intermédiaire de 800 à 1.000 yards encore inexplorée.

L'ancienne Milwr mine a été poussée sur une profondeur allant de 140 yards à l'est, à 100 yards à l'ouest,

presque exclusivement dans le chert. Actuellement le 100 yards level, conduit à l'ouest, est passé du chert aux calcaires bleus et noirs, et a déjà atteint le white limestone (*fig. 12*); on espère que dans cette roche le filon sera aussi riche qu'il l'a été dans le chert.

A 56 yards nord de Milwr est le filon de Woodlands-Meadow, qui lui est parallèle; dans ce filon, on s'est arrêté à l'est par suite de la dureté du chert encaissant, mais on doit reprendre les travaux pour arriver aux points de rencontre du filon avec ceux obliques de Lloyds et de Clawddyford, intersections que l'on espère devoir être riches.

Les cross-courses Plas-Brynford et Matthews n'ont été exploités jusqu'ici que dans le calcaire noir, et dans le dernier on vient d'atteindre le calcaire blanc, à 60 yards de profondeur; on compte aussi sur l'enrichissement du filon dans ce white limestone.

On se propose, dans l'un et l'autre de ces nord-sud, d'aller chercher leur intersection avec Milwr vein au level de 100 yards.

Un adit level de 2 milles 1/2 de longueur assure l'assèchement de la partie supérieure de la mine, dont le fond, qui au puits de Brynford avait atteint 200 yards, est complètement inondé depuis l'interruption des travaux.

Je suis descendu dans l'adit par un puits de 28 yards, et en suivant la galerie de niveau, je suis arrivé à un point où, en poussant un level dans le plan du filon E.-O. en vue surtout d'atteindre l'intersection de celui-ci avec un cross-course connu à 50 yards de là, on a rencontré le shale (*fig. 13*).

Au front de taille se présente un vide, de section triangulaire de 3' environ de hauteur sur 9" à la base; le schiste est brisé nettement et *sans aucun désordre*, et

la fente ne se prolonge pas au sommet du triangle. Les parois semblent avoir été simplement écartées, sans aucun glissement simultané avec l'écart (*fig. 14*).

Dans ce vide, qui correspond précisément à la partie supérieure du filon (*back of the vein*), on a trouvé quelques cristaux de carbonate de chaux, et j'ai encore reconnu, adhérente aux parois, une couche de substance noire et *grasse* qui, au dire des mineurs, se retrouve aussi à une plus grande profondeur et ne peut s'enlever des mains que par l'emploi du savon.

Au 100 yards level (*fig. 15*), j'ai vu un *string* ou branche de *Milwr vein*, parallèle à 18 yards de celle-ci. Ce *string* se divise lui-même, au point où l'on passe du chert dans les schistes argileux du *blue*, en deux autres branches : l'une, faisant un angle droit avec la direction primitive et que les anciens, après avoir suivi sur quelques yards ayant le schiste au mur et le chert au toit, ont fini par abandonner; l'autre, à peine visible, se prolongeant en ligne droite au travers du *blue*.

Dans cette branche, on ne voit guère que de distance en distance quelques cristaux de spar au milieu des schistes, dont les feuilletts, fortement redressés dans la portion qui serait le toit, accusent un glissement de plusieurs yards.

Les mineurs, enclins à l'exagération et qui semblent prendre plaisir à signaler les circonstances qui, selon eux, mettent leur terrain en dehors de la portée de toute espèce de considération théorique, disent même que le *blue shale coupe* le filon; il m'a été facile de constater que les faits eux-mêmes démentent cette allégation; car si le filon n'a pas dans le *blue* une course bien définie, on peut encore en suivre la trace. C'est même ce qu'a fait la compagnie actuelle, et elle n'a pas tardé à retrouver dans le *black limestone* le *string*

avec toute sa puissance et une bonne richesse moyenne.

*Milwr vein* forme aussi d'autres *strings*; un entre autres a donné un point (*z*) où il commence dans le *black limestone* un produit considérable; l'enrichissement dans les cas analogues est d'ailleurs un fait généralement connu et à peu près constant.

Les roches encaissantes plongent à l'est; mais, par suite des nombreux accidents du sol dans cette région, on remarque à l'intérieur de la mine, et notamment dans le chert, des stratifications locales très-variables.

A *Brynford*, on trouve surtout de la galène, peu de blende, pas de plomb carbonaté et quelque peu de calamine.

Au sud de *Milwr*, le sol est littéralement découpé par les nombreux filons dont quelques-uns sont exploités avec profit dans les mines de *Penyrhenblas*, *Deep-Level*, *Halkin-Hall*, etc., etc., dont les gisements sont analogues aux précédents.

Avant de quitter les environs d'*Holywell*, je rapporterai encore les résultats de quelques observations faites dans des promenades autour de cette ville (*fig. 16* et *17*).

A 1 mille au nord d'*Holywell* est la grande carrière pour calcaire hydraulique de *M. Crawkford*; elle est ouverte sur les affleurements du *black limestone*, très-développé en cet endroit.

Ce calcaire hydraulique a reçu dans le pays le nom d'*aberdor* et s'extrait sur divers autres points; il donne de la chaux de qualité supérieure et qui a servi pour les travaux des docks de *Liverpool*.

La roche, lorsqu'elle est sèche, est d'un gris foncé et devient noire quand on la mouille; sa cassure a l'aspect terne et même légèrement terreux assez caractéristique des calcaires hydrauliques.

Une analyse faite au laboratoire de l'École des mines a donné :

Sable quartzeux . . . . .	21,6
Argile. . . . .	12,0
Oxyde de fer. . . . .	1,0
Chaux. . . . .	36,0
Acide carbonique . . . . .	25,4
Eau. . . . .	4,0
	100,0

Au-dessus se trouvent en découvert quelques bancs d'un calcaire très-chargé d'encrines et dont la couleur varie du gris jaunâtre au bleuâtre, appartenant, pour moi, à la série du blue.

Les produits de la carrière sont conduits par un petit chemin de fer de 2 milles  $\frac{1}{2}$  de longueur. La ligne descend, par un premier plan incliné, la pente formée par les limestone chert et shales et va suivre, au delà de Holway, le coteau de Gravel rouge. Le terrain de cette colline consiste en cailloux roulés notablement agglomérés, au moins sur une certaine profondeur, par des infiltrations calcaires (*fig. 1, Pl. V*).

Une source pétifiante surgit à quelques pas de la voie, et dans le pays même les eaux, qui viennent au jour à la base des calcaires carbonifères, sont réputées *hard* (dures, crues). Le chemin traverse ensuite la vallée et s'établit sur le coteau de droite, tantôt en tranchées, tantôt en remblais.

Les collines sont escarpées et entièrement formées de galets et sables non agglomérés; elles peuvent s'élever à 30 ou 40 yards.

A 1 demi-mille du fleuve, la voie passe auprès des ruines de la vieille abbaye de Greenfield; là, le coteau est brusquement interrompu et forme l'ancien rivage de la Dee.

A 10 ou 15 yards en contre-bas s'étendent les allu-

vions et les atterrissements du fleuve, sur lesquels la culture et les habitations s'avancent chaque jour. Ces terrains sont la propriété du prince de Galles, qui peut espérer à la longue de voir passer de son côté les champs fertiles du Cheshire. Un fait certain, c'est que depuis cinquante ans seulement, au moyen de quelques digues peu élevées, on a gagné sur la rive plus de 600 yards de terrain productif.

C'est aux pieds de l'ancienne *Abbey* que M. Crawford avait construit une vaste usine pour le traitement des minerais de zinc, entreprise qui n'a pas réussi.

A droite et à gauche de Greenfield, on avait aussi fait des recherches de houille, mais les couches rencontrées en ces points n'ont pas été susceptibles d'une exploitation profitable.

La ville d'Holywell a reçu son nom (well, puits; Source du Well. holy, saint) d'une source très-abondante en toute saison, qui surgit avec force au pied de la montagne; le volume des eaux atteint 100 mètres cubes par minute, mais, contre le dire des habitants, subit en été une diminution notable. Cette source est en grande vénération dans le pays, surtout de la part des catholiques, et produit des cures nombreuses dont les témoignages sont suspendus sous forme de béquilles ou d'ex-voto aux colonnes de l'église construite au-dessus du bassin même. L'eau du Well est crue et la température en reste à peu près constante. Grâce à la rapidité du fond de la vallée, depuis le Well jusqu'à Greenfield, on a pu former des réservoirs successifs entre lesquels sont intercalés divers établissements qui reçoivent la force motrice des chutes ainsi créées. (Manufacture de flanelle, woolen factory: Newton and Keates, *Lead works* and *Copper works*: Moulin à farine, *Water Mill*, etc.) C'est là qu'on s'aperçoit de la diminution du débit en été.

A gauche, la vallée est aussi resserrée par de hautes collines de gravel, qui vont en s'abaissant vers Greenhill et qui s'étendent à 1 mille  $1/2$  au nord-ouest.

Comme celles de droite, ces collines sont très-accidentées et sont, du reste, également très-bien cultivées. Le sous-sol est en effet éminemment perméable, par suite de sa nature caillouteuse.

On a tenté l'usage de la chaux comme amendement, mais on a dû y renoncer, soit que l'élément calcaire, pour ne pas être évident, n'en existât pas moins en proportion suffisante, grâce aux eaux qui découlent de la chaîne carbonifère et à la composition des galets eux-mêmes, soit que les quantités de chaux expérimentées aient été dès le principe trop considérables.

De part et d'autre de Greenfield, la route et le chemin de fer sont établis précisément au-dessus de l'ancienne rive de la Dee, sur les alluvions; il en est ainsi, sur la droite, jusqu'à Flint. Avant d'atteindre cette ville, on arrive à Bagillt 1  $1/2$  mille S.-E., où le terrain houiller commence à être bien développé. Il est caractérisé à la surface par des shales ou schistes noirs, formant au bord du chemin une sorte de falaise, au sommet de laquelle on voit plusieurs puits de la Colliery de Bagillt.

La route directe, qui monte de Bagillt à Holywell, coupe les shales houillers, ainsi que quelques couches de grès (freestone, etc.) jaunâtre et terreux.

Sur la gauche, dans le fond de la vallée (Dingle), où aboutit l'adit level de la mine de Brynford (*fig. 2*), on exploite pour *ciment* une couche de calcaire argilo-ferrugineux en rognons. L'aspect de cette roche est tout à fait le même que celui du fer carbonaté lithoïde, dont le gisement se trouve d'ailleurs dans des conditions identiques. Ici seulement, l'argile restant en

De Bagillt  
à Holywell.

Carrière de pierre  
à ciment.

proportion notable, la chaux aurait remplacé le fer en grande partie.

Cette couche a 4' d'épaisseur et est comprise au toit et au mur entre les mêmes shales. On a poussé d'abord le travail à ciel ouvert jusqu'à un talus de 30' environ; avant d'être arrivé à ce point, ce mode d'exploitation avait déjà cessé d'être avantageux; aussi s'est-on décidé à entrer en galerie de part et d'autre de la vallée. Cependant, eu égard à la nécessité de boisages considérables dans les shales ébouleux, et à la difficulté des transports entre la carrière et la route de Bagillt, il est peu probable que cette entreprise réussisse.

Après avoir fait connaître le terrain qui s'étend à l'est d'Holywell, entre la chaîne calcaire et la Dee, il sera bon de parcourir la région montagneuse à l'ouest et au sud; en suivant alors les Halkin Mountains nous gagnons le district de Mold.

Comme culture, j'ai déjà dit que cette partie de la contrée ne présentait pas la richesse des collines du terrain houiller; plusieurs causes viennent en effet s'opposer au succès des tentatives, qui pourraient y être faites par les agriculteurs. L'élévation et les accidents déjà considérables des montagnes rendraient les transports, tant d'amendements que de produits, très-coûteux et très-difficiles; le climat est froid par suite des vents qui règnent presque constamment sur ces hauteurs après avoir passé sur les hautes chaînes du centre du pays de Galles; enfin la nature même du terrain est le plus grand obstacle à la végétation.

Voici une série de petites coupes successives que fournissent les carrières exploitées dans cette région (*fig. 3*, Pl. V) :

Montagnes  
du sud-ouest  
d'Holywell.  
Carrières.

A. *Carrières de chert* (1).

Série de bancs minces . . . . .	7'
Argile.	
Banc épais . . . . .	4
Argile.	
Banc épais, fendillé . . . . .	5

B. *Carrières de flagstones et calcaire.*

Chert en rognons dans l'argile. . . . .	10'
Calcaire gris : flagstones. . . . .	12
Calcaire bleu foncé. . . . .	...
Calcaire plus ou moins foncé . . . . .	...
Schistes du blue . . . . .	...

C. *Carrières d'Aberdor.*

Calcaire noir, aberdor. . . . .	60'
(avec divers lits de schistes coquilliers subordonnés.)	
Calcaire noir coquillier à productus. . . . .	...

D. *White limestone.*

A un mille sud-ouest de Brynford, le chert apparaît à la surface en bancs généralement fendillés, séparés par de petites couches d'argile jaunâtre de quelques pouces d'épaisseur; on l'extrait pour l'envoyer aux poteries du Staffordshire; la roche est très-dure, mais très-fragile.

Plus loin, dans la même direction, on extrait des flagstones; on rencontre immédiatement au-dessous des calcaires plus ou moins terreux de couleur bleue, et quelques bancs chargés d'encrines.

Ces différentes couches sont séparées par des lits de schistes argileux et pyriteux, noirs et très-efflorescents, qui se trouvent en plus grande épaisseur au-dessous des

(1) L'analyse d'un fragment de chert a donné :

Silice et quartz. . . . .	97,0
Oxyde de fer. . . . .	3,0
	100,0

bancs calcaires. C'est là ce qui forme la série du blue limestone.

On arrive ensuite aux affleurements du black, exploité dans de grandes carrières pour calcaire hydraulique. Les couches plongent toujours N.-E., elles sont puissantes et de composition homogène; cependant de distance en distance on y remarque des zones de rognons siliceux exactement de la nature du chert, c'est-à-dire analogues aux silex (flints) de la craie; entre les couches sont encore des lits schisteux très-abondants en fossiles; les productus surtout y sont en si grand nombre, qu'il devient difficile d'en dégager un complètement; le têt de quelque autre déterminant une ligne de fracture dans le premier.

Parmi les fossiles que j'ai recueillis en cet endroit, je citerai notamment :

Spirifers divers;

*Productus giganteus* (Sowerby);

*Productus cora* (d'Orbigny);

*Productus semireticulatus* (Martin);

*Conetes comoïdes* (Sowerby).

Au delà sont des carrières pour *marble*, ou calcaire formé presque exclusivement par l'agglomération de zoophytes, surtout de l'espèce que Phillips désigne sous le nom de *lithodendron longiconicum*. Là j'ai trouvé encore le *productus giganteus* et le spirifer *duplicostatus* (Sowerby), et le *cyathophyllum fungites* du Lower scar limestone (d'après Phillips). Ce marble une fois poli, présente, par suite des coupes fortuites des fossiles, des dessins assez bizarres qui le font employer comme marbre d'ornement pour cheminées, tables, etc.

A un mille au sud de ce point, sont des carrières assez considérables avec fours pour chaux grasse. Là, on n'a plus que du calcaire blanc, white ou mountain lime-

stone proprement dit. Les bancs plongent au sud-est; entre eux se rencontrent aussi des amas de productus et de spirifers.

D'Holywell  
à Mold.

D'Holywell à Mold, la distance est de 9 milles; la route directe passe près des mines de Deep level, situées dans des conditions analogues à Milwr, et sur le carreau desquelles j'ai recueilli des échantillons de spath fluor cristallisé, avec galène; on y trouve aussi de l'aragonite; pas de blende ni de plomb carbonaté, et un peu de calamine; parmi les gangues j'ai remarqué du gossan.

Près de Moël-y-Gaer (*fig. 4*), une carrière dans le black limestone donne la coupe suivante :

Chert. . . . .	6' 0
Shale du blue. . . . .	1' 0
Calcaire. . . . .	3' 0
Shale. . . . .	0' 3"
Calcaire gris . . . . .	8' 0
Calcaire noir . . . . .	.....
	.....

Les calcaires y sont tous imprégnés de bitume et fétides au choc; ils sont coupés par des fissures contenant du spath fluor cristallisé, de l'argile, de la chaux phosphatée amorphe.

Cette carrière est située à une centaine de yards au sud-est du camp, c'est-à-dire presque au sommet de la hauteur. Une partie incline à l'est, l'autre au sud.

A l'ouest du camp, et également au haut de la montagne, on exploite une carrière de grès; la roche est entièrement différente de tout ce que j'ai vu jusqu'ici dans le pays, et présente tous les caractères du grès du Millstone Grit dans le Yorkshire. C'est une agglomération de petits cailloux ronds de quartz blanc de grosseur variable; l'ensemble est poreux et rugueux au toucher.

A 500 yards plus bas, dans la même direction, on fonçait un puits dans un grès analogue, quoique d'un grain plus fin.

J'ai traversé l'étroite vallée où coule un affluent de la rivière Alyn; elle est remplie par les schistes du terrain houiller, et on y voit même les affleurements d'une couche de houille. Après avoir gravi le coteau de calcaire carbonifère, je suis arrivé en redescendant au sud-est aux anciennes mines de Coed-y-pandy, aujourd'hui abandonnées.

On peut juger, d'après les amas des résidus de lavage, de l'importance que l'exploitation avait acquise; malheureusement la mine a été gagnée par les eaux, malgré de puissantes machines d'épuisement, encore actuellement debout. Elle comprenait plusieurs filons dirigés E. 21° N., — O. 21° S. dans le limestone. Cette direction est aussi celle des coteaux escarpés, qui forment en ce point la vallée resserrée de l'Alyn; et on voit sur la carte de l'ordnance, que cette rivière, après un léger coude vers le sud, reçoit un affluent qui conserve cette direction sur 5 1/2 milles jusqu'à sa source, près de Bwlchy-Gleen, au milieu des montagnes de la région silurienne.

De Coed-y-Pandy, la route suit la rive gauche de l'Alyn à travers les collines du terrain houiller, et, traversant la rivière à Rhydy-Gollen, ne tarde pas à conduire à la ville de Mold.

#### 2° Groupe de Mold.

Je n'ai que peu de choses à dire sur les mines de ce district, où je n'ai pu séjourner autant que dans celui d'Holywell.

Le chemin qui va de Mold à Ruthin (Denbighshire), située à 5 milles au sud-ouest, traverse d'abord une par-

tie du terrain houiller, dont les collines ne se relèvent guère qu'aux approches du calcaire carbonifère, que l'on atteint après un trajet de 2 milles. Les couches calcaires plongent au sud-est, ainsi que l'indiquent les coupes résultant d'une série de grandes carrières exploitées au bord de la route; on y rencontre :

Chert . . . . .	épaisseur variable.
Shale . . . . .	1'
Banc coquillier . . . . .	1'
Calcaire gris avec veines rougeâtres . . . . .	1'

Un peu plus loin, on observe des dislocations remarquables, qui redressent les couches calcaires dans une direction E.-S.-E.

Enfin à 5 1/2 milles de Mold, on arrive à la mine de Maës-y-Safn, située à la limite des comtés de Flint et de Denbigh.

Mine de Maës-y-Safn.

Le main lode est dirigé O. 24° N., — E. 24° S.; à l'ouest une branche (string) s'en détache, qui est également exploitée.

Le filon incline vers le nord; à l'ouest des travaux, l'inclinaison est de 75°; elle n'est plus que de 50° à 1.200 yards à l'est (fig. 6).

Des cross-courses N. 7° O., — S. 7° E. peu nombreux, mais puissants, sont complètement stériles et ne contiennent que du carbonate de chaux et de l'argile; ils amènent dans la mine une énorme quantité d'eau qui, malgré un adit à la profondeur de 100 yards, exige des moyens d'épuisement considérables.

Les travaux ont été poussés à 250 yards, dans le white limestone surmonté d'une certaine épaisseur d'ardor.

Les couches affectent le pendage sud-est; elles sont recouvertes à l'est par des grès, dans lesquels nous allons voir creusée la mine de Jamaica.

A Maës-y-Safn, on trouve de la galène, quelque peu de blende, qui est d'ailleurs d'un mauvais augure pour la richesse du filon, et pas de calamine ni de minéraux fluatés.

On voit à la surface l'affleurement du filon, qui forme une véritable faille dans le calcaire; les anciens ont pratiqué, dans le filon, de profondes excavations, au pied de l'escarpement qu'il a déterminé.

Les grès s'avancent dans la chaîne calcaire au sud de Maës-y-Safn, sur une longueur de 3/4 de mille environ, formant un plateau élevé et tout à fait sauvage, qui penche notablement au sud un peu est. C'est dans cette région qu'on a découvert, depuis peu d'années, les mines de Bwly et de Jamaica.

Mine de Jamaica.

On y exploite une sorte d'anas de plomb carbonaté, au milieu de grès plus ou moins caillouteux.

On a traversé 20 yards de shales, puis 56 yards de grès pour atteindre l'amas, dont la largeur et la puissance ne sont que de 5 à 6 yards.

On fonce en ce moment un puits, par lequel on espère rencontrer son prolongement à 120 ou 150 yards de profondeur.

Outre le carbonate de plomb, on trouve un peu de galène, mais aucun minéral de zinc.

### 3° Groupe du Nord.

Au nord du Flintshire, les deux mines les plus importantes sont Talacre et Talargoch. Cette dernière surtout jouit actuellement d'une prospérité extraordinaire, et fournit à elle seule le tiers du minéral de plomb annuellement extrait dans le comté. Talacre, sans être aussi riche en ce moment, a eu aussi certaines périodes de grande production.

Ce n'est pas à ce point de vue seulement que ce dis-

trict offre un intérêt tout particulier; mais comme il forme l'extrémité nord de la chaîne carbonifère, il fournit à l'observateur des faits spéciaux, résultant de la situation avancée qu'il a dû occuper dans les mers du terrain houiller.

Ce sont ces faits que je vais exposer, en me réservant de montrer plus loin comment ils s'enchaînent aux faits, en apparence assez différents, que j'ai eu jusqu'ici à rapporter.

Mine  
de Talacre.

La mine comprend un grand E.-O. et plusieurs E.-O. de moindre importance, dont les uns sont parallèles au main lode, tandis que d'autres viennent le rejoindre. Il n'y a pas de cross-courses N.-S.

Le filon principal est dirigé E. 25° N. — O. 25° S.

Son inclinaison est *au sud*, circonstance assez rare chez les east and west; elle est, à partir de la surface, de 2' de base par yard de profondeur, et plus bas yard par yard (ou 45°).

Les travaux sont entièrement dans le chert, dont ils n'ont pas encore atteint la limite inférieure.

Au level de 30 yards (de l'Engine-Shaft), et marchant à l'ouest, le filon est d'abord presque stérile dans un chert terne et de mauvaise apparence; puis, arrivé au joint de jonction avec un autre E.-O., jusque-là également pauvre et mince, il acquiert une puissance de 6 yards et a donné une masse de galène de plus de 6 pieds d'épaisseur.

Le second E.-O. dont il s'agit ici avait été dans le temps travaillé par les anciens à la surface du sol, avec chert au toit et au mur, mais à une faible profondeur, car ils n'avaient pas atteint le point riche, qui, par suite de la déclivité du coteau, ne se trouvait pourtant qu'à 16 yards du jour.

Après la réunion des deux veines, le filon ne tarde

pas à s'éparpiller en 3 ou 4 strings, que l'on poursuit actuellement sans grand profit. La branche (a), la plus au nord, présente, au même niveau de 30 yards, le chert au toit et le shale au mur (*fig. 9*).

Ce shale est parfois en lames luisantes, plus ou moins redressées le long du filon, parfois remplacé par une argile noirâtre, mais n'est pas dur comme celui d'Holway, et n'a aucun des caractères, qui pourraient faire présumer, qu'il ait été altéré par le remplissage du filon. On voit, au contraire, fréquemment le chert former une salbande de 4" à 6" d'épaisseur se distinguant par une teinte plus blanche et par des mouches de galène du chert encaissant (*fig. 10*).

Au même niveau, en retournant vers l'Engine-Shaft, l'intersection d'une galerie à travers bancs (cross-cut) avec le level donne la coupe indiquée par la *fig. 11*). Les salbandes sont encore formées de chert imprégné et divisé, et, comme dans tous les cas semblables, le filon est pauvre et entièrement rempli de chaux carbonatée. Le level a été conduit au mur du filon, dans un mélange de sables presque blancs avec des débris schisteux, le tout assez fortement tassé; on voit même un reste de ce dépôt adhérent à la salbande au mur du filon.

En descendant au level de 48 yards (*fig. 8 et 12*), on trouve que le filon a atteint plusieurs yards d'épaisseur. Au toit est encore le chert, et au mur on rencontre presque immédiatement le gravel.

Un cross-cut, à ce niveau, a été conduit de l'engine shaft jusqu'à une trentaine de yards dans le sable. Au contact de la roche et du filon, le gravel contient un assez grand nombre de morceaux de galène roulés, connus par les mineurs sous le nom de *Round ore* (minéral rond).

Cette partie de la mine est excessivement humide, et les eaux, qui traversent les sables en abondance, les ont rendus si coulants que le cross cut n'a pu être continué qu'en faisant un boisage en poussage avec palplanches et front de taille formé de planches, entre les joints desquelles sort du sable, blanc comme celui du bord de la mer. Ce cross-cut n'est, à proprement parler, qu'un drain ayant pour but de dessécher la partie supérieure de la mine, en facilitant l'arrivée des eaux à l'engine shaft, que l'on approfondit en ce moment de 20 yards de plus, pour le même motif.

La portion de la galerie à travers bancs, située entre le filon et le puits, c'est-à-dire dans le chert, coupe deux autres petits E.-O. ne contenant que de la blende; c'est aussi le minéral dominant, à ce niveau, dans le filon principal.

La mine de Talacre produit de la galène et de la calamine; on n'extrait pas la blende, et on n'y rencontre que peu ou pas de carbonate de plomb.

Une contestation entre les propriétaires du sol et la compagnie a fait reconnaître que la galène était plus argentifère à l'ouest qu'à l'est du filon; la teneur moyenne est de 12 onces par ton, nombre assez élevé pour le Flintshire.

A Talargoch, on a aussi un filon principal, et de nombreux strings rejoignant le filon sous des angles différents, mais qui ne sauraient être pris pour des cross-courses, et ne sont que les branches d'un même système de fracture.

La direction du main lode est exactement N.-E. — S.-O.; il incline au nord-ouest, et les strings au sud.

Les travaux sont actuellement à 180 yards de profondeur, et c'est vers l'est que l'on pousse ce level, dans l'intention d'arriver au shale, qui a déjà été rencontré

Mine  
de Talargoch.

aux niveaux supérieurs et sous lequel on compte trouver un bon produit.

Les croquis approchés (fig. 13, 14 et 15) donneront une idée du terrain encaissant.

La montagne de Talargoch est formée de calcaire blanc grisâtre; à l'est dans un vallon, l'aberdor qui lui est superposé montre ses affleurements exploités, comme toujours, pour chaux hydraulique; le shale repose immédiatement sur le calcaire, soit blanc, soit noir, ou vient buter contre lui; au-dessus est le gravel; au nord-est, à une centaine de yards, une galerie à travers bancs, conduite à la partie inférieure du shale, a rencontré une faille au toit de laquelle se trouvait un grès fin et rouge, dont j'ai vu un échantillon, et qui présente tous les caractères du new-red-sandstone.

Pour ce qui est des filons, les strings sont entièrement dans le limestone; le main-lode a toujours ce même calcaire au mur, mais, jusqu'au 150 yard level, la nature du toit présente des particularités, sur lesquelles je vais insister (fig. 16 à 19).

Au même niveau de 150 yards, j'ai vu d'un côté le calcaire, de l'autre les shales, qui là comme à Talacre, sont relevés, feuilletés et brillants (fig. 16). Quelques yards plus loin, le filon est entièrement dans le calcaire (fig. 18); j'ai vu même une partie du filon où le calcaire forme les deux épontes, et où l'intérieur du filon contient des écailles de shales (fig. 19).

Ces shales sont très-ébouleux, et on est obligé de boiser à fortes planches jointives, avec cadres formés de pièces de chêne de 18"/10" de côté; encore les étais sont-ils brisés avant un espace de moins de trois ans.

Au level de 180 yards, on est en plein limestone.

Les mineurs, là comme à Talacre et dans les autres mines, aiment un mur propre (clean); mais ils pré-

fèrent la variété dans la puissance à une trop grande régularité. Les parties, où l'épaisseur totale du filon est considérable, sont aussi les plus riches en minéral, notamment les points de jonction des strings avec le filon. On n'aime pas les grandes géodes, car elles ne contiennent guère que des cristaux de spar et très-peu de galène.

Gangues.

Comme gangue, on a de l'argile jaunâtre; on voit aussi beaucoup d'une sorte d'argile blanche analogue à celle qui caractérise la présence du cuivre dans les filons du Cornwall, quoique d'ailleurs un peu plus grenue que celle-ci; le cuivre existe lui-même dans un des strings, et on connaît des eaux cuivreuses coulant à la surface.

Le gossan proprement dit est peu abondant, mais se rencontre cependant à l'est.

Le carbonate de chaux se présente en beaux cristaux, volumineux, mais sans transparence; c'est ce spar mat qui est regardé comme de bon augure (bearing).

La galène se rencontre à Talargoch suivant divers modes de gisement:

1° En masses considérables, surtout aux jonctions des strings.

2° En fragments plus petits et entourés d'argile; ces morceaux sont de forme irrégulière, mais leur surface est lisse, et a été évidemment usée par frottement dans la matière pâteuse qui les entoure (*fig. 20*).

3° Enfin en round ore, véritables galets ovoïdes dans le gravel.

Le gravel ne contient de round ore que s'il est en contact immédiat avec le calcaire, c'est-à-dire si les shales ne sont pas interposés entre eux. Il est formé de débris de calcaire roulés, de sables et d'argile, et offre, à l'ouest surtout, une grande puissance; il est ordinai-

rement très-aquifère, mais lorsque des travaux inférieurs l'ont desséché, il devient assez solide pour qu'on puisse y tracer des galeries presque sans boisages.

La blende, comme à Talacré, abonde dans la profondeur; il en est ainsi au 180 yards level, où j'ai remarqué en même temps un fait singulier.

Les eaux, qui s'écoulent par les fissures au mur de cette galerie, amènent en quantité deux sortes de matières: l'une d'elles est blanche, et il m'a été facile d'y constater la présence d'une forte proportion de soufre; l'autre rouge, et doit être de l'oxyde de fer, dépôt fréquent dans les mines métalliques. Ce qu'il y a d'étonnant, c'est que jamais les suintements ainsi formés ne se mêlent sur la paroi; il en résulte une série de bandes, alternativement rouges et blanches, produisant un effet curieux.

Le plomb carbonaté est rare à Talargoch. La calamine se trouve à l'est du filon, et a été extraite dans le temps en abondance à la partie supérieure d'un des strings, où l'on pénétrait par une galerie s'ouvrant au jour; ce string s'appelle encore aujourd'hui calamine hole (trou à la calamine).

Je signalerai encore un des strings, qui est entièrement rempli de silice à l'état pulvérulent, contenant quelques cristaux de spar et de petites mouches de galène; cette silice atteint 6' d'épaisseur, et a été récemment exploitée pour les poteries, qui la payaient au prix de 30 shillings la tonne.

J'ai déjà indiqué, d'une manière générale, l'aspect de la contrée, qui s'étend de Prestatyn, extrémité nord de la chaîne carbonifère du Flintshire, aux montagnes parallèles du Denbighshire, lesquelles commencent près d'Abergèle, et forment, à l'ouest, la limite de la vallée de la Clwyd (*fig. 21*).

Je terminerai cette revue rapide des principales mines de plomb par quelques détails relatifs à la mine de Bodlewyddan, située dans la chaîne calcaire du Denbigh, quoique appartenant encore au comté de Flint.

Mine  
de Bodlewyddan.

Elle comprend deux filons E.-O. ; l'un incline au nord, l'autre (à 200 yards sud du précédent) incline au sud ; le premier seul est quelque peu exploité ; mais ce qui caractérise Bodlewyddan, c'est un grand nombre de coupures N.-S. nommées *joints*, où la galène se rencontre en masses irrégulièrement réparties (*fig. 22*).

La roche encaissante est ici exclusivement le white-limestone, dans lequel le main lode a été suivi jusqu'à 115 yards de profondeur. Ce filon est bien réglé, et c'est sans doute précisément pourquoi il n'offre pas de points d'une richesse remarquable ; en poussant les levées à l'est, on a rencontré les gravels ou bancs caillouteux, appartenant probablement aux Pebbles-beds de la partie inférieure du New red Sandstone, qui remplit la vallée.

Les joints ne ressemblent pas aux filons N.-S., que j'ai désignés jusqu'ici sous le nom de cross-courses. Ils ne rejettent pas le main lode ; tantôt ils le traversent normalement, tantôt sont un peu détournés par lui.

Dans ces joints on passe brusquement d'une épaisseur de plusieurs yards à une simple trace à peine visible (*fig. 23 et 24*) ; l'exploitation ne consiste qu'à vider, à mesure qu'on est assez heureux pour en rencontrer, les poches irrégulières que forment les parois des joints aux points où elles s'écartent, et à cheminer dans le rocher, en suivant comme guide la ligne de séparation des parois presque en contact.

Il en résulte une série d'excavations, tantôt montantes, tantôt descendantes, sortes de cheminées ou de

puits, atteignant quelquefois 20 yards de développement.

Les gangues sont ici de l'argile et du quartz, souvent parfaitement cristallisé, et d'un blanc légèrement laiteux.

La rencontre du quartz et d'un calcaire encaissant très-dur est un bon présage : quant à l'argile, c'est autour des masses de galène qu'on la trouve en abondance.

Outre la galène, il existe de la blende, peu de plomb carbonaté et de calamine.

## DEUXIÈME PARTIE.

### CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES.

Je me suis efforcé, dans la première partie de ce travail, de faire des principales mines du Flintshire une description aussi succincte qu'il est possible, et on a pu y remarquer l'absence de toutes considérations théoriques. J'avais à cœur d'exposer les faits tels que je les ai observés, c'est-à-dire dégagés soit d'idées préconçues, soit d'opinions inévitablement entachées d'incertitude, comme toutes celles qui dérivent d'une science en progrès. De cette façon, en admettant que je fasse fausse route dans les conclusions, qu'il me reste à déduire dans cette seconde partie, les quelques faits, groupés dans la première, resteront, je l'espère, comme faits acquis et en dehors de toute discussion.

Je sais d'ailleurs combien l'observation même est difficile, et j'ai eu mainte fois à constater l'inexactitude de faits, qui m'étaient avancés par des directeurs de mines ; aussi me suis-je contenté de rapporter ce que j'ai bien vu, et ce que j'ai pu examiner avec soin ; et si le peu de temps que j'ai passé dans le pays ne m'a pas permis de recueillir des informations plus complètes, je pense toutefois pouvoir y trouver des éléments suffisants

pour établir les lois principales de la formation des filons du Flintshire, et les âges relatifs des divers systèmes de filons et des terrains sédimentaires.

Publications  
des  
géologues anglais  
relatives  
à ce district.

Sauf la belle carte du *geological survey*, aucune publication, spécialement relative au Flintshire, n'a encore eu lieu; il n'en est guère parlé qu'indirectement dans quelques uns des nombreux travaux des géologues anglais sur les régions voisines et sur le calcaire carbonifère d'autres comtés.

Dans les bureaux du Geological survey, j'ai appris, qu'on ne possédait pas de coupes de cette région, ni même de sections des mines de houille, analogues à celles du South Wales Coal field et autres bassins; M. le professeur Ramsay, qui a été chargé du tracé de cette partie de la carte géologique, était absent lors de mon retour à Londres, et j'ai vivement regretté de ne pas pouvoir l'entretenir à ce sujet.

Cependant, il n'existe peut-être pas de contrée, qui plus que le pays de Galles, ait excité dans ces derniers temps l'attention des géologues.

Le *Silurian system*, *Siluria* de sir R. Murchison; les travaux de M. Daniel Sharpe et du professeur Sedgwick, publiés dans les journaux de la société géologique de Londres, ont dissipé l'obscurité dans laquelle était longtemps restée la stratigraphie des terrains de transition. Sans doute la matière était considérable et les difficultés assez grandes pour qu'on ne cherchât pas à reculer la limite des investigations; aussi a-t-on négligé de s'occuper du Flintshire.

M. le professeur Sedgwick, dans son esquisse du nord du pays de Galles, ne fait que glisser rapidement sur les chaînes calcaires des comtés de Flint et de Denbigh; et je ne sache pas qu'il ait fait paraître le travail que sir R. Murchison annonçait déjà dans le *Silurian system*

comme devant présenter le résultat des recherches de ce professeur, sur le bassin houiller et le calcaire carbonifère de ce district « aussi intéressant par la multiplicité des soulèvements, que par la richesse de ses mines. »

Il est néanmoins hors de doute que l'étude des terrains de transition doit faciliter celle du terrain carbonifère: les grands accidents, profondément imprimés dans le sol, devant nécessairement influencer sur les lignes de brisure des terrains postérieurement déposés et soulevés; j'oserai même dire qu'on ne peut espérer sortir des complications, en apparence presque inextricables, que présente cette région, qu'après avoir attentivement considéré les dislocations antérieures des contrées voisines.

Cette influence est parfaitement résumée dans quelques pages de M. Élie de Beaumont, que je crois devoir reproduire dans leur entier. (*Systèmes de montagnes*, p. 237.)

« D'assez nombreuses dislocations appartenant au système des ballons, se reconnaissent encore vers le nord du pays de Galles, où elles n'ont pas échappé à M. le professeur Sedgwick. Dans son mémoire intitulé : *Esquisse de la structure géologique du nord du pays de Galles*, ce savant géologue dit : « Les plus anciens mouvements dont nous trouvons des traces distinctes sont ceux qui ont déterminé la direction N.-E., et imprimé aux masses de montagnes une disposition ondulée..... »

» Plus tard, une série de *mouvements* imprima une disposition O.-N.-O., d'une part, à l'ancien système (de couches) à l'extrémité septentrionale des Berwyns, et, de l'autre, au système supérieur dans le Denbighshire. L'auteur attribue la confusion extraordinaire que présente la position des couches dans la chaîne des Berwyns, à l'intersection de deux lignes principales

Principales lignes  
de soulèvement  
dont l'action  
se manifeste  
au nord du pays  
de Galles.

d'élévation, qui se rapportent, l'une à l'ancien mouvement dirigé au N.-E., ou au N.-N.-E., et l'autre au mouvement subséquent dirigé à l'O.-N.-O. Probablement, ajoute-t-il, les conglomérats placés à la base du calcaire carbonifère du Denbighshire ont été formés après cette période.

» En indiquant, dans le pays de Galles, l'existence simultanée du système du Westmoreland et du Hundsrück, j'ai proposé implicitement de considérer le premier des deux mouvements comme composé de deux mouvements distincts dirigés respectivement suivant les deux directions N.-N.-E. et N.-E., que mentionne M. le professeur Sedgwick.

» Je présume que le second mouvement signalé par lui, doit aussi être subdivisé en deux autres se rapportant l'un au système du Morbihan, dirigé à peu près à l'O. 38° N., dont j'ai déjà indiqué ailleurs l'influence sur ces contrées, et l'autre au système des Ballons plus rapproché de la ligne E.-O; de sorte que la moyenne des deux directrices donnerait à peu près la direction O.-N.-O. à laquelle s'arrête M. le professeur Sedgwick. »

Et plus loin (page 317) :

« Dans son mémoire déjà cité (*Esquisse, etc.*) M. le professeur Sedgwick, après avoir parlé des dislocations anciennes qui nous ont déjà occupés, ajoute ce qui suit :

» À une époque plus moderne a été formée la grande dépression de la vallée de Clwyd. Vers le même temps et probablement avant la période du nouveau grès rouge, a été formée une ligne de grande dislocation marquée par un lambeau de calcaire carbonifère près de Corven, affectant les plongements des couches de toute la contrée intermédiaire jusqu'aux grands filons de Minera et, enfin, soulevant une grande masse de

calcaire carbonifère près de Caergwrle dans le Flintshire.

» Je crois que la première de ces deux dislocations se rapporte au système du Forez dont la vallée de la Clwyd affecte à peu près la direction et que la seconde appartient au système des Pays-Bas. »

On voit que, outre les systèmes du Longmynd, du Westmoreland et du Morbihan, antérieurs au dépôt de la série carbonifère, M. de Beaumont signale encore le système des Ballons, qui a mis fin à la période du Mountain limestone, et le système du Forez qui a terminé celle du millstone grit; c'est sur l'action de ces deux derniers systèmes de soulèvement que j'aurai à insister.

En jetant les yeux sur la grande carte du Geological Survey, on voit immédiatement des groupes nombreux de filons et de failles affectant l'une ou l'autre des deux grandes directions générales E.-O. et N.-S., que j'ai indiquées pour les quelques mines que j'ai passé en revue et pour les lignes de soulèvement et de brisure accusées dans le relief du sol; il y a une telle connexion entre les directions de ces deux systèmes de filons et celles des grands accidents, les filons sont souvent si puissants, si réguliers, si continus dans chacun d'eux, qu'on est conduit tout d'abord à rattacher leur formation aux grandes dislocations que le sol a dû éprouver à divers intervalles, et à rejeter l'hypothèse qui en ferait les mailles d'un réseau unique de fracture formé tout d'une pièce. Je sais que, de même que le soulèvement d'une chaîne de montagnes amène des ruptures à peu près normales à l'axe et donnant naissance aux vallées, de même la formation d'une brisure, telle qu'un filon, entraîne souvent des fentes à peu près normales à sa direction; et j'aurais même des exemples à en citer ici; mais je le répète, l'aspect seul de la carte, outre l'examen des faits

Connexion intime  
entre  
les grandes lignes  
et les directions  
de soulèvement  
des principaux  
groupes  
de filons.

que j'ai rapportés, suffit pour repousser toute hypothèse générale de cette espèce; et convaincre de la relation intime qui existe entre les phénomènes, qui produisirent *successivement* les filons E.-O. et les filons N.-S., et les grands mouvements du sol, qui terminèrent *successivement* les périodes de dépôt des divers terrains de la série carbonifère.

Par suite de cette conviction, je pense que l'étude des grandes dislocations de la contrée qui nous occupe, peut être basée, non-seulement sur l'inspection des accidents généraux de la surface, mais aussi sur l'examen des circonstances particulières que les filons présentent, et que, réciproquement, les principes qui doivent servir de guide dans cet examen ne diffèrent point des lois d'un ordre plus élevé, que les géologues ont assignées aux directions des systèmes de soulèvement, et que je viens de rapporter ci-dessus.

Les révolutions ultérieures du globe ont compliqué à la fois les grandes lignes superficielles et les lignes relativement minimales, empreintes à l'intérieur du sol; mais tandis que les premières ont été en s'effaçant journellement sous l'action destructive des agents extérieurs, les secondes ont conservé la pureté, la netteté du trait, qu'elles possédaient aux premiers moments de leur création; et lorsqu'il arrive, comme dans le Flintshire, que, sillonnées par la main des hommes, elles sont devenues abordables à l'observateur, elles présentent souvent les faits sous une échelle plus réduite, plus saisissable, qui permet, tout au moins de confirmer les lois générales, et quelquefois d'en déduire des conséquences jusque là inaperçues.

L'opinion de M. de Sedgwick, telle que l'a développée M. E. de Beaumont, est en tout conforme à mes observations; voici comment je la préciserai en ce qui touche

les filons métallifères dans le Flintshire et les terrains de sédiment qu'ils y traversent.

1° Le système des Ballons mit fin à la période du calcaire carbonifère, et c'est à lui qu'il faut rapporter l'époque de la formation des grands E.-O., dont on doit chercher la direction parmi celles, soit de ce système, soit du Morbihan renouvelé à ce moment; j'ajouterai même à ces deux directions celle du Finistère, dont l'angle avec celui du Morbihan est à peu près partagé en deux parties égales par la ligne du système des Ballons.

Pendant le dépôt du millstone grit, eut lieu le remplissage des E.-O., et ce fut aussi le temps de la plus grande abondance dans l'arrivée des matières métalliques.

2° Le système du Forez, en formant la vallée de la Clwyd, souleva les axes des grandes chaînes calcaires du Flintshire et probablement aussi celle du Denbighshire; alors se produisirent les grandes failles N.-S. dont les directions se retrouvent, soit dans celle de ce système, soit dans celle du Longmynd ou du Hunsdrück renouvelés; les minerais émis du sein de la terre avec une moindre activité, continuèrent cependant, durant le dépôt du terrain houiller proprement dit, à remplir un certain nombre des N.-S.

Le système du Nord de l'Angleterre, en terminant la période du Coal-Measure, dut déterminer dans la chaîne calcaire des fentes nouvelles presque parallèles aux anciens filons du Forez, dont la plupart furent rouverts à cette époque.

L'arrivée des minerais métalliques, si elle n'avait pas entièrement cessé, était devenue insignifiante.

Quant au système des Pays-Bas, je ne sache pas qu'il ait eu, sur la partie Nord du Flintshire, une action bien caractérisée.

3° Parallèlement aux considérations précédentes, et sans vouloir en faire une conséquence, je regarderai le calcaire carbonifère comme comprenant le chert et s'arrêtant aux shales, contrairement aux indications de la Geological Map qui place le chert dans le millstone grit. Le chert ayant partout subi l'action du soulèvement des Ballons, il sera nécessaire de prouver par des exemples stratigraphiques, qu'il doit être placé dans le Mountain limestone; à défaut de ces preuves, nous ne pourrions pas admettre, comme nous le faisons, que le système des Ballons a mis fin à la période du calcaire carbonifère.

Il sera utile d'énumérer, d'après leur âge relatif, les systèmes de soulèvement dont il a été question jusqu'ici, et dont nous aurons à constater les effets.

Quant à leurs directions, on aurait pu, eu égard au peu d'exactitude des plans de mines et à l'approximation assez grossière résultant de l'échelle de la carte géologique, se contenter des orientations que M. E. de Beaumont leur a assignées en les transportant à Milford, Pembrokeshire, extrémité sud-ouest du pays de Galles (1).

Pour plus de rigueur, les neuf premiers systèmes ont été transportés à Holywell (latitude N.  $53^{\circ}16'40''$ ; longitude O.  $5^{\circ}33'54''$ ), considéré comme point central de la région métallifère.

Le principe des calculs trigonométriques, usités pour ces transports, consiste dans chaque cas à abaisser d'Holywell sur la direction passant par le point d'observation (Vannes, Brest, etc.) un arc de grand cercle perpendiculaire à cette direction; puis à élever à Holywell un second arc de grand cercle perpendiculaire au

(\*) Élie de Beaumont. *Systèmes de montagnes*, page 832.

précédent; enfin à déterminer l'angle que fait, avec le méridien d'Holywell, ce second arc de grand cercle.— C'est à quoi l'on arrive par la résolution de 3 triangles sphériques rectangles.

J'ai appliqué le même genre de calcul au transport des grands cercles du réseau pentagonal qui correspondent respectivement aux neuf premiers systèmes (\*).

Le tableau suivant présente, en regard, les orientations aux lieux d'observation qui ont servi de données dans les calculs, et les orientations transportées à Holywell, tant des grands cercles de comparaison que des grands cercles du réseau. Une dernière colonne indique des différences angulaires entre les directions de ces deux dernières séries de cercles.

*Orientations des neuf premiers systèmes, et des grands cercles du réseau pentagonal qui leur correspondent.*

NOMS des systèmes.	LIEUX d'observa- tions	ORIENTATIONS de grands cercles de comparaison en ces divers lieux.	ORIENTATIONS transportées à Holywell.		DIFFÉRENCES.
			Grands cercles de comparaison.	Grands cercles du réseau.	
Vendée . . .	Vannes . . .	O. $22^{\circ}30'0''$ , 0 N.	$22^{\circ}46'15''$ , 58	désigna- tion. Tb $24^{\circ}12'34''$ , 91	$1^{\circ}26'19''$ , 33
Finistère . . .	Brest . . . .	E. $21^{\circ}45'0''$ , 0 N.	$20^{\circ}42'12''$ , 12	DT $19^{\circ}54'13''$ , 07	$0^{\circ}48'1''$ , 05
Longmynd . . .	Binger-Loch . . .	N. $31^{\circ}15'0''$ , 0 E.	$22^{\circ}26'0''$ , 42	Ta $21^{\circ}34'24''$ , 50	$0^{\circ}31'35''$ , 92
Morbihan . . .	Vannes . . . .	O. $38^{\circ}15'0''$ , 0 N.	$39^{\circ}1'34''$ , 21	IT $38^{\circ}16'11''$ , 55	$0^{\circ}14'35''$ , 79
Hundsrück . . .	Binger-Loch . . .	E. $31^{\circ}30'0''$ , 0 N.	$40^{\circ}6'28''$ , 58	Tc $38^{\circ}55'23''$ , 93	$1^{\circ}11'4''$ , 65
Ballons . . . .	Broken . . . .	O. $18^{\circ}45'20''$ , 0 N.	$7^{\circ}43'42''$ , 60	DT $7^{\circ}4'8''$ , 18	$0^{\circ}39'34''$ , 42
Forez . . . .	Centre du Fo- rez . . . .	N. $15^{\circ}0'0''$ , 0 O.	$20^{\circ}28'4''$ , 80	Da $21^{\circ}25'15''$ , 49	$0^{\circ}57'11''$ , 09
Nordde l'An- gleterre . . .	Yoredale . . .	N. $5^{\circ}0'0''$ , 0 O.	$6^{\circ}4'51''$ , 73	DH $6^{\circ}47'48''$ , 02	$0^{\circ}43'03''$ , 71
Pays-Bas . . .	Mons . . . .	E. $5^{\circ}0'0''$ , 0 N.	$10^{\circ}31'58''$ , 08	Da $12^{\circ}57'33''$ , 61	$2^{\circ}24'35''$ , 53

Appliquons ces considérations aux observations consignées dans la partie descriptive de ce travail, et voyons comment elles se justifient.

(\*) Voir la note à la suite du mémoire.

Antériorité  
des O.-E.

Le nom seul de cross-courses imposé aux filons N.-S. suffirait pour mettre hors de doute qu'ils traversent les E.-O.; en d'autres termes, qu'ils leur sont postérieurs. Cependant les rejets sont rares, ce qui n'étonnera pas, les plans des filons se rencontrant le plus souvent sous un angle voisin de l'angle droit.

A Merllyn mine où l'angle d'intersection est de 60°, le rejet est bien prononcé et atteint 10 yards; là, les deux filons sont puissants et bien réglés.

A Mitchell mine, la surface de glissement au mur du N.-S., et sur laquelle se dessine le spar de l'E.-O., montre nettement que non-seulement le N.-S. est postérieur, mais que le remplissage de l'E.-O., opération que les géologues regardent comme très-longue, était entièrement achevé lors de la formation du cross-course.

On sait d'ailleurs que la règle générale établie par Werner sur le croisement des filons admet un certain nombre d'exceptions; le filon croiseur se détourne quelquefois pour suivre le filon croisé, surtout lorsque celui-ci est puissant; mais dans des mines comme celles du Flintshire, où les gangues et les minerais ne sont pas de natures bien tranchées pour les deux systèmes de filon, on conçoit que des cas semblables de détournement du cross-course seraient difficiles à constater matériellement.

Ainsi que je l'ai déjà dit, à Hollway, quelques N.-S., faibles relativement au main-lode, sont rejetés de 2 à 3 yards au plus; et cela seulement dans le chert; je ne pense pas que ce fait ait aucune valeur contre les rejets de Merllyn et de Mitchell; à Hollway, en effet, le grand E.-O. ayant pu être accompagné de brisures normales qui ne semblent pas, eu égard aux matières qu'elles contiennent, avoir été remplies en même temps

que lui, ces lignes de rupture ont très-bien pu déterminer la position ultérieure des cross-courses qui, là comme à Milwr, sont disposés en éventail et convergent vers l'extrémité des grandes failles N.-S., dont nous aurons à signaler le prolongement régulier depuis ce point jusqu'au sud du Flintshire.

Quant à la mine de Bodlewyddan, les joints ne sauraient être regardés comme des cross-courses; et les faibles rejets que quelques-uns d'entre eux accusent à certains levels, ne sont pas de nature à être distingués de la dislocation, probablement unique, qui a produit l'ensemble des joints et de l'E.-O. La position de cette mine, à l'extrémité d'une sorte de cap calcaire, correspond assez bien aux effets irréguliers de brisement qu'a pu occasionner une force intérieure appliquée d'une manière presque immédiate en ce point; d'ailleurs une grande faille N.-N.-E., située à l'ouest même du filon, et complètement dépourvue de minerais, indique également que les joints, partie riche de la mine, n'ont pas le caractère de cross-courses. Pour ne plus revenir sur cette mine, j'observerai incidemment que le fait de la dureté de la roche, regardé comme de bon augure, paraît s'expliquer par la pression énorme qui, après le mouvement, a dû se trouver reportée sur les quelques points en contact entre les vides résultant de l'inégalité de la fracture.

Après avoir montré que les N.-S. sont postérieurs aux E.-O., il sera en quelque sorte superflu d'ajouter que la différence sensible dans la nature de leurs gangues principales, et surtout l'absence de blende dans les cross-courses, prouvent que les deux groupes de filons ne sauraient avoir été produits simultanément.

Afin de permettre de se représenter facilement les directions des principaux filons et failles du Flintshire,

Directions  
des deux systèmes  
de filons.

j'ai réuni ces directions dans un tracé graphique qui suppléera, je l'espère, à l'absence d'une carte, et fera mieux ressortir qu'une carte même leur mode de groupement (fig. 2, Pl. III).

Après avoir figuré les neuf premiers systèmes à Holywell, j'y ai transporté parallèlement à eux-mêmes les principaux filons, en traçant à la fois les directions déjà indiquées pour quelques mines, et la plupart de celles que l'on trouve sur la carte du Geological Survey.

Elles forment ainsi des *faisceaux rayonnants*. Chaque rayon numéroté correspond à un ou plusieurs filons, dont l'énumération sera donnée en grande partie ci-dessous au même numéro. Lorsqu'un filon présentait une ligne légèrement recourbée, je me suis contenté d'en prendre la direction moyenne; pour les filons importants et offrant un angle prononcé dans leur parcours, j'ai tracé les deux côtés de l'angle.

L'inspection du tableau graphique montre trois faisceaux, dont deux pour les E.-O., et un pour les cross-courses et les failles N.-S. Le groupe d'Holywell a en quelque sorte pour ligne médiane le système des Ballons; celui de Mold se bifurque et les rayons se portent d'une part vers le système du Finistère, de l'autre vers le système du Morbihan.

Enfin les cross-courses et failles sont entièrement compris dans l'angle d'une quarantaine de degrés, formé par le Forez et le Longmynd.

Le tableau explicatif suivant montre en détail les directions particulières plus spécialement affectées.

Il m'a paru inutile de le surcharger de mesures angulaires, qu'il serait en tout cas facile de relever.

*Filons Est-Ouest.***Groupe d'Holywell.**

1. Grand filon d'Hollway sur une longueur de deux milles en partant de l'est.  
Filon des Anciens à la même mine d'Holway.  
Partie du filon de Merllyn.  
Treize petits filons au sud de Milwr.  
Trois filons à l'ouest des précédents
2. . . . .
5. Filon de la mine de Mostyn.
4. Ouest du grand filon de Milwr.  
Garreg mine.
5. Deux filons à l'ouest de Pentre.
6. Est du grand filon de Milwr.
7. Filon au nord de Henblas.
8. Partie de Merllyn (ouest).  
Orsedd. mine.
9. Grand filon d'Holway, sur un mille à l'ouest.
10. Groupe de six filons près de Pwll-Melyn, etc.

Direction  
des Ballons.**Groupe de Mold.**

1. Trois grands filons au sud-est de Mold et à la latitude de Ruthin.
- 2 et 5. Sept grands filons au nord des précédents; notamment ceux qui vont de Pant-du à Llanferre, où ils pénètrent dans les couches de l'étage de Wenlock.
4. Au nord des précédents: mine de Maës-y-Safn.
5. South Mold mines.
6. Filon près d'Horsedd.
7. Filons entre South Mold et Coed-y-pandy mines.
8. Filons voisins de (9).
9. Coed-y-pandy et plusieurs autres.
10. Plusieurs filons au sud des précédents.
11. Filon immédiatement au nord des South Mold mines.

Direction  
du Morbihan.Direction  
du Finistère.**Cross-courses et failles Nord-Sud.**

1. Grande faille partant de Mostyn Colliery et se prolongeant sur 4 milles jusqu'à Milwr; forme d'abord la limite du millstone grit et du terrain houiller, traverse ce dernier où elle paraît, comme plusieurs autres, avoir été renouvelée, puis porte minéral entre Hollway et Milwr.

Direction  
du Forez.

Failles de Pict.

Partie de la grande faille principale du n° 8 au voisinage de la rivière Alyn.

- 2 et 5. Douze failles des environs de Mostyn et de Greenfield, au bord de la Dee.
3. Deux grands filons et une faille à l'est de ces filons, tous trois se prolongeant sur plus de 2 milles de Brynford hall à Halkin.
4. Grand faille de 4 milles de longueur entre Moël Flagnallt et Trinity Ch., à l'est de la faille n° 8.
6. Quatre failles au nord de S' Marks dans le terrain houiller, bord de la Dee.
7. Failles limitant le millstone grit et formant le bord est du lambeau de terrain houiller, qui remonte à l'ouest de Moël-y-Gaer.
8. Direction moyenne de la grande faille de plus de 12 milles de longueur qui, partant de Milwr dont elle forme un cross-course (tenant minerai jusqu'à 3 milles au sud) se prolonge jusqu'à la latitude de Ruthin, après s'être infléchi vers l'Alyn suivant la direction propre du Forez. Cette faille est une de celles que j'ai signalées à Maës-y-Safn comme entièrement improductive et amenant d'énormes quantités d'eau.  
Grande faille depuis l'Alyn jusqu'à Cat-hole.  
Autre faille entre les deux précédentes et coupant le filon des South Mold mines.  
Filon au nord de Moël-y-Crio.  
Grande faille située au nord-ouest de Mostyn et partant de Lodge.
- 9, 10 et 12. Failles de Bagillt : douze autres failles au sud de Bagillt. Une d'elles formant la limite du terrain houiller et du millstone grit.
11. Un des cross-courses au sud de Milwr prolongé au n° 14.
12. Grande faille depuis Brickfields et se prolongeant sur 4 milles de longueur dans le terrain houiller.
13. Grande faille partant d'Hawarden au sud et formant sur 4 milles la limite est du terrain houiller et du Millstone grit.
14. Un des cross-courses entre Milwr et Hollway.

Je laisserai de côté ce qui est relatif au groupe des

Direction  
du nord  
de l'Angleterre.

mines du nord, et j'indiquerai brièvement quelles sont les directions des principales chaînes du calcaire carbonifère.

De Brynford Hall à Prestatyn, la ligne de hauteurs est à peu près parallèle à la Dee, c'est-à-dire qu'elle court O. 30° N. ; mais elle doit être décomposée en une série de grands chaînons, moyennement dirigés O. 15° à 25° N. ; de Brynford jusqu'au sud de Moël-y-Gaer, nous retrouvons la longue chaîne des Halkin Mountains orientée N. 20° O. ; une chaîne secondaire s'en détache près des mines de Penryhlenblas et continue jusqu'à Nannerch, près de la base du calcaire carbonifère, se dirigeant exactement comme le Longmynd N. 22° E.

Au sud de Mold, une série de chaînons N.-S., orientés aussi comme le Longmynd, sont séparés par des lignes parallèles au système du Morbihan : j'ai dit, à propos de Maës y-Safn, que le filon E.-O. formait souvent une faille considérable dans la montagne, dont l'escarpement n'était alors que le plan du filon prolongé à l'extérieur.

Dans l'intervalle entre les South Mold mines et Coedy-Pandy, j'ai déjà indiqué la direction du Finistère comme prédominante ; on la reconnaît à l'ouest jusque dans la chaîne silurienne.

C'est à la latitude d'Holywell que la bande calcaire du Flintshire présente sa plus grande largeur ; depuis cette ville jusqu'à l'étage de Wenlock, sur lequel le calcaire repose, on compte près de 5 1/2 milles de l'est à l'ouest, et 3 1/2 milles dans la direction N.-N.-E., qui est celle de l'inclinaison générale des couches calcaires ; à l'est d'Holywell, le Millstone grit, représenté à sa partie supérieure par le gravel, s'avance jusqu'à la Dee, formant une sorte de cap qui sépare le bassin houiller de Mostyn de celui de Bagillt, Flint, Mold, etc.

Directions  
des chaînes  
calcaires.

La zone calcaire va en se rétrécissant au sud, et à partir de la latitude de Mold, sa largeur moyenne n'est plus que 1 1/2 mille, et celle du millstone grit de 1 mille; les couches calcaires plongent N.-E.

Tandis que la région nord, à peu près limitée par un polygone de hautes chaînes dont les sommets sont Prestatyn, Brynford, Penyrhembles et Nannerch, n'offre à proprement parler qu'un vaste plateau sillonné par des crevasses qui versent les eaux au sud-est; la partie sud est accidentée, et en quelque sorte découpée suivant les directions anciennes du Longmynd, du Finistère et du Morbihan.

Il n'y a rien là qui doive étonner si l'on observe que, même en négligeant la légère différence dans le sens du plongement des couches, la puissance totale de la formation calcaire doit rester dans la région sud bien au-dessous de ce qu'elle est dans celle du nord. On conçoit en effet que là où les assises, soit calcaires, soit millstone grit, ont présenté la moindre résistance, l'influence des soulèvements anciens et des brisures déjà existantes sous les dépôts récents ait dû prédominer; et que, là où les couches ont le plus grand développement, on doit retrouver les traces les plus évidentes des forces, qui agissent dans des directions spéciales et nouvelles, pour mettre fin au dépôt de ces terrains.

Il est donc naturel que les directions des systèmes des Ballons et du Forez dominant surtout dans le district d'Holywell, où nous les avons reconnues être celles des principaux filons métallifères et des grandes lignes de faille.

J'ai évité à dessein jusqu'à présent de parler des accidents du sol aux environs de Talacrè et de Talargoch: là, en effet, nous rencontrerons des circonstances toutes spéciales et qui serviront à fixer la limite, très-délicate

Limite supérieure  
du calcaire  
carbonifère.

à déterminer, entre les périodes du calcaire carbonifère et du millstone grit.

Avant d'y arriver, examinons à ce point de vue les environs d'Holywell, qui peuvent, quoique avec moins de certitude, nous donner une première idée de cette limite.

A Holway et Milwr, nous avons vu la série complète: white, black, blue, chert, shale et gravel, en concordance parfaite; mais le relief seul de la surface du sol conduit immédiatement à distinguer les coteaux de gravel (vallée du Well) et de shale (Dingle), de la grande formation calcaire; quant au chert, l'aspect de la contrée ne suffit point pour trancher la question; cependant les carrières que j'ai indiquées au sud-ouest de Brynford montrent le chert relevé fort au-dessus des shales et gravel, et surmontant, comme à Holway et Milwr, la série complète des calcaires avec lesquels il concorde.

Dans la mine d'Holway les rapports du filon avec les roches encaissantes fournissent un premier indice, si l'on se souvient de la règle pratique en vertu de laquelle les mineurs de ce district arrêtent les travaux au contact du shale proprement dit, et qui met hors de doute l'absence du minerai de plomb dans cette roche.

Quant à moi, j'admets que le shale ait été traversé par les cross-courses, mais je le crois postérieur aux est-ouest.

Le chert a été jusqu'ici le gisement le plus important de la galène, et c'est dans le chert que les filons de Milwr, Holway, Talacrè, etc., ont été les plus productifs; cependant je conçois qu'il puisse sembler possible que les grands est-ouest aient coupé le shale et y aient disparu presque entièrement par suite d'un amincissement subit, car nous avons vu à Milwr le main lode,

et à Holway un cross-course presque supprimés dans les schistes du blue, moins solides il est vrai que ceux du shale.

Mais dans ces deux mines les filons ne se conduisent pas, au contact du chert avec le shale comme aux points où ils arrivent au *shaly blue*.

A Holway, j'ai dit que la galène, après s'être ramifiée dans le chert, plongeait sous les couches du shale, et que la mine présentait là d'immenses excavations dont le toit était formé sur une grande portée par le shale dans lequel on ne distinguait aucune fissure : circonstances qui semblent naturelles si l'on veut bien admettre que l'Est-ouest, formé après le dépôt du chert et avant celui du shale, a été rempli pendant cette dernière période, et que les vapeurs ou les produits métalliques condensés, étant en excès, ont débordé du filon dans la mer, où se formait le shale; mer par parenthèse fort calme sur ce point, eu égard à la régularité et à la solidité des couches schisteuses.

A Milwr, le vide observé dans le shale au-dessus du filon me semble justifié par la même considération. J'ai déjà dit que le schiste était brisé sans aucun désordre, et que la fente ne se prolongeait pas au sommet de l'ouverture triangulaire. Si le filon eût été postérieur au shale, il me semble évident que, par suite du glissement qui se serait produit, les parois se seraient rapprochées ou tout au moins disloquées, dans le cas où, comme ici, aucune matière ne serait venue les maintenir écartées. En regardant le filon comme antérieur au shale, on conçoit que la force énorme d'expansion, que l'on sait résulter de la cristallisation des substances minérales dans les filons, ait suffi, en écartant les parois du chert, pour ouvrir légèrement le shale, entraîné dans ces deux mouvements en sens inverse

par son adhérence avec le chert; c'est ce que confirme la présence de quelques cristaux de spar trouvés dans le vide en question, et les fumées grasses qui le tapisent et ne peuvent provenir que de l'action immédiate des gaz chauds sur la partie carbonée du shale, ou de la condensation des huiles bitumineuses enlevées par les gaz aux couches inférieures du blue et du black.

Quant aux cross-courses, l'effet mécanique de la nature schisteuse des parois qui s'éboulent lors de la rupture du sol, joint à leur pauvreté relative, explique assez pourquoi ils ne sont pas poursuivis dans le shale. J'ai dit qu'à Holway les anciens, en suivant un N.-S., s'étaient arrêtés dans le blue, en croyant avoir affaire au shale, quoique le filon fût encore visible; ce fait prouverait qu'ils savaient : 1° qu'un filon N.-S. pouvait couper les shales; 2° que les shales pouvaient être en stratification discordante avec les assises inférieures, c'est-à-dire reposer indistinctement sur le chert, le black ou le white limestone. Si nous admettons leur ignorance à cet égard, nous verrons bientôt que c'est l'opinion qu'ils auraient dû avoir.

Le fait de la réouverture des cross-courses riches de Merlyn, Holway, Milwr et autres, rendu incontestable par la présence dans le filon même de lits d'argile interposés et de nombreux fragments des roches encaissantes, empêcherait d'ailleurs de chercher à fixer leur âge par la considération de la limite supérieure de la fracture.

En passant du groupe d'Holywell à celui du nord, nous quittons la régularité pour l'accident, une baie calme et profonde pour un cap battu par la tempête, et sur les rives duquel Talacre et Talargoch devaient former deux falaises abruptes, enfouies peu à peu sous les dépôts schisteux et les graviers du millstone grit.

Jusqu'ici nous avons seulement reconnu d'une manière certaine la liaison intime qui existe entre le shale et le gravel, et qui, mise en évidence par les caractères généraux du pays, conduit à les regarder comme deux termes d'une même série; mais nous n'avons encore trouvé partout que des concordances de stratification, et il est évident que les *discordances* peuvent seules déterminer les limites des formations.

Abandonnant la forme hypothétique pour éviter les lenteurs qu'elle entraîne, je dirai :

A Talacre, le main lode fut, comme le string (travaillé au jour dans le chert), le résultat de la rupture du chert, qui eut lieu dans le même temps et les mêmes conditions ici que pour tous les E.-O.; ici, comme ailleurs, le filon fut productif parce qu'il eut le chert au toit et au mur; les roches durent être naturellement relevées dans cette région par le soulèvement des Ballons, de manière à avancer et faire promontoire dans les mers du millstone grit. D'après cette circonstance et l'inclinaison sud du filon, les eaux, battant avec violence cette côte escarpée, détruisirent à la longue une partie de la roche au mur du filon, et cette roche venant à surplomber dut se détacher plus facilement suivant cette ligne de rupture antérieure que suivant toute autre; la fracture fut loin d'ailleurs d'être nette et régulière. Sur certains points, le chert laissa des fragments adhérents au mur, sur d'autres la salbande chertreuse fut seule retenue; ailleurs, enfin, elle fut enlevée et le filon même attaqué par les flots et le choc des galets; les schistes se déposèrent plus ou moins régulièrement, et lors du mouvement qui transforma la nature du dépôt des couches du millstone grit en gravel, les courants rapides à cette embouchure enlevèrent des débris du schiste plus ou moins brisé, et c'est alors que

se forma le mélange de ces débris avec les sables; alors aussi les fragments du filon furent roulés, et par suite de leur grande densité, les morceaux de galène restèrent près du rivage et produisirent ce *round ore* que l'on trouve aujourd'hui au milieu du gravier.

Incontestablement, les mouvements ultérieurs du sol firent éprouver aux dépôts du millstone grit et au chert un mouvement relatif, qui inclina au mur les feuilletés des schistes originairement horizontaux; les eaux suintèrent dans l'intervalle des deux roches, et transformèrent parfois le shale déjà broyé en argile noirâtre.

Quelles que soient les causes de ces circonstances de détail, ce que nous avons vu ailleurs de l'effet général des schistes sur l'appauvrissement du filon ne permettra pas de douter que la fracture soit antérieure au shale. Comment, d'ailleurs, admettre la présence au mur, et sur près de 48 yards, de terrains que nous avons reconnus partout supérieurs au chert? Si c'était par suite d'un de ces cas anormaux quelquefois observés dans le rejet des couches, que seraient devenus au sud les 48 yards de shale et gravel? Pour s'en rendre compte, on devrait recourir à ces hypothèses de vastes dénudations souvent invraisemblables, et ici plus que partout ailleurs. Encore rien de tout cela n'expliquerait-il le fait évidemment caractéristique de la présence du *round ore*.

Passons à Talargoch et envisageons les choses au même point de vue.

Ici plus de chert, même pas de calcaires foncés, mais seulement la partie supérieure du white limestone, sur et contre laquelle le shale est en contact immédiat; mais ici encore destruction partielle de la roche jusqu'à 150 yards au toit du filon.

C'est ainsi qu'au 150 yards level, on rencontre au

toit tantôt le shale, tantôt des fragments de calcaire, soit adhérents au filon, soit légèrement séparés. Dans ces fentes étroites, nous avons constaté des débris des schistes qui s'y sont introduits, soit pendant la période même de leur dépôt, soit lors des mouvements postérieurs auxquels on doit rapporter la nature éminemment ébouleuse du shale.

Enfin le *round ore* abonde aussi dans le gravel.

J'observerai encore que, si la couche du chert faisait partie du millstone grit, on devrait la retrouver sous le shale, au 150 yards level, au toit du filon; tandis que le shale repose directement sur le calcaire blanc.

La *discordance* dont je n'ai trouvé aucun exemple entre le chert et la formation de limestones, car, partout où j'ai constaté le chert, j'ai reconnu en même temps la présence au-dessous de lui de la série complète, blue, black et white, existe donc nettement entre le shale et l'ensemble des terrains chert et limestones divers.

L'absence des assises supérieures à Talargoch n'a rien que de naturel; car, en suivant le sens de l'inclinaison des couches, on rencontre l'aberddor dans la première vallée au nord de Talargoch et au delà le chert, en continuant dans la même direction. Le diagramme (*fig. 25, Pl. V*) représenterait à peu près l'état des choses.

Avant de présenter une coupe du calcaire carbonifère dans le Flintshire, il sera bon de résumer ici les caractères principaux de cette série, en rappelant les variations remarquables de ses termes lorsqu'on passe du sud au nord de l'Angleterre.

La monographie du mountain limestone dans le Yorkshire, publiée il y a une vingtaine d'années par John Phillips, professeur de géologie au collège royal de

Londres, contient à ce sujet des détails fort intéressants en même temps que des aperçus d'une certaine généralité sur les autres régions carbonifères.

D'autres ouvrages en assez grand nombre s'occupent de la même question; sir Roderick Murchison y a consacré un chapitre de Siluria; M. Sedgwick a fait paraître un mémoire sur la chaîne carbonifère de Penyghent à Kirby-Stephen (Westmoreland) (\*); MM. Griffiths et Coy ont décrit le calcaire carbonifère en Irlande, etc. (\*\*).

Je ne puis que mentionner ces travaux, dont le caractère est d'être trop succincts ou trop étendus, ou, si l'on veut, soit trop vagues, soit trop minutieux, pour qu'il soit à propos d'en rendre compte ici; mais j'extraurai de Phillips quelques passages qui nous permettront d'assigner au Flintshire la place qui lui revient dans la formation du mountain limestone, formation anglaise par excellence, comme le dit l'auteur.

Dans le Yorkshire, on peut déjà observer deux séries principales, toutes deux recouvertes par le groupe du millstone grit (page 19).

<i>Série du Nord.</i>		<i>Série du Sud.</i>	
Groupe calcaire supérieur de 1.000' d'épaisseur et très-complexe.	{ Calcaire. Houille. Flagstone. Calcaire. Shale.	Groupe calcaire supérieur relativement mince et simple.	{ Shales. Calcaires feuilletés. Calcaire noir.
Groupe calcaire inférieur.	{ Partiellement divisé par des shales, etc.	Groupe calcaire inférieur.	{ Presque indivis.

Le diagramme (*fig. 26*) représenterait le passage d'une série à l'autre, et peut, d'ailleurs, être appliqué à l'Angleterre tout entière, dont les terrains de

(\*) *Trans. Geol. soc. London*, nouvelle série, vol. IV.

(\*\*) *A synopsis of the characters of the carbonif. limest. of Ireland.* 1844.

limestone sont situés à peu près symétriquement par rapport au Yorkshire.

Page 19 : « Dans le pays de Galles et dans la plus grande partie de l'Angleterre, comme au sud du Yorkshire, il n'y a pas lieu de diviser le mountain limestone en divers groupes; ce n'est, en effet, qu'une masse calcaire unique et puissante qui ne passe pas graduellement aux dépôts de houille supérieurs, et n'alterne point avec eux; sur une grande partie de l'Irlande, on ne voit qu'une épaisse assise calcaire, mais au voisinage d'Enniskillen apparaît un étage supérieur.... Au nord de l'Angleterre, le passage du calcaire au terrain houiller devient d'une complication extrême, notamment au nord de l'Aire et de la Ribble. »

Phillips donne le nom de *yoredale-rocks* au groupe supérieur de la série du nord; après avoir décrit ce groupe avec détail, il ajoute (page 184) : « Nous devons conclure que les termes calcaires des *yoredale-rocks* ont leur maximum vers l'est, les couches argileuses au sud et au sud-ouest, et les grès au nord et au nord-ouest. Le *type argileux du sud* se prolonge dans le Derbyshire, le Staffordshire, le Cheshire et le *Flintshire*, et réapparaît avec une grande force au nord de l'Irlande; avec une épaisseur de schistes moindre, il est représenté, au sud du pays de Galles, dans le Somersetshire et la Belgique. »

Le *Flintshire* se trouve donc par la nature des assises calcaires, comme par sa latitude, dans une situation intermédiaire; participant de la série du sud par un puissant étage de calcaire inférieur, à peine divisé par quelques lits de schistes argileux fossilifères, et du groupe supérieur, par les couches du black et du blue, expression simplifiée des *yoredale-rocks*.

Une ligne telle que AB donnerait à peu près la posi-

tion relative occupée par la formation calcaire de ce comté.

Quant aux variations des termes des *yoredale-series*, Phillips signale comme *inconstants* la houille, le minerai de fer et le chert (page 184) : « Le charbon est très-abondant dans les districts du nord, là où les grès sont prédominants; le chert devient de plus en plus rare à mesure que l'on se dirige de Craven vers le nord et finit par s'y perdre. »

Nous avons vu l'importance du chert dans la formation du *Flintshire* et la silice, aussi bien que l'argile s'y rencontre sous divers états dans tout l'ensemble du terrain carbonifère.

Ainsi, dans le *white limestone*, j'ai indiqué la présence de lits argileux et de couches de rognons chertoux; il en est de même dans le *black*, où argile et silice sont en même temps intimement mêlés au calcaire; puis l'argile domine dans les schistes du *blue*, et la silice devient à son tour l'élément unique du chert supérieur.

On chercherait vainement d'ailleurs quelque régularité dans les allures des couches supérieures au *white limestone*; il semblerait que le désordre, souvent manifeste aux affleurements d'une couche, se trouve en quelque sorte reproduit sur une plus vaste échelle à cette limite sud du groupe calcaire supérieur, dernier témoin des *Yoredale-Rocks*. Le chert forme réellement de vastes amas, des rognons gigantesques, plutôt que des couches réglées. Les schistes du *blue*, tantôt puissants, tantôt réduits à quelques pouces; le *black limestone* qui ne contient de calcaire hydraulique (*aberdor*) que sur un certain nombre de points, ne présentent pas une régularité beaucoup plus saisissable.

Je ne reproduirai pas ici les coupes partielles que j'ai données ci-dessus à propos des mines et des carrières,

et j'indiquerai seulement les limites des épaisseurs des assises principales; les nombres suivants m'ont été en partie communiqués par M. William Francis, *captain* à la mine de Brynford-Hall.

*Coupe des terrains carbonifères.*

*Terrain houiller*, composé en grande partie de schistes, avec quelques couches de grès et 61' de houille en 12 couches. A Mostyn plus de . . . . . 300 yards.

(A Bagillt, plus de 250 yards, aussi avec 12 couches de houille.)

*Millstone grit, gravel et shale*, atteignant à la grande faille de Panty-frith . . . . . 400 yards.

*Mountain limestone.*

Groupe supérieur. Epaisseurs maxima.	} 350 yards.	Chert. . . . . 200
		Blue . . . . . 50
		Black. . . . . 100

Groupe inférieur. White ou mountain limestone, proprement dit, atteignant . . . . . 700 yards.

Cette coupe serait donnée, par une section dirigée N.-E.-S.-O., et pour une région de quelques milles, tant au nord qu'au sud d'Holywell. Quant aux environs de Mold, j'ai signalé la présence du grès à la base du millstone grit, mais je ne saurais entrer dans aucun détail à cet égard.

Je n'ai point l'intention d'essayer ici d'analyser l'ouvrage du professeur Phillips, mais il me semble intéressant d'en rapporter encore quelques fragments, propres à démontrer que les considérations, auxquelles je me suis livré sur les directions des lignes de dislocation du Flintshire, ne sont point gratuites ni même particulières à ce comté, mais applicables, au moins en partie, à la plupart des autres districts carbonifères.

Il dit page 119, Périodes géologiques: « Nous arrivons enfin à examiner une question qui, dans ces dernières années, a acquis une haute importance, je veux dire les époques géologiques des mouvements de dislo-

cation. Il n'y a qu'une manière de la résoudre. Nous devons voir parmi les couches celles qui dans les mêmes circonstances *sont* disloquées, et celles qui ne le *sont* pas. Les premières donnent le minimum, les dernières le maximum de l'antiquité géologique du mouvement, qui n'a pu se produire qu'entre ces limites d'erreur. »

Avant d'aller plus loin, je ferai remarquer qu'en cherchant à voir quelles *sont* les assises disloquées, au lieu de chercher à reconnaître celles qui l'ont été, on est conduit à superposer tous les mouvements à peu près parallèles, et à reculer outre mesure les limites d'erreur; c'est ce qui ne manque pas d'arriver à l'auteur dans les lignes qui suivent.

» La branche Tynedale de la Penine fault (*fig. 27*), interrompt à Cullercoats la direction des couches du magnesian limestone, et ne s'est donc pas produite avant le dépôt de cette roche; nous ne pensons pas qu'elle disloque le red Sandstone de la plaine de Carlisle; son âge semble donc convenablement fixé (Système des Pays-Bas).

» La Penine fault de Brampton à Kirby Lonsdale ne disloque nulle part le new red Sandstone (le magnesian conglomérat de Kirby Stephen n'est généralement pas disloqué sur cette ligne, un seul cas s'est présenté à Brough), elle dérange les schistes de transition, la totalité du calcaire et le millstone grit, et par suite, *peut* être du même âge que la Tynedale fault, mais ne peut pas être plus récente ni en différer beaucoup (Forez).

» La branche de Craven disloque, slates, limestone gritstone et coalmeasures; le conglomérat magnésien de West-Houses est dans le même cas que celui de Kirby Stephen; cette faille paraît donc du même âge que la Penine, et il est très-probable que les diverses parties de cette faille furent, sinon contemporaines, au

moins furent postérieures au terrain houiller et produites au commencement de la période salifère (Système des Ballons, en partie renouvelé par celui des Pays-Bas).

» Le système de Ribblesdale est du même âge ou à très-peu près, car il disloque limestone, gritstone et coal, et son prolongement dans le Lancashire vers Ormskrik ne brise nulle part le red sandstone. Le système du Derbyshire est du même âge, ainsi que celui de la vallée de Choyd (Système du Forez, renouvelant celui du Longmynd, et renouvelé par celui du Nord de l'Angleterre).

» Les vues, précédemment émises sur la dépendance des grandes failles (faults) et de filons métalliques avec les axes d'élévation de Ribblesdale et la Penine fault, ne permettent pas de douter que leur âge soit le même. Les failles des districts houillers de Derbyshire, Yorkshire, Durlham et Northumberland sont pour la plupart antérieures au new red sandstone, magnesian limestone et Rothe todtte liegende, et si ces failles, comme les filons métalliques, dépendent des grands axes de soulèvement, nous sommes forcés de conclure que les Craven et Penine faults sont plus anciennes que la branche Tynedale, etc., etc.»

C'est à cette conclusion assez vague, il faut l'avouer, que Phillips revient à la fin du chapitre; il termine en déclarant qu'il lui est impossible de clore cette discussion sans exprimer son étonnement sur ce fait, qu'un problème, aussi compliqué que celui de la détermination de l'âge d'un grand système de convulsion, ait jamais pu être regardé comme facile à résoudre! Croit-il l'avoir résolu? Peu importe, mais il me semble que si au lieu de directions moins qu'approchées, il eût recueilli des observations plus précises, et si surtout il eût tenu

compte des effets produits par les soulèvements antérieurs, il fut arrivé à resserrer pour chaque dislocation ses limites d'erreur; et j'aime à penser que ses conclusions eussent été cette fois conformes à celles que je me suis permis d'indiquer entre parenthèse.

On voit que Phillips n'a point méconnu la liaison intime, qui existe entre les directions des soulèvements et des filons métalliques; je ne le suivrai pas dans l'étude des filons du Yorkshire; nous y retrouverions encore les east and west veins, généralement les plus riches, et les cross-courses nord-sud; le tout avec des modifications locales plus ou moins profondes.

Il ne me reste pour terminer la seconde partie de ce travail qu'à résumer les faits principaux propres à caractériser l'allure des filons des deux systèmes dans les divers districts du Flintshire; j'arriverai par une transition naturelle à indiquer, dans la troisième partie, les méthodes de recherche et d'exploitation qui leur sont appliquées.

Nous avons reconnu que tous les est-ouest étaient plus ou moins métallifères, mais parmi les nord-sud nous avons distingué les cross-courses du groupe d'Holywell, présentant une richesse encore notable, des grandes failles du sud complètement improductives.

Ayant démontré que les âges relatifs des trois sortes de ruptures se rapportaient à ceux des systèmes des Ballons, du Forez et du nord de l'Angleterre, nous justifions l'hypothèse, que nous avons faite en regardant l'émission des minerais métalliques, comme ayant eu sa plus grande activité à partir de l'ouverture des est-ouest, et ayant décliné pendant le dépôt du terrain houiller, pour cesser entièrement, ou à peu près, lors de la formation des grandes failles du système du nord de l'Angleterre.

Remplissage  
et allures  
des filons.

Epoques  
du remplissage.

Effets des roches  
encaissantes.

Considérons actuellement les rapports qui existent entre la richesse du filon et la nature des roches encaissantes.

Les causes physiques paraissent avoir eu le plus d'influence, et la *dureté* de la roche semble une condition inséparable de la richesse.

Le chert et le white limestone sont les deux gisements proprement dits; les mines les plus vastes et anciennement les plus riches du pays, Holway et Milwr, se sont presque exclusivement étendues dans le chert, mais aujourd'hui les filons, à peu près épuisés dans cette roche, sont poursuivis dans le calcaire blanc, et ce n'est pas sans motif que l'on espère y retrouver l'abondance passée, car les deux mines actuellement les plus productives, Talargoch et Maes-y-Safn sont entièrement dans le white limestone.

C'est dans la manière dont chaque assise s'est comportée lors de la rupture, que l'on doit trouver l'explication de la richesse variable du filon dans chacune d'elles.

Les couches solides, brisées nettement et supportées par quelques points, après le glissement relatif plus ou moins étendu des parois l'une sur l'autre, ont laissé de grands vides favorables au dépôt des matières de filon.

Les schistes du blue et les roches sans consistance se sont, au contraire, éboulés dans la fente avant que le remplissage ait eu le temps de se produire; aussi avons-nous constaté que les filons disparaissent presque complètement dans ces roches.

Le chert, qui réunit en même temps les propriétés de dureté et de fragilité, s'est trouvé sillonné par les branches multiples de fractures, souvent uniques dans le calcaire. Il en est résulté un plus grand espace livré

aux minerais et un grand nombre de ces points de jonction entre strings, dont nous allons avoir à considérer l'effet favorable.

Quant au shale proprement dit, on ne saurait rien avancer de général sur son influence; cependant, lorsqu'il repose sans désordre sur le chert ou le white limestone, on trouve quelquefois, immédiatement au-dessous de lui, des sortes de nappes de matières métalliques.

Deux filons, l'un E.-O., l'autre cross-course, venant à se rencontrer, il y a ordinairement enrichissement de l'un et de l'autre dans le voisinage du point de croisement.

Pour ce qui est du cross-course, ce fait paraît assez naturel, si l'on observe que les matières intérieures disposées pour l'émission devaient se trouver encore accumulées à la base des anciens orifices de sortie, et se seront répandues tout d'abord avec plus de facilité dans les zones des cross-courses voisines des anciens filons; mais cette considération ne saurait s'appliquer aux E.-O., et on ne peut guère expliquer leur enrichissement en ces points, que par un remaniement moléculaire de leurs minerais, remaniement que les géologues attribuent aux effets électriques. Dès lors, la même cause a dû agir à la fois sur les deux filons. Elle seule permet de rendre compte de la teneur en argent reconnue plus grande, à Holway près des croisements, et à Talacre à l'ouest du filon, près de sa jonction avec le string.

C'est encore celle que l'on pourrait invoquer pour expliquer l'enrichissement à peu près constant aux jonctions sous un angle aigu de deux branches à peu près parallèles appartenant ou non à un même filon; cependant l'existence seule d'ouvertures plus larges en ces

Influence  
des croisements  
et des jonctions.

points suffirait pour y justifier de l'abondance du minéral.

Allures propres  
d'un filon.

En effet, la richesse est presque partout en rapport avec la puissance, et c'est là un fait général, d'accord avec ce que nous avons dit ci-dessus des diverses roches encaissantes, et de plus reconnaissable dans une même roche. Il faut cependant excepter les géodes qui ne contiennent que quelques cristaux de galène.

Aussi les mineurs aiment-ils l'irrégularité; comme exemple le plus frappant, je citerai Bodlewyddan dont le main lode présente deux épontes parfaitement réglées et une faible richesse, tandis que les *joins* donnent des amas considérables de galène. Comme état des parois, on préfère un mur propre (clean) à un mur rugueux (coarse).

Gangues  
et minerais.

Les gangues dominantes sont la chaux carbonatée et l'argile jaune; souvent le filon ne contient que ces deux substances, ou l'une d'elles seulement. L'argile abonde surtout dans les cross-courses.

Je ne hasarderai même pas d'hypothèse sur les relations qui peuvent exister entre l'aspect de ces gangues et le voisinage du minéral, pas plus que sur les modifications qu'éprouve souvent la roche aux points riches du filon: roche et gangue sont alors qualifiées de bearing. C'est ainsi qu'à Holway la chaux carbonatée blonde et le chert bleuâtre et translucide sont dits bearing; à Talargoch, c'est le spar blanc jaunâtre et mat qui est préféré; à Talacre, l'on redoute les salbandes cherteuses, en quelque sorte imprégnées par le filon, qui ne contient plus alors que du spar. J'ai indiqué aussi la présence d'une espèce de gossan dans diverses localités, et celle des minéraux fluatés à Deep-Level et Moël-y-Gaer; ces derniers sont inconnus tant au sud qu'au nord de ces points. Le quartz ne se ren-

contre qu'à Bodlewyddan; mais déjà à Talargoch, j'ai signalé la silice pulvérulente, contenant quelques cristaux de calcaire spathique et quelques paillettes de galène, et remplissant toute la partie supérieure d'un des strings. Ce n'est guère que par dissolution et entraînement dans la vapeur d'eau qu'elle a pu être amenée et déposée en cet endroit, où jaillissait sans doute un de ces geysers, analogues à ceux de l'Islande actuelle, et dont M. E. de Beaumont a indiqué l'existence probable et les effets sur le remplissage des filons.

La vapeur d'eau et l'eau elle-même ont eu, d'ailleurs, une part incontestable, tant dans le dépôt des matières des filons, que dans leurs modifications ultérieures. Les suintements chargés les uns de soufre, les autres d'oxyde de fer, qui peignent d'une façon si pittoresque le mur de 180 yards level du Talargoch, sembleraient, sous une échelle infiniment petite, indiquer un de leurs modes d'action.

Peut-être que par la décomposition des pyrites, au contact de l'eau aérée, il se forme des sulfates qui, réagissant sur les sulfures, donnent de l'oxyde de fer et de l'hydrogène sulfuré; celui-ci irait se décomposer plus haut dans d'autres parties des fissures intérieures, et le soufre résultant serait amené de là par infiltration, dans des canaux distincts de ceux qui charrient l'oxyde de fer. Je n'attacherai, d'ailleurs, aucune importance à ces suppositions, qui ne portent que sur des faits de détail trop délicats pour qu'il m'appartienne de les discuter.

S'il existe quelques lois relativement au gisement des divers minerais métalliques, suivant le système auquel le filon appartient et la nature des roches ou des gangues, les observations que j'ai recueillies sont trop peu nombreuses pour qu'il m'ait été donné de les soup-

çonner. La galène est de beaucoup le minéral principal; je ne reviendrai pas ici sur les divers états (cristaux, masses, round ore) qu'elle affecte; je rappellerai seulement l'aspect plus lamelleux et plus brillant qu'elle présente dans les E.-O. que dans les N.-S., et l'état dur et grenu (steel lead) propre à la galène la plus argentifère. La blende se rencontre tantôt à la région supérieure des filons (à Holway), tantôt et plus souvent elle abonde dans la profondeur (Talacre, Talargoch). Le plomb carbonaté est blanc et terne, en grains généralement arrondis. Sauf dans quelques mines (Jamaica), il ne forme qu'un minéral secondaire; il en est de même de la calamine.

### TROISIÈME PARTIE.

#### PRODUCTION DES MINES.

##### § 1. Administration. Exploitation des mines. Vente des minerais.

Pour un voyageur qui a séjourné dans le Cornwall, les mines du Flintshire, envisagées au point de vue technique, n'offrent, il faut l'avouer, qu'un bien faible intérêt. Ce sont les mêmes procédés généraux, dépouillés de tous les perfectionnements, que des conditions de travail plus favorables rendraient pour la plupart inutiles, sinon nuisibles. Ainsi, le sol se prête au percement et au soutènement des puits et galeries; le voisinage de la houille permet de simplifier les machines d'épuisement, en supprimant toutes les dispositions relatives à l'économie du combustible. Le gisement et la nature du minéral, qui n'est guère disséminé dans la gangue et dont la teneur en argent est peu élevée, conduisent à diminuer la quantité totale des matières à

extraire, et à rendre l'opération du lavage tout à fait élémentaire.

L'infériorité du Flintshire est encore bien plus manifeste sous le rapport du personnel des mines, et le mineur du Cornwall laisse loin derrière lui le mineur gallois. On rencontre cependant quelques *captains* qui sont venus imprimer aux exploitations du comté la marche de celle du sud; mais, soit l'influence du changement de pays, soit plutôt le résultat de leur éducation toute pratique et de leurs connaissances purement locales, il faut presque toujours de longues années à ces émigrés du Cornwall pour comprendre leur nouveau terrain (*understand the ground*). Encore sont-ils, sauf exception, de beaucoup supérieurs aux indigènes.

L'exploitation et l'administration des mines du Cornwall ont été assez bien décrites (\*) pour que je ne m'écarte pas du but de ce mémoire en essayant de traiter à nouveau un sujet aussi important. Je me contenterai de résumer ici quelques indications propres à caractériser le travail des mines dans le Flintshire, et à rapprocher quelques données numériques, qui fixeront les idées sur l'importance de ce district métallifère.

Les compagnies sont organisées suivant deux modes : Administration. quelques-unes sont simplement représentées par un directeur (*manager*), d'autres, en grand nombre, suivent le système du *cost-book*, si répandu en Angleterre. La partie administrative de toute entreprise a une telle importance au point de vue des résultats financiers, elle réagit tellement sur toutes les autres opérations, que je crois convenable de rappeler en quelques lignes le principe du *cost-book*, avant d'indiquer comment on l'applique dans le comté.

(\*) Combes. Mémoire sur l'exploitation des mines des comtés de Cornwall et de Devon (*Annales des mines*, 3<sup>e</sup> sér., t. V).

Cost-book  
principle.

Le *cost-book principle* peut se définir : une association dont les conditions sont renfermées dans un livre de comptes (*cost-book*) ; c'est un contrat dans la forme ordinaire des associations commerciales, applicable aux travaux de mines par association d'*adventurers*. Voici ses principaux caractères :

1° La conduite de la mine est sous le contrôle et la direction immédiats de tout l'ensemble des *adventurers*, ou de celui ou de ceux qu'ils députent à cet effet.

2° Les pouvoirs et obligations de chaque *adventurer* sont proportionnels à sa part d'intérêt dans l'association, qui est soumise aux lois de la majorité, ou, comme dit l'anglais Pryce, « les décisions prononcées, non par les voix mais par les actions (*shares*), sont exécutoires pour tout le corps (*the whole body*) des *adventurers*. »

3° Toutes les transactions de l'association ont lieu en espèces, à moins que des nécessités ne s'y opposent.

4° Les comptes de l'association sont réglés et les appels de fonds (*calls*) ou les dividendes (*dividends*) déclarés à de courts intervalles ; habituellement tous les deux mois.

5° Enfin, un registre complet des *adventurers* est tenu de manière que les conditions dans lesquelles se trouve chacun d'eux puissent être connues, non-seulement par ce registre, mais aussi prouvées par l'écriture (*hand-writing*) de l'*adventurer*, ou par des documents en puissance de l'association.

Comme il y aurait impossibilité à ce que tous les *adventurers* s'occupassent constamment de la mine, ils nomment en assemblée générale (*meeting*), soit un comité de direction (*committee of management*), soit un caissier (*purser*).

La durée des fonctions du *purser* n'est pas fixée et il peut être révoqué au *meeting* suivant ; le comité est

nommé pour un an ; il choisit dans son sein un secrétaire (*secretary*).

Dans le cas d'un comité, deux *auditors* nommés, l'un par les *adventurers*, l'autre par le comité, assistent à toutes les délibérations, et vérifient quelques jours à l'avance les comptes qui seront présentés par le comité à l'assemblée générale.

On délègue encore trois *trustees*, sortes de fidéicommissaires, qui peuvent être pris en dehors des *adventurers*, et qui représentent l'association dans les questions de terrains, habitations, etc.

*Meetings*. Le comité doivent convoquer six fois par an le *meeting* des *adventurers*. C'est là que sont déclarés les appels de fonds ou les dividendes ; le dividende est payé chaque fois que, depuis le *meeting* précédent, les bénéfices ont dépassé 5 p. 100.

*Abandon*. Les membres seuls du comité sont autorisés à abandonner leurs actions ; ils doivent, dans ce cas, déposer leurs titres et déclarer par écrit qu'ils renoncent à toute réclamation ultérieure.

*Transfert*. Le transfert se fait librement, moyennant un droit de 1 shilling pour l'inscription sur le *cost-book*, et 1 shilling pour la copie délivrée à l'acquéreur.

*Déchéance*. La déchéance a lieu de fait si, quinze jours après la déclaration de l'appel de fonds, le versement n'en est pas effectué.

*Garanties*. Tout *adventurer*, parfaitement libéré, peut requérir le *purser* ou le *secretary* de lui communiquer les livres et écritures.

Le *purser* doit fournir une caution de... et la garantie d'une autre personne pour une somme égale.

Les officiers (*captains*) de la mine sont incapables de remplir en même temps les fonctions, soit de *purser*, soit de membre du comité.

Le nombre des parts (shares), qui dans le Cornwall est toujours une puissance de 2, est ici tout à fait quelconque; on en jugera par les exemples suivants :

			En 1851-52.	
			Avances par share.	Prix du marché.
Merllyn . . . . .	5.000 shares, liv. st.		2 15/0	4 0/0
Orsedd . . . . .	2.500 — —		1 5/0	2 15/9
Whiteford. . . . .	6.400 — —		0 2/0	1 10/0
Ancienne Milwr. . . . .	100 — —		7 10/0	8 15/0
Brynfordhall (*). . . . .	100 valeur initiale		5 0/0 (*)	
Jamaica . . . . .	76 — —		3 13/6	

Les colonnes de droite montrent que la quantité d'argent avancée sur chaque part est très-variable d'une année à l'autre, et dépend à la fois du nombre de shares, de l'ancienneté des travaux, et d'une infinité de circonstances particulières. Quant au prix du marché, il correspond évidemment à la prospérité plus ou moins grande dans laquelle la mine se trouve.

Royalty.

On sait qu'en Angleterre le régime des concessions n'existe pas; mais la propriété foncière étant en moyenne douze fois plus étendue que sur le territoire français, les compagnies n'ont à traiter qu'avec un petit nombre de propriétaires. Ces sortes de contrats ne sont conclus que pour un temps limité; ainsi la compagnie de Merllyn, qui date de 1849, s'est assuré le droit d'exploitation pour vingt-un ans. La redevance, *due* ou *royalty*, est assez variable; à Merllyn elle va à un dixième du produit brut; aux nouvelles mines de Brynford-hall et Herward United, qui reprennent l'ancienne Milwr, la royalty est d'un douzième pour la partie supérieure à la galerie d'écoulement, et d'un quinzième pour celle dont l'épuisement se fait par machines.

Un fait seulement pour montrer l'inconvénient qui

(\*) Brynford hall C° ne date que de janvier 1855.

peut résulter pour les mines du défaut de protection où les laisse la loi anglaise.

A Talacré, une galerie d'écoulement avait été percée sur une longueur déjà considérable, lorsque le propriétaire d'un champ qu'elle devait traverser, à une grande profondeur du reste, s'opposa avec obstination à la poursuite du travail; force fut de commencer un nouvel adit à l'autre extrémité de la mine: celui-ci était déjà poussé assez loin, lorsque le propriétaire récalcitrant vint à mourir. Son héritier, ne faisant plus opposition, on jugea plus économique de reprendre les anciens travaux en abandonnant le nouvel adit; là, on en fut quitte pour une perte supportable, mais que fût-il arrivé si tout le terrain en contre-bas de la mine eût appartenu à un seul propriétaire aussi peu accommodant que celui que je viens de signaler?

Les recherches de mines, aussi bien que la marche générale des travaux, sont fondées dans chaque localité sur l'allure des filons et l'observation des circonstances d'enrichissement ci-dessus indiquées.

Dans le white limestone, les filons sont souvent apparents à la surface, là où la roche est à nu: le plan du filon étant déterminé par quelques fouilles à l'affleurement, on fonce un puits le plus souvent au toit (hanging wall).

Dans le chert ou le blue shale, la trace du filon correspond souvent au jour à une dépression du sol que l'on peut attribuer dans le premier cas à la moindre dureté des matières du filon, et dans le second aux éboulements des parois schisteuses.

On reconnaît le filon par de petits puits d'essai traversant le toit, et l'on est guidé dans la position de ces puits par la direction (range) du filon, la plupart du temps déterminée par les travaux du voisinage. Si l'on

Exploitation.  
Recherches.

connaît quelques croisements, on s'en placera évidemment le plus près possible.

Les puits de recherche, excepté dans le shalé et le gravel, sont circulaires et se soutiennent sans boisage à une assez grande profondeur. Le percement dans un bon calcaire ne revient qu'à 3 liv. par fathom, soit 40 à 50 francs le mètre courant, prix certainement peu élevé.

Aménagement.

L'aménagement de la mine consisté, comme toujours, en une série de niveaux dont l'espacement dans le plan du filon n'est pas bien régulier et varie de 15 à 20 yards, suivant la richesse de la zone; il en est de même pour la distance observée entre les cheminées (winzes).

Défaut de prévoyance.

Le plus grand défaut, et le plus général dans le pays, est de négliger l'ouverture et la reconnaissance du filon (open the ground) sur une étendue suffisante pour assurer l'avenir de l'exploitation. Je crois qu'il faut en chercher la cause dans le système administratif des compagnies: il est naturel d'ailleurs de trouver quelque inconvénient en regard des avantages évidents du Cost-book. L'usage de ne faire d'appel de fonds qu'en cas d'urgence, et de se hâter de répartir les dividendes dès qu'ils atteignent 5 p. 100, l'obligation en un mot de régler fréquemment les comptes, obligation qui fait tout le mérite du système, doit entraîner l'habitude de vivre en quelque sorte au jour le jour, et détourner des justes préoccupations qu'implique l'avenir d'une grande entreprise de ce genre.

Lorsqu'on est assez heureux pour rencontrer quelque point extrêmement riche, il en résulte aux meetings suivants la distribution d'un fort dividende; pour peu que la spéculation s'en mêle on se gardera de l'affaiblir, en consacrant une partie notable à des recon-

naissances de terrain, car la réputation d'une mine ne s'établit pas à Londres sur autre chose que sur les dividendes. Mettons même de côté la spéculation: pense-t-on que la majorité des aventuriers refuse en quelque sorte de toucher une part de ce qui lui est offert: l'argent comptant est chose précieuse dans l'industrie et les aventuriers se persuaderont facilement que la mine est riche à perpétuité, et qu'il est inutile de faire des frais pour s'en assurer. Lorsque la chance tourne, raisonnablement inverse; et après quelques appels de fonds, dégoût rapide des aventuriers. De là le renouvellement fréquent des sociétés, chacune d'elles faisant à son début les travaux qu'aurait dû exécuter celle qui la précédait: de là aussi, chômage, inondations, désastres de toute sorte pour les mines!

Dans les mines dirigées par des capitains du Cornwall, les puits de service sont quelquefois inclinés dans le plan du filon, mais partout ailleurs on s'astreint avec raison à la verticalité. Le prix que j'ai donné plus haut comme limite inférieure du revient par mètre courant est, dans certains cas, décuplé; ainsi à Talacre, on donnait 14 liv. par yard, soit 400 francs par mètre pour foncer un puits de 9' de diamètre dans le chert et avec de grandes difficultés, il est vrai, par suite de l'abondance des eaux.

Les galeries de niveau ont moyennement 6' de hauteur sur 5' 1/2 de large, soit 1<sup>m</sup>,80/1<sup>m</sup>,10.

L'exploitation des massifs (pitchis) a lieu d'après la méthode anglaise des gradins renversés; mais il est plus exact de dire qu'on prend le minerai en *montant*, et là où on le trouve.

Le travail du mineur est plus ou moins facile; dans le filon même, le pic suffit le plus souvent; car le spar coupé de veines d'argile n'offre pas une grande résistance. La journée de travail n'est que de six heures; la

Travail  
du mineur

quantité de travail effectuée dans ce temps est un élément trop variable pour être évalué ici, soit en cube d'avancement, soit moins encore en minerai extrait. Pour fixer un maximum, je dirai seulement qu'à Talargoch, où l'on avait vendu, pour le mois de juillet 1855, 610 tonnes de minerai lavé, on a 320 ouvriers inscrits, soit près de 2 tonnes de minerai marchand par homme et par mois.

D'ailleurs, les ouvriers ne sont pas astreints à des postes réguliers et successifs; on n'exige d'eux que d'être présents aux chantiers six heures sur vingt-quatre, et on préfère même le travail du matin.

Sous le rapport du mode de paiement, nous retrouvons ici les *tutworkmen* et les *tributors* du Cornwall; je ne reviendrai pas sur cette question longuement développée dans le Mémoire précité; mais j'observerai qu'ici, comme ailleurs, les directeurs de mines ne prennent de tributurs que pour les entreprises qui n'offrent qu'un bénéfice minime, ou sinon encore *incertain*; si on a quelque point d'un massif où le filon se montre assez bien, on essaye le terrain (*try the ground*) en donnant pour un mois cette besogne en tribut; au jour, les déchets de lavage, par exemple, seront aussi livrés aux tributurs. Le *tutwork* comprend non-seulement le percement, sur dimensions fixées, des puits et galeries, mais aussi l'exploitation du filon dans les parties bien réglées ou donnant des signes certains d'un prochain enrichissement; l'intérêt immédiat du *tutworkman* n'est plus d'extraire et de relever la totalité du minerai, et la surveillance des chefs doit être plus active à cet égard; mais la compagnie ne craint plus de s'engager à des conditions qui, dans le laps d'un mois, pourraient devenir par trop profitables à des tributurs.

Le tribut n'est pas fixé comme dans le Cornwall à

tant de shillings par liv. st., mais à tant par tonne de minerai marchand; d'ailleurs, pour le minerai d'étain, l'usage du Cornwall étant de donner tant de shillings par livre sterling sur un prix fictif (60 liv. ster., 40 liv. ster., etc.) de la tonne de black tin, on voit qu'il revient au même de convenir de tant par tonne, sans s'inquiéter du prix de la tonne. Ce tribut, très-variable d'ailleurs, a pour limites 6 à 7 liv. ster. dans les places pauvres et 15 shillings dans les points les plus riches; le prix moyen de la tonne de minerai lavé étant environ en ce moment 14 liv. ster. 10 sh.; le tribut varie de  $1/2$  à  $1/20$ .

L'écartement de ces limites explique pourquoi les compagnies hésitent souvent à prendre des tributurs, là où le terrain, difficile au moment du *setting*, présente cependant des indices favorables. Il est arrivé au printemps de 1855, à Talargoch, que des tributurs étant, au cinquième jour de travail, tombés sur des masses énormes de galène, gagnèrent chacun 100 liv. ster. = 2.500 fr. pour leur mois.

En évaluant à 30 shillings par semaine le gain d'un mineur dans des conditions ordinaires, soit 120 sh. = 6 liv. ster. par mois, on voit que dans une mine florissante, le tribut serait approximativement 3 liv. ster. par tonne de minerai, soit  $1/5$  environ du prix de vente, chiffre peu élevé assurément. Encore le mineur a-t-il à se fournir de tout; poudre, chandelle, outils, et à payer l'extraction (*drawing*).

Le roulage se fait à peu près partout au moyen de brouettes; à Talargoch, cependant, des chemins de fer sont établis à plusieurs levels.

L'extraction a lieu par bennes en tôle (*kibbles*) et par puits; à Maes-y-Safn, on a de longs plans inclinés qui atteignent le fond de la mine; on emploie les machines à vapeur (type du Cornwall à double effet) con-

Roulage,  
extraction,  
épuisement.

curremment avec les manéges à chevaux (whims) dans les grandes exploitations; les manéges sont exclusivement en usage dans les petites.

La situation des mines sur le flanc des montagnes calcaires leur permet généralement d'évacuer leurs eaux par une galerie d'écoulement, dont l'effet est d'autant plus utile que le lavage des minerais ne nécessite pas, comme cela arrive souvent dans d'autres districts, le volume total des eaux de la mine, c'est-à-dire l'élévation de ces eaux jusque sur le carreau du *Dressing floor*.

J'ai indiqué l'existence dans certaines mines de ces adits, à une profondeur et sur une largeur considérable, et leur influence sur le taux de la Royalty.

Les machines à vapeur d'épuisement sont toutes dans le type du Cornwall, et ne méritent pas que nous nous y arrêtions.

J'ai remarqué outre les machines, à Maes-y-Safn, une grande roue à augets de 51' de diamètre sur 9' entre les couronnes, et à Talargoch une grande machine à colonne d'eau, la seule du pays, et dont voici les principaux éléments :

Appareil moteur.		Pompes.	
Chute effective. . . . .	200'	Hauteur de la colonne. . . . .	180 yards.
Piston. {	Diamètre . . . . .	Diamètre des tuyaux {	20" 1/2 en haut.
	Course . . . . .		24" au bas.
Soit une pression de 86 lbs par pouce carré de la surface du piston.)		Diamètre des soupapes. 24"	
Nombre de coups de piston par minute . . . . .	5		

La machine est revenue à 50.000 francs; l'ensemble, machine, pompes, puits, etc., à 375.000 francs.

Lavage.

Sauf dans le cas du mélange de la blende avec la galène, l'opération du lavage est très-simple. La gangue calcaire se sépare facilement par suite de sa légèreté spécifique, et comme elle est plutôt favorable que nuisible à la fusion du minerai, on ne tient pas à s'en débarrasser d'une manière absolue; la faible teneur en

argent permet d'enrichir beaucoup le minerai sans grandes précautions dans les manipulations.

Par des triages et cassages, on arrive rapidement à deux classes, le riche et le moyen, qui, seul, est broyé aux cylindres ou pilé aux marteaux, puis lavé.

Les appareils de lavage ne sont que de simples caissons établis le plus souvent sur le carreau de la mine; quelquefois même pour les mines peu étendues, on se contente de pratiquer au fond de la vallée de petits barrages d'où les eaux arrivent dans des fosses plus ou moins irrégulières. Le minerai y est lavé assez imparfaitement; à la fin de l'opération, on recourt aux tamis à main (sieves) où la séparation se fait par le même principe que sur les cribles à secousses (jiggers) du Cornwall; à Talacre, on s'est servi avec succès de toile ordinaire pour former le fond de ces tamis.

Lorsque la galène est très-pure, on fait dans le riche même un triage des plus beaux fragments, qui sont vendus pour alquifoux aux potiers, à 5 livres sterling par tonne au-dessus du cours.

Le reste du riche est broyé et mêlé avec soin aux produits du lavage, de manière à n'avoir qu'une seule qualité de minerai sur laquelle sera pris l'échantillon. La substitution, dans les mines principales, des cylindres broyeurs aux marteaux à main, a abaissé notablement le revient de la préparation mécanique. Telle qu'on la pratique encore généralement, elle conduit à une dépense de 7 à 8 shillings (8'75 à 10 fr.) par tonne de minerai marchand. Le lavage n'occupe guère que quelques jours dans le mois, de sorte qu'en mesurant le travail trois jours avant la fin, on peut chaque mois, à trois jours près, liquider le compte des ouvriers, l'usage n'étant pas de conserver en mains comme garantie un mois de payé, ainsi que cela se pratique au sud.

Les résidus (wastes) qui doivent subir un second la-

vage sont traités ultérieurement et réunis aux produits du mois suivant.

On se fera une idée de la simplicité des opérations mécaniques, par ce fait que le minerai peut être mis en vente huit jours après son extraction.

La prise d'essai (sample), par les agents des compagnies de fondeurs, a lieu deux jours seulement avant le ticketing; l'essai est fait sur 10 ounces (300 grammes environ); les teneurs, soit en plomb, soit en argent, constatées par les divers essais, ne sont point communiquées lors de la vente publique.

Celle-ci se tient tous les quinze jours à Holywell, alternativement dans chacun des deux premiers hôtels de la ville.

Je n'insisterai pas sur le mécanisme ingénieux des ticketings, mais je joins ici une feuille remplie à celui du 9 août 1855, à propos de laquelle j'entrerai dans quelques explications. (Voir le tableau page 437.)

Les grandes mines mettent en vente tous les mois, les petites tous les deux mois seulement. Sur 15 lots, formant un total de 705 tonnes, la compagnie de Talar-goch (Maesyrrerwddu et Coetia Llys) en présentait à elle seule 8, montant à 610 tonnes.

Les compagnies de fondeurs sont au nombre de 4 seulement.

1, Eyton, de Llannerchymor. — 2, Mather et C<sup>o</sup>, de Bagillt. — 3, Newton, Keates et C<sup>o</sup>. — 4, Walker Parker et C<sup>o</sup>, de Dee Bank.

Encore les usines Mather sont-elles fermées en ce moment.

Les offres des fondeurs sont basées, indépendamment des besoins de l'usine, sur la pureté du minerai qui doit être, autant que possible, débarrassé de la blende, sur sa teneur en plomb, qui est moyennement de 83 à 84 p. 100, et sa teneur en argent qui ne dépasse pas une moyenne de 7 onces par tonne, tantôt descendant

au-dessous de 5 onces, tantôt atteignant 9 onces comme à Holywell level, et même 12 onces comme à Talacre.

Quant à l'influence de la teneur en argent sur le prix du minerai, les agents des mines savent qu'il n'est rien accordé jusqu'à 5 onces par tonne, quantité d'argent couvrant les bénéfices et les frais des opérations relatives à l'extraction de ce métal; à partir de 5 onces, les fondeurs haussent leur offre d'environ 5 shillings par once et par tonne, l'once d'argent valant (en 1853) 5 shillings 6.

Outre les minerais de plomb, le Flintshire produit une certaine quantité de minerais de zinc, qui, depuis la fermeture de l'usine de Greenfield, sont vendus à Carlisle aux prix actuels de 2 liv. st., 18/0 pour la blende et 2 liv. ster. pour la calamine.

Enfin, je rappellerai qu'il existe, en dehors des exploitations métalliques, de nombreuses carrières, les unes pour chert destiné aux poteries, les autres pour chaux grasse et hydraulique d'excellente qualité.

## § 2. Statistique.

J'ai réuni ci-après quelques données numériques en deux tableaux; le premier présente, détaillée par mine, la production du Flintshire en minerai de plomb, et plomb métallique et argent extraits de ce minerai pendant les années 1853 et 1854; le second offre pour la même période les chiffres analogues correspondant à la production partielle de chaque comté; les totaux représentant la production générale de la Grande-Bretagne.

Ces nombres peuvent être regardés comme à très-peu près exacts; car ils proviennent des documents officiels, recueillis avec soin par M. Hunt, chargé de la statistique minérale au Muséum de géologie pratique à Londres. Je n'ai fait que les mettre en regard les uns des autres

pour en tirer quelques conséquences relativement à l'importance du Flintshire comme district métallifère.

Je n'insisterai pas sur le premier tableau qui s'explique de lui-même; je ferai cependant remarquer que les quelques mines, dont il a été question dans ce travail, se trouvent parmi les plus productives, c'est-à-dire à peu près parmi les plus étendues du pays.

1° Produits des mines du Flintshire en minérai de plomb, plomb métallique et argent.

NOMS DES MINES.	ANNÉE 1853.			ANNÉE 1854.		
	Minérai.	Plomb.	Argent.	Minérai.	Plomb.	Argent.
Talargoch : — Maes- r-rwddu, Coetia Lllys	1.204 0	927 0	8.340	1.910 0	1.490 0	10.430
Maes-y-Safn . . . . .	1.055 0	823 9	2.970	1.423 0	1.117 0	3 071
Talacre . . . . .	279 0	215 0	1.840	631 0	466 0	4.250
Bodelwyddan . . . . .	382 0	268 0	1.740	360 0	252 0	1.938
Holywell level . . . . .	355 0	275 0	2.470	210 0	168 0	1.512
Deep level . . . . .	667 0	500 0	2.000	540 10	411 0	1.644
Pen-y-beoblas . . . . .	134 10	101 0	565	153 0	107 0	642
Mertlyn . . . . .	417 0	312 3	2.800	177 0	133 0	1.120
Orseid . . . . .	»	»	»	82 0	62 10	510
Jamaica . . . . .	236 15	167 12	566	55 13	36 4	»
Milwr . . . . .	218 0	163 0	1.140	12 10	9 5	50
Bwlchwyn . . . . .	460 0	354 0	»	305 0	235 0	»
Fronlawnog . . . . .	101 0	73 0	380	66 0	47 0	177
Buttersfield . . . . .	»	»	»	20 0	15 5	135
Long Rake . . . . .	»	»	»	83 15	63 0	220
Penybryn . . . . .	52 15	40 10	160	78 0	60 0	210
Tolben . . . . .	»	»	»	16 0	12 0	98
Balkin hall . . . . .	28 0	21 0	120	23 0	17 0	90
Belgrave . . . . .	14 0	11 0	30	90 15	70 0	265
Bryn Steddfod . . . . .	»	»	»	71 0	53 0	145
Cheney Rake . . . . .	48 10	36 0	140	56 10	42 0	»
Mostyn . . . . .	»	»	»	6 0	4 0	»
Caylen . . . . .	»	»	»	49 0	36 0	110
True blue . . . . .	»	»	»	12 5	10 0	45
Garregboeth . . . . .	30 0	22 0	120	10 0	7 15	40
Pant-y-pwllwr . . . . .	20 15	15 0	60	17 17	13 0	»
Old Rake . . . . .	»	»	»	18 5	62 10	510
Pantyne . . . . .	»	»	»	20 5	15 0	»
Cwt Malitia . . . . .	»	»	»	13 5	10 0	»
Tymaen . . . . .	43 10	33 0	297	75 10	57 0	500
Top-y-rhes . . . . .	»	»	»	28 5	21 10	»
Pant-y-fryth . . . . .	150 10	115 0	690	41 0	31 10	186
Loch . . . . .	18 5	13 5	106	»	»	»
Pantuwyn ou Mold mine . . . . .	212 0	159 0	775	99 0	73 0	350
Plantations . . . . .	69 5	51 0	510	26 10	19 10	140
Diverses, au-dessous de 10 tonnes . . . . .	197 15	147 5	775	216 0	161 0	200
Totaux . . . . .	6.394 0	4.854 0	28.514	7 027 0	5.408 0	28.588

2° Tableau de la production de la Grande-Bretagne en minérai de plomb, plomb et argent.

NOMS DES MINES.	ANNÉE 1854.			ANNÉE 1853.			Onces d'argent par tonne.
	Minérai.	Plomb.	Argent.	Minérai.	Plomb.	Argent.	
	tons.	tons.	ozs.	tons.	tons.	ozs.	
Cornwall . . . . .	7.460	5.005	179 675	6.680	4 690	165 670	35
Devonshire . . . . .	4.139	2.612	119 288	3.014	1.798	106 236	40
Cumberland . . . . .	9.890	6.662	42 020	8.343	5.619	13 730	9
Durham . . . . .	22 329	16 669	78.577	19.287	15.041		
Northumberland . . . . .	383	289	80	518	393	71.700	12
Westmoreland . . . . .	7.034	4.948	33.418	6.552	4.909		
Cardiganshire . . . . .	901	666	»	921	692	30.567	15
Carmarthenshire . . . . .	7.027	5.408	28 588	6.394	4.854	28 514	7
Denbighshire . . . . .	1.824	1.363	1.455	1.665	1.299	2.200	
Montgomeryshire . . . . .	1.184	891	3 238	1.518	1.056		
Mertionethshire . . . . .	98	63	»	59	45	4.229	6
Derbyshire . . . . .	7.554	4.508	»	7.681	4.939		
Shropshire . . . . .	3.797	2.765	184	3.508	2.528		
Yorkshire . . . . .	9.244	6.476	»	18.308	6.868		
Glamorganshire . . . . .	62	45	352	20	13		
Ireland . . . . .	3.069	2.210	18.096	3.310	2.452	17.664	10
Scotland . . . . .	1.753	1.219	5.426	2.799	1.919	5.860	8
Ile de Man . . . . .	2.800	2.137	52.262	2.460	1.829	47.105	20
Totaux . . . . .	90,553	64,005	562,659	85,037	60,904	493,475	

Le second tableau indique, en comparant la production du Flintshire à celle des autres comtés de l'Angleterre, qu'il occupait :

Pour le plomb . . . . . { En 1853, le 6<sup>e</sup> rang, sur 19 districts.  
En 1851, le 4<sup>e</sup> rang, sur 19 districts.  
Pour l'argent . . . . . { En 1853, le 6<sup>e</sup> rang, sur 15 districts.  
En 1851, le 7<sup>e</sup> rang, sur 15 districts.

Le plomb est produit en plus grande quantité par les contrées suivantes :

Durham et Northumberland,  
Yorkshire,  
Cumberland.

Et en quantité à peu près égale par le

Cornwall,  
Cardiganshire,  
Derbyshire.

Quant à l'argent, le Flintshire est inférieur à :

- Cornwall,
- Devon,
- Durham et Northumberland,
- Ile de Man,
- Cumberland,
- Cardiganshire.

Établissant la comparaison entre la production du Flintshire et celle des Trois-Royaumes, nous avons :

	PLOMB.				ARGENT.			
	1853.	1854.	Totaux.	Rapport.	1853.	1854.	Totaux.	Rapport.
	tons.	tons.	ozs.		tons.	tons.	ozs.	
Flintshire . . . . .	4.854	5.408	10.262	1	28.514	28.588	57.102	54
Grande-Bretagne.	60.904	64.005	124.909	12	496.475	562.659	1.059.134	1000

En admettant pour valeur actuelle de la tonne de plomb, 23 liv. st. = 579<sup>f</sup>,83, la Grande-Bretagne a fourni pour 1844 :

- 1° Une masse de plomb valant . . . . . 36.902.019<sup>f</sup>,15  
Somme dans laquelle le Flintshire entre pour environ . . . . . 3.000.000,00
- 2° Une masse d'argent, qui, au prix de 5 sh./6, = 6<sup>f</sup>,82, l'once anglaise, atteint le chiffre de 3.837.154,38  
La part du Flintshire étant environ . . . . . 200.000,00

Ticketing for lead ores at the White Horse Hotel Holywell, 9th August 1855.

MINES.	TOTAL quantities.		1 J. P. EYTON. Llanorchymor.				2 MATHER AND CO. Bagillt.				3 NEWTON, KEATES AND CO. Bagillt.				4 WALKER, PARKER AND CO. Dee Bank.								
	Tons	Tons	lir. st.	s. d.	Lead.	Silver.	Tons	lir. st.	s. d.	Lead.	Silver.	Tons	lir. st.	s. d.	Lead.	Silver.	Tons	lir. st.	s. d.	Lead.	Silver.		
1 Maesyrrwddu . . . . .	123	"	14	5	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	10	6	"	"	123
2 Id . . . . .	123	"	14	11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	7	6	"	"	"
3 Id . . . . .	28	"	14	11	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	11	6	"	"	123
4 Id . . . . .	20	"	15	5	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	15	8	"	"	"	28
5 Id . . . . .	20	"	16	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	16	6	6	"	"	"
6 Id . . . . .	43	480	15	8	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	15	10	6	"	"	43
7 Coetia-Llys . . . . .	"	"	130	14	18	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	14	"	"	"	"
8 Maesyrrwddu . . . . .	"	"	10	15	31	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	18	6	"	"	"
9 Holywell-Level . . . . .	"	"	10	14	7	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	5	"	"	"	"
10 Brynford-Hall . . . . .	"	"	24	14	5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	12	"	"	"	10
11 Dairhiew p. Eegle . . . . .	"	"	6	11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	10	"	"	"	"
12 Tylwyd . . . . .	"	"	20	13	11	6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	12	10	"	"	"	6
13 Bwchgwyn . . . . .	"	"	5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	14	7	6	"	"	5
14 Steddfod . . . . .	"	"	20	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	11	15	"	"	"	20
15 Caylen p. Seney . . . . .	"	"	705	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	245 1/2

## NOTE DU MÉMOIRE PRÉCÉDENT.

M. l'ingénieur des mines Laugel, attaché aux travaux de la carte géologique de France, a eu l'obligeance de faire lui-même quelques-uns des calculs relatifs aux transports des grands cercles de comparaison.

Voici les formules qu'il emploie, et que, d'après ses indications, j'ai appliquées aux autres grands cercles de comparaison. Pour ce qui est des grands cercles du réseau, il est facile de compléter les données nécessaires à l'usage des mêmes formules; j'y reviendrai, d'ailleurs, ci-après.

Soient :  $a$  (fig. 28, Pl. V) le point où l'on veut transporter une direction;  $b$  le lieu d'observation du système;  $P, P'$  les pôles de la terre;  $Pa, Pb$  les méridiens des points  $a$  et  $b$ ;  $P_m P'$  celui de Paris.

Par  $b$ , on mène un arc de grand cercle  $bB$  faisant avec  $Pb$  l'angle  $\beta$ , orientation donnée du système au point d'observation  $b$ ; puis par  $a$  on abaisse un arc de grand cercle  $ad$ , perpendiculaire sur  $bB$ ; enfin on élève en  $a'$  un arc de grand cercle  $aA$ , perpendiculaire à  $ad$ .

Il s'agit d'évaluer l'angle  $\alpha$  formé par cet arc  $aA$  avec le méridien  $aP$  du point  $a$ .

Pour cela, on mène l'arc de grand cercle  $ab$ , puis par  $b$  on abaisse l'arc de grand cercle  $bc$  perpendiculaire sur le méridien  $Pa$ , prolongé s'il y a lieu.

Admettant que les triangles sphériques rectangles  $cab$  et  $dab$  soient résolus, on aura facilement l'angle  $\alpha$ ; ainsi, dans le cas de la figure ci-jointe, on aurait :

$$\widehat{cad} = \widehat{cab} - \widehat{dab}, \text{ et par suite } \alpha = 90^\circ - \widehat{cad}.$$

Données :  $a$  est déterminé par sa longitude  $l$  et sa latitude  $L$ .  $b$  par sa longitude  $l'$  et sa latitude  $L'$ , que l'on trouvera dans le deuxième volume de l'ouvrage de M. de Beaumont, *Sur les systèmes de montagnes* (pages 840 à 860).

On y trouvera en même temps la valeur de  $\beta$ .

On passera immédiatement des latitudes aux collatitudes  $\lambda$  et  $\lambda'$ .

On considère successivement les triangles sphériques rectangles :  $Pcb, acb$  et  $adb$ .

I. Triangle  $Pcb$  :

$$(1) \widehat{cPb} = l + l' \text{ (dans le cas de la figure).}$$

$$(2) \text{Tang } Pc = \text{tang } \lambda' \cos (l + l'), \text{ formule calculable par logarithmes, d'où. . . . . } Pc$$

$$(5) \text{Sin } \widehat{Pbc} = \frac{\text{sin } Pc}{\text{sin } \lambda'}, \text{ d'où. . . . . } \widehat{Pbc}$$

$$(4) \text{Sin } cb = \text{sin } \lambda' \text{ sin } (l + l'), \text{ d'où. . . . . } cb$$

II. Triangle  $acb$  :

$$(5) ac = Pc - \lambda.$$

$$(6) \text{Cos } ab = \text{cos } ac \text{ cos } cb, \text{ d'où. . . . . } ab$$

$$(7) \text{Sin } \widehat{cab} = \frac{\text{sin } cb}{\text{sin } ab}, \text{ d'où. . . . . } \widehat{cab}$$

$$(8) \text{Sin } \widehat{cba} = \frac{\text{sin } ac}{\text{sin } ab}, \text{ d'où. . . . . } \widehat{cba}$$

III. Triangle  $adb$  :

Il est facile d'obtenir l'angle  $\widehat{abd}$ , car

$$(9) \widehat{abP} = \widehat{cbP} - \widehat{cba}.$$

$$(10) \widehat{abd} = \widehat{abP}' - \beta = 180^\circ - \widehat{abP} - \beta, \text{ puis:}$$

$$(11) \text{Tang } \widehat{dab} = \frac{\text{cot } \widehat{abd}}{\text{cos } ab}.$$

Connaissant  $\widehat{cab}$  et  $\widehat{dab}$ ,  $\alpha$  se trouve déterminé.

Sans insister davantage, je ferai observer que, dans le cas où plusieurs systèmes ont été observés en un même point  $b$ , les calculs, par lesquels on transporte les directions de ces systèmes au point  $a$ , ne commencent à différer qu'à la formule (10); car l'angle d'orientation  $\beta$  n'intervient pas avant.

C'est le cas qui s'est présenté ci-dessus :

Une première fois, pour les systèmes de la Vendée et du Morbihan observés à Vannes;

Et une seconde, pour ceux du Longmynd et du Hundsrück observés au Binger-Loch.

Voici maintenant comment on peut procéder au transport d'un grand cercle du réseau. Je prends pour exemple le grand cercle correspondant au système du Forez.

On trouve (*Systèmes de montagnes*, page 1085) :

« Le diamétral  $Da$ , mené du centre du pentagone de l'Amérique russe au point  $a''$  situé entre l'île de Minorque et la Sardaigne, fait, avec le dodécédrique rhomboïdal qui passe à l'Etna, un angle de  $88^\circ 28' 22''$ , 74, tourné vers le N.-E. »

En se reportant au tracé du pentagone européen, on y trouve la fig. 29, Pl. 00, dans laquelle  $a''P$  est le méridien de  $a''$ , et  $a''R$  la direction du grand cercle, dont il s'agit de déterminer l'orientation  $\beta$ .

Considérons pour cela le triangle sphérique obliquangle  $a''RT''$ , dans lequel nous avons déjà  $\widehat{R} = 88^\circ 28' 22''$ , 74.

On a (*Systèmes de montagnes*, pages 927 et 934) :

$$a'''T'' = 7^{\circ} 45' 40'', 48.$$

$$\widehat{DT''a''} = 54^{\circ} 44' 8'', 19.$$

Nous pourrions résoudre le triangle  $a'''RT''$  ou CAB, dans lequel on donne :

$$A = 88^{\circ} 28' 22'', 74.$$

$$B = C'. \widehat{a'''T''R} = 35^{\circ} 15' 51'', 81.$$

$$a = a'''T'' = 7^{\circ} 45' 48'', 48.$$

On emploiera les formules :

$$\text{tang } \varphi = \frac{\cot B}{\cos a}, \quad \sin (C - \varphi) = \frac{\cos A \cos \varphi}{\sin B \cos a}$$

On en déduit pour l'angle  $C = Ra'''T''$  la valeur  $56^{\circ} 30' 53'', 54$ .

Or, dans le tableau (page 1041), en même temps que la longitude et la latitude du point  $a''$ , on voit que le grand cercle primitif  $a''D$  est orienté en  $a''$ , N.  $18^{\circ} 52' 45'', 83$  E. — La figure montre que cet angle, l'angle calculé  $Ra'''T''$  et l'angle cherché  $\beta$  font ensemble  $90^{\circ}$ ; on aura donc

$$\begin{array}{r} + 18^{\circ} 52' 45'', 83 \\ + 56^{\circ} 30' 53'', 54 \\ \hline 75^{\circ} 23' 39'', 37 \end{array}$$

dont le complément  $= \beta = 14^{\circ} 36' 20'', 63$ .

Ayant l'orientation  $\beta$  du grand cercle au point  $a''$ , dont la position géographique est déterminée par le tableau (p. 1041), on retombe sur les calculs précédemment développés.

Cet exemple est un cas compliqué; pour la plupart des cercles, on trouve l'angle qu'ils font, en un point donné du réseau, avec un grand cercle dont l'orientation en ce point est donné.

La méthode de *transport*, que je viens d'exposer, n'est d'ailleurs pas la seule qui puisse être employée.

Une autre solution, au moins aussi avantageuse, consiste à déterminer d'abord la position du cercle (AB), en calculant la longitude (L) du méridien terrestre (PA), auquel il est perpendiculaire, et la distance (b) du point d'intersection (A), sommet de l'angle droit, au pôle (P).

On mène ensuite le méridien (PHB) du lieu (H. Holywell), et le triangle rectangle (PAB) qui en résulte doit être résolu; enfin, du lieu (H), on abaisse une perpendiculaire sur le cercle (AB). Cette marche exige aussi trois triangles sphériques rectangles.

Elle est préférable dans le cas où on se propose de transporter les cercles en divers points, parce qu'alors les quantités L et b sont calculées une fois pour toutes.

CHEMINS DE FER D'ALLEMAGNE.<sup>(1)</sup>

## ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE

(DEUXIÈME PARTIE.)

Par M. C. COUCHE,

Ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

## § I. — VOIES SUR LONGRINES.

253 (\*). On reproche au rail à champignon, et non sans quelques motifs, le porte-à-faux de ses renflements extrêmes; pour peu que l'inclinaison des rails soit mal réglée ou le profil des bandages altéré, les bords du champignon supportent toute la charge, se déforment et s'écrasent. Il y aurait, sous ce rapport, un incontestable avantage à substituer au double T, type du rail à champignon, le rectangle évidé qui est son équivalent théorique.

Rail en  $\Omega$ .

C'est à cette forme que revient le rail en  $\Omega$ ; il dérive du rail américain en concevant le corps et le pied fendus au milieu, et chaque moitié reportée à l'aplomb du bord du champignon.

On accroît ainsi, en même temps, la stabilité de rotation du rail; mais c'est un avantage purement nominal. Un grand empatement est même un inconvénient pour un rail qui, comme celui-ci, n'admet que des supports continus, c'est-à-dire d'une largeur limitée; il a, en effet, bien trop de tendance à se déformer en s'ouvrant

Il n'admet que les supports longitudinaux.

(1) Voir la 1<sup>re</sup> partie de l'ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE, 5<sup>e</sup> série, t. VII, p. 93; et la 1<sup>re</sup> section (TRAVAUX D'ART), 5<sup>e</sup> série, t. V, p. 245.

(\*) Les n<sup>os</sup> du texte font suite à ceux de la 2<sup>e</sup> partie de ce travail.

pour qu'il suffise de le soutenir seulement de distance en distance, même en multipliant les appuis outre mesure.

L'incompatibilité qui existe entre le rail en  $\Omega$  et les supports discontinus semble si évidente, que l'expérience pouvait passer pour superflue. Elle a cependant été faite à diverses reprises (lignes de Magdebourg à Berlin, de Magdebourg-Cœthen-Halle-Leipzig, de basse Silésie et de la Marche, duché de Bâde, quelques chemins anglais, etc.).

Le rail de Berlin à Magdebourg pesait 20<sup>k</sup>,86 le mètre. Les traverses étaient espacées de 0<sup>m</sup>,94. Essayé à la presse (n° 173) il éprouvait une déformation permanente sous une charge de 1.950 kil., et se rompait sous une charge de 6.050 à 7.850 kil. La pression statique par roue motrice s'élevant sur ce chemin à 4.250 kil., il n'est pas étonnant que l'insuffisance de cette voie se soit bientôt manifestée. Le rail était d'ailleurs beaucoup trop léger, mais sa forme exagérait sa faiblesse.

254. La continuité des supports étant le complément indispensable du rail en  $\Omega$ , cette forme ne peut être jugée en elle-même, et comparée aux autres, abstraction faite de la disposition des appuis. Le rail en  $\Omega$  exclut les traverses; le rail américain admet également les traverses et les longrines; quant au rail sur coussinets, si rien n'empêche de disposer ses supports longitudinalement, il est clair qu'il n'y gagnerait rien non plus, à moins d'engager dans la longrine toute l'épaisseur de la semelle du coussinet ou de remplacer celui-ci par des cornières. La valeur du principe même de la continuité des supports est donc un des éléments essentiels de l'appréciation du rail en  $\Omega$ .

Ce principe a incontestablement les apparences en sa faveur. Soumis successivement en tous les points de leur longueur à l'action des mêmes forces, les rails devraient, autant que possible, être partout dans les mêmes conditions de résistance. Mais les solutions de continuité aux joints excluent cette uniformité absolue; car la compressibilité du ballast fait intervenir la flexion, et le rayon de courbure varie d'une section à l'autre, suivant sa position relativement aux joints, à moins que la dis-

continuité ne soit rachetée assez complètement : pour les rails, par des armatures telles que les éclisses, et, jusqu'à un certain point, les couvre-joints inférieurs; pour les longrines, par leur mode d'assemblage entre elles ou avec les traverses placées aux joints.

255. Dans les voies à supports transversaux, les traverses, espacées de 0<sup>m</sup>,90 d'axe en axe, ont 2<sup>m</sup>,50 de longueur et souvent plus. Le développement des supports transversaux excède donc de près de 39 p. 100 celui de la double file de rails ou des supports longitudinaux, et l'excès s'élèverait à près de 74 p. 100 pour les voies de 2<sup>m</sup>,13, comme celles du Great-Western, en admettant la même saillie de 0<sup>m</sup>,50 en dehors des rails. L'équarrissage des traverses est bien plus considérable aujourd'hui que dans l'origine, et qu'il soit ou non suffisant pour les longrines, on ne peut guère songer en général à le dépasser pour celles-ci. Les entretoises qu'exige la liaison des longrines ne rachètent pas la différence, même pour la voie étroite, du moins avec l'espacement ordinairement adopté; de sorte que, sous le rapport de l'économie du bois, l'avantage appartiendrait plutôt aujourd'hui aux longrines qu'aux traverses. Il est certain, d'ailleurs, que la continuité des appuis permet de faire subir au poids du rail, toutes choses égales d'ailleurs, une réduction sensible, mais qu'on a souvent exagérée. On s'explique peu dès lors, au premier abord, la préférence généralement acquise aux traverses; et cependant, s'il y a un point qu'on puisse regarder comme bien établi, c'est la légitimité de cette préférence.

D'abord, à n'envisager que les frais d'établissement des supports, une réduction même notable du cube de bois n'impliquerait nullement celle de la dépense. La régularité de la forme, condition secondaire pour les traverses, est au contraire indispensable pour les lon-

Comparaison  
des cubes de bois  
dans les voies  
sur traverses,  
et dans celles  
sur longrines.

grines. Celles-ci doivent être droites et régulières presque à l'égal du rail, et exemptes de fentes, surtout vers les bords, qui doivent recevoir les attaches; il faut, en un mot, des bois de choix. La main-d'œuvre change aussi de nature: au lieu de matériaux bruts ou grossièrement équarris et d'une élaboration simple, expéditive, à la portée de tous les ouvriers, il faut presque des bois de charpente mis en œuvre par des charpentiers. Il est probable que les voies sur longrines ont péché souvent par le défaut de soins dans les détails d'exécution, mais cela ne justifie pas le principe. C'est, au contraire, un de ses inconvénients que de réclamer dans l'exécution un degré de précision et des soins peu en harmonie avec la nature même du travail, et dont la pose sur traverses est affranchie.

On a souvent reproché aux longrines de nuire à l'assèchement de la voie, objection d'une importance secondaire, et facile à lever; il suffirait pour cela de recevoir les eaux dans une rigole placée sur l'axe et débouchant de distance en distance par des gargouilles, dans les fossés latéraux.

256. Le vice capital, originel, des longrines, celui qui a fini par décourager la plupart de leurs partisans, c'est leur instabilité. La longrine est, en quelque sorte, en équilibre instable. Sa tendance au déversement et au glissement ne peut être combattue que par la liaison des deux files parallèles; liaison difficile à réaliser complètement, même par des moyens qui enlèvent à la voie le caractère de simplicité, de facile indépendance des éléments, si précieux pour l'entretien.

On peut objecter que les éclisses aussi altèrent assez gravement ce caractère, et que cela n'empêche pas leur application de se généraliser; mais là, du moins, les avantages sont clairs, incontestables; l'argument ne serait valable, d'ailleurs, que si les longrines dispensaient de l'emploi des éclisses, ce qui n'est pas. Les éclisses

Instabilité  
des longrines.

sont tout aussi nécessaires avec les longrines qu'avec les traverses, et si on n'en applique pas aux rails en  $\Omega$ , ce n'est pas que cela soit inutile, c'est que cette forme s'y refuse. Nous reviendrons du reste sur ce point.

257. En pareille matière, les appréciations *à priori* n'ont guère de valeur, pas plus les critiques que les apologies. Cependant la première condition de succès pour un système, c'est d'être conséquent avec lui-même, de ne pas renier son principe; les partisans des voies sur longrines les présentent cependant presque toujours comme une simple variété des voies ordinaires sur traverses: elles n'en diffèrent, suivant eux, que par la nature mixte du rail, et par l'espacement beaucoup plus grand des traverses, conséquence naturelle de la plus grande roideur du rail composé, soulagé d'ailleurs entre les appuis par la réaction du ballast.

Le pis est précisément qu'il y a quelque chose de vrai dans cette façon d'envisager les voies sur longrines les plus répandues, celles à traverses inférieures (268); c'est à la fois une définition et une critique. Cette conception d'une sorte de rail mixte, moitié bois, moitié fer, ne soutient guère l'examen. On comprend les premiers rails de ce genre, formés d'une simple bande de fer plat, clouée ou vissée sur une longrine. Là, du moins, chacun des éléments avait des fonctions distinctes, appropriées à sa nature et à sa forme. La longrine résistait à la flexion, la bande de fer au frottement; l'association était logique. Mais la superposition de deux solides, dont chacun doit apporter son contingent de résistance transversale, n'est fondée que quand on peut, par des moyens simples, réaliser entre eux une liaison complète, faire de l'ensemble l'équivalent d'un solide d'une seule pièce. Or, on a beau multiplier les

Voies  
sur longrines  
envisagées  
comme dérivant  
des voies sur  
traverses.

attaches, au grand détriment de la longrine, le fer et le bois se refusent à une pareille solidarité. Le seul fait des variations de température développe dans le système des tiraillements continuels qui relâchent les attaches, détruisent les longrines, et cela d'autant mieux qu'ils agissent, tantôt dans un sens, tantôt en sens contraire. Tout ce qu'on peut demander aux attaches, — crampons, vis ou boulons, — c'est de remplir avec les longrines le même rôle qu'avec les traverses, ni plus ni moins, sans viser à une solidarité qui se détruirait bientôt par ses propres effets. Les deux éléments fléchissent alors chacun pour son compte; il se produit à la surface de contact des glissements relatifs perpétuels, qu'il faut bien les accepter, favoriser même, car ils sont d'autant moins nuisibles qu'ils s'opèrent plus librement.

On peut, il est vrai, opposer à cette manière de voir un exemple bien connu, celui du Great-Western. Au lieu de crampons ou de chevilles placés extérieurement au rail, et s'appuyant seulement sur les bords du rail sans gêner la dilatation, M. Brunel persiste à employer des vis à bois très-rapprochées, insérées dans le patin sans jeu sensible. On avait été conduit en Allemagne à renoncer à cette disposition, avant de renoncer au rail lui-même; les vis se relâchaient et s'arrachaient. Avec des boulons à écrous l'effet était plus lent, mais le mal subsistait. Objectera-t-on que la voie du Great-Western est bonne néanmoins? Mais si la voie du Great-Western est bonne, ce n'est pas à cause du système, et spécialement du mode d'attache, c'est malgré eux. C'est parce que les longrines sont d'un très-fort équarrissage, les rails très-lourds, la charge par essieu sagement limitée, l'entretien soigné et probablement aussi dispendieux. J'ai eu d'ailleurs récemment l'occasion d'examiner cette voie, et de constater que le relâchement des vis est général, non-seulement aux joints, mais presque partout.

258. Si, du reste, la pose sur longrines s'est si peu répandue en France, ce n'est pas que le système ait été discuté et condamné; jusqu'à ces derniers temps la question n'était même pas abordée: le rail à coussinets se perpétuait sous l'influence d'une cause aussi puissante

que l'eût été la conviction de sa supériorité, l'habitude. Aussi a-t-on vu dernièrement la pose sur longrine apparaître comme conséquence et comme une des formes de la réaction qui s'opère enfin contre la voie à coussinets.

C'est précisément parce que la continuité des supports est précieuse, parce qu'elle a été à ce titre adoptée dès l'origine et essayée sous bien des formes, toujours avec un très-médiocre succès, qu'on doit tout au moins s'en défier aujourd'hui. Qu'on puisse avoir une bonne voie sur longrine, cela ne fait pas une question; peut-être même ce mode de disposition des éléments serait-il susceptible, pourvu qu'on ne regardât pas à la dépense, d'un degré de perfection auquel l'autre n'atteindrait pas; mais ce que l'ensemble des faits ne permet pas d'admettre, c'est que la continuité soit favorable à l'économie de l'entretien proprement dit, et à la conservation des éléments de la voie; l'exemple déjà cité du Great-Western est, je le répète, médiocrement concluant, et cela par deux raisons: d'une part, l'excès de largeur de cette voie crée en faveur des longrines un argument tout spécial (255); de l'autre, la continuité n'a pas été prise là pour elle-même; elle n'est que la conséquence nécessaire de la préférence systématique donnée par M. Brunel au rail en  $\Omega$ , préférence que nous discuterons bientôt (262).

259. En Amérique, on a débuté, comme en Allemagne, par les longrines. C'est même en vue de leur application que le rail américain a été primitivement adopté, de préférence au rail à deux champignons. Mais partout, aujourd'hui, les longrines ont disparu au delà de l'Océan, tandis que partout aussi le rail a été conservé. Acceptée d'abord uniquement en vue des avantages qu'on attribuait aux longrines, cette forme est unanimement préférée aujourd'hui pour les avantages qui lui sont propres.

Abandon  
des longrines :  
1° aux États-Unis;

2° dans le duché  
de Bade.

260. Même revirement dans le duché de Bade. Mais ici la question a passé par des phases diverses, assez instructives pour qu'il convienne de les rappeler. Si jamais système a été condamné en pleine connaissance de cause, c'est dans une circonstance où l'observation des faits a dû triompher à la fois d'idées préconçues, et d'habitudes prises de longue date.

Le rail (en  $\eta$ ) adopté pour la première section (de Manheim à Heidelberg) avait  $0^m,156$  de largeur; il était fixé sur des longrines de  $0^m,30 \times 0^m,17$ , au moyen de crampons placés extérieurement au patin; le joint était muni d'une plaque en fonte fixée à la longrine par des crampons, et portant une saillie emboîtée par les rails.

En remblai, les traverses, espacées seulement de  $0^m,90$  en moyenne, avaient  $0^m,15 \times 0^m,15$  d'équarrissage, et  $2^m,40$  de long (1). En tranchée, elles étaient remplacées par des dés en grès rouge de  $0^m^3,108$ , espacés de  $1^m,50$ .

A niveau, des dés alternaient avec des traverses.

Les longrines étaient fixées soit sur les traverses, soit sur les dés, par des chevilles en chêne de  $0^m,03$  de diamètre.

Le cube de bois était très-considérable; il s'élevait, en remblai, par kilomètre de voie simple, à  $162^m^3$  (102 pour les longrines et 60 pour les traverses).

On mit à profit, pour la seconde section (de Heidelberg à Carlsruhe) les observations faites sur la première.

1° La rapide dislocation des joints, la détérioration des bouts des rails et les fréquentes ruptures des selles en fonte n'avaient pas tardé à mettre en évidence toute l'imperfection du mode d'assemblage des rails; on chercha à l'améliorer en élargissant la base des selles en fonte, munies de plus d'épaulements latéraux entre lesquels s'enchaussaient les patins des deux rails.

2° On renonça aux dés, impuissants à combattre, malgré un entretien minutieux, la tendance des longrines au glissement et au déversement.

3° On donna aux traverses une section rectangulaire:  $0^m,50 \times 0^m,125$  à celles de joint,  $0^m,20 \times 0^m,125$  aux autres, en portant leur écartement de  $0^m,90$  à  $1^m,50$ .

4° On s'efforça de combattre le défaut de stabilité des lon-

(1) La voie avait, à cette époque,  $1^m,60$  de largeur.

grines en les installant sur un ballast moins mobile que le gravier, c'est-à-dire sur un lit de pierre cassée de  $0^m,18$  à  $0^m,24$  d'épaisseur (Pl. VI, fig. 1).

Lorsqu'il s'agit, plus tard, de prolonger la ligne jusqu'à Offenbourg et Haltingen, la question de la consolidation des joints se présenta de nouveau, car les modifications ci-dessus avaient médiocrement répondu à l'attente des ingénieurs. La rupture des plaques et surtout des *âmes* était aussi fréquente, le ressaut aux joints aussi prononcé, ou peu s'en fallait, qu'avec la disposition primitive; effets qu'on pouvait attribuer en partie à la mise en service de machines plus lourdes, mais auxquels il était urgent de remédier, quelles que fussent leurs causes. C'est ainsi qu'on fut conduit à remplacer la plaque de fonte par une plaque de fer, à épaulements latéraux, mais sans âme. Une plate bande ou couvre-joint horizontal fut de plus appliquée de chaque côté, sur les bouts des rails et sur les épaulements de la plaque, que les bords affleuraient; on substitua aux crampons des boulons à écrou inférieur triangulaire et armé de griffes, ce qui permettait le serrage par la tête (fig. 1); le corps de ces boulons s'engageait dans le patin par une petite encoche.

Enfin, lors de la pose de la deuxième voie, c'est le rail qui fut mis en cause, et condamné. Ce rail avait fait cependant, malgré sa légèreté ( $21^k,69$  par mètre), un excellent service, dû surtout, il est vrai, à la bonne qualité du fer, à une fabrication très-soignée; aussi n'est-ce pas au rail lui-même, à sa forme, qu'on s'en prenait, mais à l'imperfection des joints, imperfection intolérable, quoi qu'on fit. On adopta donc le rail américain, mais uniquement jusque-là, parce qu'il se prête parfaitement à un mode de consolidation auquel le rail en  $\eta$  se refuse, c'est-à-dire à l'application des éclisses.

Quant aux supports, ils n'étaient pas mis encore en question. On se borna à profiter de la moindre largeur du rail pour réduire d'autant celle de la longrine.

On porta en même temps la longueur du rail à 6 mètres, en réduisant celle de la longrine à 3 mètres; circonstance commode pour le croisement des joints du fer et du bois, et en faveur de laquelle on fait valoir un autre avantage, celui d'une économie notable. Il est certain que cette faible longueur a permis d'utiliser, en les débitant, des pièces de bois d'une régularité médiocre. Le prix du mètre cube de ces longrines ressort à peu près au même taux que celui des traverses; mais la multiplicité

des joints est une cause d'instabilité si l'on ne multiplie pas en même temps les traverses, et une source de dépenses si on le fait. En réalité, il n'y avait pas à tenir compte de ce surcroît de dépense pour le chemin badois, parce qu'on avait adopté déjà, avec des longrines beaucoup plus longues, un espacement de traverses d'une petitesse inusitée, mais probablement nécessaire.

Enfin, lorsque récemment on se décida à réparer une erreur qu'on eût chèrement payée en y persistant, c'est-à-dire à ramener la voie à la largeur ordinaire de 1<sup>m</sup>,50, ce fut le tour des longrines d'être discutées. Une fois sur ce terrain, la question ne pouvait être douteuse; aussi les longrines furent-elles condamnées sans hésitation. Leur suppression marche régulièrement, de manière à répartir la dépense sur plusieurs exercices, et bientôt elles auront complètement disparu. C'est ainsi que le rail américain sur traverses a fini par prévaloir dans le duché de Bade, comme dans presque toute l'Allemagne.

261. Il est difficile de concevoir une expérience plus complète, plus concluante. Le défaut capital des longrines, l'instabilité, aurait évidemment plus de gravité encore en France qu'en Allemagne où le trafic est moins actif, la vitesse plus faible, le personnel d'entretien plus nombreux.

On a cru devoir cependant, tout récemment, renouveler l'épreuve en France. C'est, sauf deux exceptions (272), au rail en  $\Omega$  qu'on a eu recours; on en voulait moins, en effet, aux traverses qu'aux rails à coussinets, et la longrine a été acceptée, pour ne pas dire subie, en vue des avantages particuliers attribués au rail en  $\Omega$  sur la foi de M. Brunel.

262. Quels peuvent être ces avantages? il y en a un réel, déjà indiqué, la suppression des porte-à-faux; mais c'est le seul, et il est acheté au prix de graves inconvénients, abstraction faite du vice irrémédiable de ce rail, celui de ne s'appliquer qu'aux longrines.

A l'époque où l'ingénieur du Great-Western adoptait

Discussion  
du rail en  $\Omega$ .

cette forme, il s'attachait surtout à combattre la tendance du rail au déversement. La forme en  $\Omega$  conciliait une assez grande roideur dans le sens vertical avec une hauteur réduite et une large base. Tout était donc pour le mieux quant à la stabilité propre du rail; seulement on se préoccupait d'un danger chimérique, sauf le cas des courbes franchies par des machines d'un empatement excessif. Il est vrai qu'on supprimait en même temps le coussinet; avantage très-réel, mais que le rail américain possède également, tout en laissant une liberté complète pour le choix des supports.

La faible hauteur relative du rail en  $\Omega$  constitue moins, à vrai dire, une propriété spéciale qu'une véritable infériorité; en même temps qu'on élargit sa base, on est forcé de réduire la hauteur sous peine d'exagérer l'épaisseur des deux branches verticales, qui seraient incapables de résister à la pression si on leur donnait, à égalité de hauteur, une épaisseur totale égale seulement à celle du corps du rail américain. Celui-ci a donc à poids égal, une résistance transversale beaucoup plus grande, non-seulement parce qu'il est formé de parties bien plus solidaires, mais aussi parce qu'il est mieux proportionné; avantages que la continuité des supports est loin de compenser.

M. Hemann, ingénieur du chemin du sud-est de la Suisse, a étudié pour une partie de cette ligne un rail en  $\Omega$  dans lequel le métal est distribué comme il suit :

	Rail en $\Omega$ du sud-est, sur longrines.	Rail américain du nord-est, sur traverses.
Section. { Tête. . . . .	1.465 <sup>mill.</sup> ,20	1.575 <sup>mill.</sup> ,67
{ Corps. . . . .	1.490 ,86	1.298 ,24
{ Pied. . . . .	1.170 ,66	1.550 ,90
	4.126 ,52	4.424 ,81

Ce rail (fig. 2) et le rail américain indiqué en regard (fig. 3) sont considérés comme équivalents, comme pro-

Répartition  
désavantageuse  
du métal sous le  
rapport de la  
résistance  
transversale.

pres au même service. On peut, du moins, d'après le soin apporté à l'étude de leur profil, les regarder comme bien proportionnés eu égard aux principes de leurs formes respectives. Cela admis, la comparaison qui précède fait ressortir un des côtés faibles du rail en  $\Omega$ . Le corps y forme en effet les 36,12 p. 100 de la section, tandis que ce rapport se réduit à 29,34 p. 100 pour le rail américain, quoique sa hauteur soit plus grande. Là répartition du métal y est donc, par ce double motif, beaucoup plus favorable à la résistance transversale. Or, personne ne soutiendra aujourd'hui qu'on puisse faire bon marché de cette considération pour le rail en  $\Omega$ , sous prétexte qu'il est soutenu partout; cette forme ne permet pas davantage d'affaiblir le pied, au profit de la tête, ce qui reviendrait toujours à regarder le rail comme formant la région comprimée d'un solide mixte fléchi. L'exemple ci-dessus peut donner une idée du point jusqu'où on peut aller dans ce sens, ainsi que de la faible réduction (6,7 p. 100) que la continuité des appuis permet de faire subir au poids du rail, toutes choses égales d'ailleurs. Le nouveau cahier des charges des chemins de fer français admet une différence plus grande, 14 p. 100 (poids minimum, 35 kil. pour les rails sur traverses et 30 kil. pour les rails sur longrines), mais l'administration n'avait à se préoccuper que de la question de sécurité; et une différence de 14 p. 100 peut être admissible sous ce rapport, sans être fondée en économie.

Il ne reste donc en réalité au rail en  $\Omega$  que l'unique avantage de la suppression des porte-à-faux de la tête.

263. Quelques faits isolés tendraient, il est vrai, à établir qu'il est, par cela seul, supérieur en lui-même au rail américain. Ainsi on a constaté, en 1855, lors de la transformation des voies du duché de Bade, que les rails

en  $\Omega$  étaient en beaucoup meilleur état que les rails américains du chemin de la Grande-Hesse (du Main au Neckar). Posés en même temps, ces rails avaient fait exactement le même service; matériel roulant, trafic, tout était identique de part et d'autre, sauf la forme et le poids des rails. Celui de la grande Hesse était notablement plus lourd, et posé sur traverses espacés de 0<sup>m</sup>,90 seulement.

Si malgré ce résultat les ingénieurs badois ont pris le parti de repousser le rail en  $\Omega$ , c'est d'un côté parce que la supériorité observée leur a paru être le fait de la fabrication autant pour le moins que le fait de la forme; et que d'ailleurs une durée un peu plus grande du rail ne serait pas une compensation suffisante des inconvénients inséparables des longrines, et surtout de l'imperfection radicale des joints. Quoique les opinions soient encore partagées sur les éclisses, ce n'est pas un médiocre avantage des rails à deux renflements extrêmes, que de se prêter à l'application de ce mode de consolidation si logique.

264. Il est trop commode d'accepter les jugements tout faits, pour qu'il n'y ait pas quelque mérite à renouveler une expérience déjà tentée ailleurs, à ne pas reculer devant elle, par cela seul qu'elle a donné, dans d'autres mains, des résultats négatifs; mais encore faut-il, ou qu'elle ait été insuffisante, suspecte à un titre quelconque, ou qu'on se trouve, en la renouvelant, dans des conditions plus favorables. On conçoit par exemple, jusqu'à un certain point, que la ligne de Bordeaux à Bayonne, traversant ou côtoyant des forêts de pins qui offrent en abondance des bois d'une grande régularité, ait paru plus favorable que toute autre à un nouvel essai des longrines et du rail en  $\Omega$ . Ce n'était cependant pas là une considération déterminante; pour

*Applications  
récentes  
des longrines  
en France.*

que le succès fût probable, il aurait fallu être en mesure de remédier aux graves défauts que la pratique a signalés dans ce système de voie. Il n'en est pas ainsi; on s'est borné à suivre les anciens errements. Reproduite dans des conditions tout aussi défavorables, l'expérience doit aboutir au même résultat que les précédentes.

Les récentes tentatives de ce genre sont dépourvues de tout caractère de perfectionnement réel; elles ne font guère que confirmer les résultats des observations déjà faites ailleurs; mais elles trancheront sans doute définitivement la question en France, et empêcheront les ingénieurs de s'engager de nouveau dans ces stériles expériences. C'est à ce titre qu'elles peuvent être utiles, et qu'elles méritent d'être connues.

#### Embranchement de Bayonne.

Embranchement  
de Bayonne.

265. Le rail pèse 30 kil.; il a 6 mètres de longueur et les longrines de 4 à 6 mètres; les joints des deux files de longrines reposent sur une même traverse; on n'a d'abord ajouté une traverse intermédiaire que pour les longrines dont la longueur dépassait 4 mètres. Ces traverses sont, de même qu'au chemin badois, placées sous les longrines au lieu d'arraser leur face inférieure, comme dans la voie de M. Brunel. Leur liaison avec les longrines est opérée par de longs boulons *bb*, placés de part et d'autre du rail, ayant la tête en haut et un écrou à griffes (*fig. 4*).

Les rails sont attachés aux longrines par des boulons à écrous inférieurs, insérés dans le patin, et espacés de 1<sup>m</sup>. L'inclinaison est donnée par le dévers de la face supérieure de la longrine.

Par suite de la diversité de longueur des longrines, la distribution des joints des rails, relativement à ceux des supports, n'est assujettie à aucune loi, si ce n'est à la condition de ne pas coïncider.

Quant au point délicat, la jonction des rails, le moyen auquel on s'est arrêté n'est rien moins que nouveau. C'est celui qui semble au premier abord naturellement indiqué par la forme du rail et par les forces auxquelles il est soumis, c'est-à-dire un véritable couvre-joint inférieur, formé d'une plaque de fer légèrement bombée au milieu, et qui se loge dans une

entaille de la longrine, de manière à affleurer sa face supérieure. Il y a de chaque côté du joint quatre trous, dont deux et quelquefois trois reçoivent des rivets, et les autres, des boulons d'assemblage avec la longrine (*fig. 5*).

Comme on l'a vu, ce moyen a été essayé en Prusse (221), mais il était dénaturé par l'introduction d'un jeu pour la dilatation.

Au chemin de Bayonne, on a appliqué purement et simplement une rivure *pleine*. On a compté ainsi sur la résistance des rivets pour détruire la tendance à la contraction, et sur la liaison avec les longrines pour s'opposer au *gondolement* qui tend à se produire sous l'action d'une température élevée. Une telle expérience faite sous le soleil du Midi ne manquait pas de hardiesse; mais le succès a été médiocre.

Les inconvénients observés sur la ligne de Bayonne n'ont pas tous une égale gravité. Quelques-uns sont accidentels, étrangers au système. Les autres sont les conséquences, sinon du principe lui-même, au moins du mode d'application.

On a reconnu dès le début que cette voie pêchait :

- 1° Par quelques détails de la forme et par la qualité des rails;
- 2° Par leur mode de jonction;
- 3° Par la disposition de l'entretoisement des longrines;
- 4° Par la nature du ballast.

#### 1° Rails.

266. Leur bombement est trop fort: défaut aggravé par le poids considérable de tout le matériel, et de plus, pour certaines machines-tender (qu'on va, du reste, transformer), par la mauvaise répartition de la charge sur les essieux; de sorte que tout se réunissait pour exagérer la pression au contact des roues.

Cette cause ne suffit pas, cependant, pour expliquer la rapide destruction des rails dès les débuts de l'exploitation; son influence a été aggravée par une fabrication défectueuse, dont la nature même des avaries était la preuve manifeste; les rails ne s'écrasaient pas; ils se fendaient longitudinalement, suivant la ligne de roulement. Telle était souvent, d'un autre côté, l'aigreur du métal dans le patin, que le forage des trous de rivure suffisait pour produire le déchirement. Ces graves imperfections affectaient, du reste, inégalement les rails des diverses provenances. Il est certain, au surplus, qu'on a trop présumé

Rails.

de l'influence des supports continus, et qu'indépendamment de sa forme le rail est trop léger.

2° *Assemblage des rails.*

Jeu aux joints.

267. La suppression complète du jeu aux joints a eu des effets d'autant plus nuisibles que la nature du fer était moins propre à atténuer leur gravité. Aussi les gelées ont-elles causé la rupture d'un assez grand nombre de plaques de joints, tandis que pendant les chaleurs les rails présentaient des ondulations horizontales et verticales désastreuses pour les attaches et pour les longrines.

La rivure pleine, avec les rails en contact, a sans doute l'avantage de réaliser complètement l'assemblage par couvre-joints auquel la forme en  $\Omega$  se prête parfaitement. On obtient ainsi, dans toute l'étendue d'une file de rails, l'uniformité de résistance, sinon à la rupture, du moins à la flexion; l'ovalisation des trous et l'introduction d'un jeu sensible entre les bouts des rails aux basses températures, altèreraient gravement ces conditions, sans compter que ces trous seraient, par leur position, très-sujets à s'oblitérer, ce qui n'a pas lieu pour les trous des boulons d'éclisses; de sorte que, en somme, la valeur d'une des principales objections contre le rail en  $\Omega$  dépend du degré d'utilité du jeu ménagé aux joints.

Nécessité de ce jeu.

Dans une discussion engagée à ce sujet à la Société des ingénieurs civils de Londres, l'inutilité du jeu a été soutenue par M. Brunel; sa conviction est fondée, a-t-il dit, sur les observations les plus concluantes: il est démontré pour lui qu'on n'a à redouter ni ondulations en plan ou en profil des rails convenablement attachés aux longrines, ni rupture des joints, ni excès de fatigue du métal. Mais il ne faut pas oublier qu'il s'agissait seulement des chemins anglais, et que M. Brunel a formellement réservé son opinion pour les chemins construits

sous des climats moins tempérés, et où les écarts de température sont plus considérables.

L'administration des chemins de fer bavares a tout récemment examiné de nouveau la question; elle a été amenée à conclure, non-seulement que le jeu actuel est indispensable, mais encore qu'il conviendrait de l'augmenter. En résumé, sauf quelques dissidences, qui ne s'appliquent d'ailleurs qu'aux chemins anglais (et en exceptant la voie du système Barlow, sur laquelle je reviendrai tout à l'heure) (278), la nécessité du jeu peut être regardée comme parfaitement établie; toute forme qui ne permet pas de concilier cette condition avec une consolidation efficace des joints, est donc par cela même défectueuse.

Tel est le cas du rail en  $\Omega$  qui, du reste, devrait être rejeté, quand même il n'aurait pas d'autre tort que d'être inséparable des longrines.

3° *Entretoisement des longrines.*

268. Les traverses doivent s'opposer au glissement, à la rotation, et à la flexion horizontale des longrines. Il faut donc que, par leur nombre, leur position et leur mode de liaison, elles remplissent le mieux possible cette triple fonction.

Entretoisement des longrines.

Elles peuvent être placées sous les longrines, comme aux chemins de Bayonne, du duché de Bade, ou entre les longrines, arasant leurs faces inférieures, comme au Great-Western.

Deux modes distincts.

L'assemblage est opéré, dans le premier cas, au moyen de boulons verticaux; dans le second, au moyen de tire-fonds horizontaux traversant la longrine, et boulonnés sur une des faces latérales de la traverse qui pénètre dans la longrine par un petit embrèvement (*fig. 6*).

T et T' désignent respectivement les tensions des boulons verticaux et des tire-fonds, nécessaires pour

Comparaison de ces deux modes.

assurer l'équilibre de rotation de la longrine sous l'action d'une même poussée horizontale  $Q$ , exercée par les mentonnets des roues, abstraction faite des réactions exercées directement par le sol sur la longrine;  $e$  et  $l$  étant l'épaisseur et la largeur de celle-ci,  $r$  la hauteur du rail, on a :

$$T = \frac{Q(r+e)}{l}, T' = \frac{2Q}{e}(r+e), \text{ d'où } T:T' :: e:2l.$$

Ordinairement  $e = \frac{l}{2}$  à peu près.

Ainsi, sous le rapport de la rotation, la première disposition est de beaucoup la meilleure : considération qui a son importance, car si l'on n'a pas à craindre le renversement du rail seul, il en est tout autrement pour l'ensemble du rail et de la longrine.

Mais la seconde disposition reprend hautement l'avantage pour le glissement, combattu par la résistance à l'extension des tire-fonds. Il n'y a pas d'assimilation possible entre les boulons verticaux du premier mode d'attache, et les chevilles, crampons ou vis qui fixent les rails ou les coussinets sur leurs supports. Ici, la portion en saillie est très-courte; comme les solides encastés, dont la longueur n'excède guère les dimensions transversales, elle ne tend pas à fléchir, et la résistance transverse  $y$  est à peu près seule en jeu. Les boulons dont il s'agit sont dans des conditions bien différentes. Le grand espacement des traverses concentre sur eux des pressions très-considérables; mais surtout, sollicités par les réactions de la longrine sur une grande longueur, — égale à l'épaisseur même de la longrine, — ils tendent à fléchir, à moins d'exagérer leur équarrissage, ce qui affaiblirait le bois outre mesure. Il est évident, d'ailleurs, qu'on a médiocrement à compter sur le frottement développé par la tension des boulons, tension

nécessairement limitée, et influencée de plus par les variations de l'état hygrométrique des bois. L'encastrement partiel de la longrine dans la traverse ne paraît pas d'ailleurs susceptible d'assez de précision pour maintenir, surtout avec des bois tendres, l'invariabilité rigoureuse de largeur de la voie.

L'entretoisement à l'intérieur a un autre avantage, il exige moins de bois.

La situation inférieure des traverses est, d'ailleurs, en opposition avec le principe même de la continuité des appuis, ou, en d'autres termes, de l'identité aussi complète que possible des conditions du rail en tous les points de sa longueur, en ce qui concerne les réactions verticales de bas en haut. Sa flexion dépend de la compressibilité et par suite de l'épaisseur du ballast; et celle-ci ayant un minimum périodique au droit des traverses, il en est de même de l'autre.

En somme, la disposition adoptée par M. Brunel est de beaucoup la meilleure. L'autre dérive de la conception d'un rail mixte et de l'assimilation à la voie sur traverses : assimilation qui ne tient compte ni des écartements très-différents des traverses, ni des distances très-différentes du sommet du rail à la traverse. Avec les supports transversaux, il n'y a jamais qu'une seule roue engagée sur une même portée; ce qui, joint à la faible hauteur du rail et à la grande saillie des traverses, ne permet au rail ni de se déformer latéralement, ni de tourner.

Dans la voie sur longrines, les traverses, par cela même qu'elles sont plus espacées, ne peuvent plus remplir les mêmes fonctions. Le rail mixte, s'il est trop faible et contre-butté latéralement sur un ballast sans consistance, se déforme entre les attaches des traverses, et ces attaches se disloquent elles-mêmes, si elles ne

sont pas constituées de manière à résister à la poussée latérale exercée par deux roues de machines à la fois. C'est ce qui est arrivé, dès le début, sur la ligne de Bayonne. Les longrines se sont comportées comme le ferait un rail supporté par des traverses beaucoup trop espacées, trop faible, et maintenu par des attaches insuffisantes. Les boulons se sont faussés, les traverses ont glissé sur les longrines, et c'est ainsi qu'ont eu lieu de nombreux déraillements à l'intérieur, ou par écartement; en même temps, les longrines se fendaient fréquemment sous l'énorme effort des boulons, nécessairement très-rapprochés, non-seulement du bord, mais aussi de l'extrémité, par suite de la largeur restreinte des traverses de joint.

Une certaine précipitation imposée par des circonstances particulières, et les mal-façons qu'elle entraîne surtout quand il s'agit d'un système nouveau pour le personnel chargé de l'appliquer, avaient, dans l'origine, aggravé ces inconvénients, qui ne sont pas tous inséparables du principe. Aussi les a-t-on atténués mais non supprimés en ajoutant une traverse intermédiaire à toutes les longrines dont la longueur dépasse 4 mètres; en les multipliant plus encore dans les courbes avec addition de plates-bandes en fer, terminées à chaque bout par un crochet saisissant le patin; en portant leur épaisseur de 0<sup>m</sup>,10 à 0<sup>m</sup>,13, y encastrant les longrines sur 0<sup>m</sup>,03, et portant de 0<sup>m</sup>,015 et 0<sup>m</sup>,018 le diamètre des boulons d'assemblage.

#### Nature du ballast.

Mauvaise qualité  
du  
ballast primitif.

269. Il est incontestable, d'ailleurs, que la finesse et la mobilité du sable des Landes sont pour beaucoup dans l'instabilité de la voie de Bayonne, et dans le défaut de liaison de ses éléments. Il n'y a pas de bonne voie, de quelque système que ce soit, sans un bon ballast; mais cette condition est plus impérieuse encore pour les voies à supports continus que pour les autres. Elles réclament tout particulièrement un bon bourrage; avec un sable fin et sec, les longrines se débourent très-rapidement. La transformation du ballast était d'ailleurs indispensable pour dissiper le perpétuel nuage de poussière qui enve-

loppait les trains, et dont le mécanisme des machines ne souffrait pas moins que les voyageurs. La couche inférieure a été formée de fragments d'*alios*, sorte de grès résultant de l'agglutination du sable par des infiltrations chargées de matières organiques; la couche supérieure, de gravier apporté à grands frais des extrémités de la ligne. Cette opération, dont la dépense s'est élevée à près de 6.000 francs par kil. simple, a certainement amélioré la voie, mais ses vices organiques subsistent; elle deviendra bonne, sans doute, mais au prix d'un entretien assujettissant et dispendieux. Quand il n'y aurait plus contre le système d'autres objections que le relâchement incessant des écrous, l'intervention, à chaque instant nécessaire, d'un personnel exercé, armé d'une multitude d'outils, ce serait encore trop; d'autant plus que si les exigences de l'entretien sont si grandes avec un faible trafic, ce serait bien pis encore dans les conditions normales du service d'une grande ligne (1).

#### Voie du chemin d'Auteuil.

270. Cette voie présente beaucoup d'analogie avec la précédente; elle a les mêmes caractères essentiels: traverses inférieures, boulonnées, et selles rivées aux joints. Mais on remarque dans les détails quelques différences assez importantes.

Les longrines et les traverses ont le même équarrissage, 0<sup>m</sup>,50 × 0<sup>m</sup>,15; les traverses, espacées en moyenne de 2<sup>m</sup>,40, sont fixées aux joints par 4 boulons, et ailleurs par 3 seulement. Les longrines, en sapin, ont une longueur comprise entre 12 et 13 mètres, circonstance qui a introduit une certaine irrégularité, d'ailleurs sans conséquence, dans la distribution des traverses. Là, comme dans les Landes, on ne s'est pas imposé, pour les joints des longrines et pour ceux des rails, qui ont 6 mètres de longueur, d'autre condition que d'éviter leur coïncidence.

La plaque de joint (*fig. 4*) a de très-grandes dimensions, 0<sup>m</sup>,40 sur 0<sup>m</sup>,157. En faisant la pose à une température moyenne, 10° environ, on a laissé entre les bouts des rails un jeu de 0<sup>m</sup>,004 à 0<sup>m</sup>,005, qui suppose nécessairement une ovalisation

(1) Depuis l'impression de cette feuille, l'abandon du rail en  $\Omega$  et des longrines a été résolu par la compagnie du Midi. Les renouvellements, qui vont bientôt commencer sur une grande échelle, seront faits en rails sur traverses.

sont pas constituées de manière à résister à la poussée latérale exercée par deux roues de machines à la fois. C'est ce qui est arrivé, dès le début, sur la ligne de Bayonne. Les longrines se sont comportées comme le ferait un rail supporté par des traverses beaucoup trop espacées, trop faible, et maintenu par des attaches insuffisantes. Les boulons se sont faussés, les traverses ont glissé sur les longrines, et c'est ainsi qu'ont eu lieu de nombreux déraillements à l'intérieur, ou par écartement; en même temps, les longrines se fendaient fréquemment sous l'énorme effort des boulons, nécessairement très-rapprochés, non-seulement du bord, mais aussi de l'extrémité, par suite de la largeur restreinte des traverses de joint.

Une certaine précipitation imposée par des circonstances particulières, et les mal-façons qu'elle entraîne surtout quand il s'agit d'un système nouveau pour le personnel chargé de l'appliquer, avaient, dans l'origine, aggravé ces inconvénients, qui ne sont pas tous inséparables du principe. Aussi les a-t-on atténués mais non supprimés en ajoutant une traverse intermédiaire à toutes les longrines dont la longueur dépasse 4 mètres; en les multipliant plus encore dans les courbes avec addition de plates-bandes en fer, terminées à chaque bout par un crochet saisissant le patin; en portant leur épaisseur de 0<sup>m</sup>,10 à 0<sup>m</sup>,13, y encastrant les longrines sur 0<sup>m</sup>,03, et portant de 0<sup>m</sup>,015 et 0<sup>m</sup>,018 le diamètre des boulons d'assemblage.

#### Nature du ballast.

Mauvaise qualité  
du  
ballast primitif. 269. Il est incontestable, d'ailleurs, que la finesse et la mobilité du sable des Landes sont pour beaucoup dans l'instabilité de la voie de Bayonne, et dans le défaut de liaison de ses éléments. Il n'y a pas de bonne voie, de quelque système que ce soit, sans un bon ballast; mais cette condition est plus impérieuse encore pour les voies à supports continus que pour les autres. Elles réclament tout particulièrement un bon bourrage; avec un sable fin et sec, les longrines se débourent très-rapidement. La transformation du ballast était d'ailleurs indispensable pour dissiper le perpétuel nuage de poussière qui enve-

loppait les trains, et dont le mécanisme des machines ne souffrait pas moins que les voyageurs. La couche inférieure a été formée de fragments d'*alios*, sorte de grès résultant de l'agglutination du sable par des infiltrations chargées de matières organiques; la couche supérieure, de gravier apporté à grands frais des extrémités de la ligne. Cette opération, dont la dépense s'est élevée à près de 6.000 francs par kil. simple, a certainement amélioré la voie, mais ses vices organiques subsistent; elle deviendra bonne, sans doute, mais au prix d'un entretien assujettissant et dispendieux. Quand il n'y aurait plus contre le système d'autres objections que le relâchement incessant des écrous, l'intervention, à chaque instant nécessaire, d'un personnel exercé, armé d'une multitude d'outils, ce serait encore trop; d'autant plus que si les exigences de l'entretien sont si grandes avec un faible trafic, ce serait bien pis encore dans les conditions normales du service d'une grande ligne (1).

#### Voie du chemin d'Auteuil.

270. Cette voie présente beaucoup d'analogie avec la précédente; elle a les mêmes caractères essentiels: traverses inférieures, boulonnées, et selles rivées aux joints. Mais on remarque dans les détails quelques différences assez importantes.

Les longrines et les traverses ont le même équarrissage, 0<sup>m</sup>,30 × 0<sup>m</sup>,15; les traverses, espacées en moyenne de 2<sup>m</sup>,40, sont fixées aux joints par 4 boulons, et ailleurs par 3 seulement. Les longrines, en sapin, ont une longueur comprise entre 12 et 13 mètres, circonstance qui a introduit une certaine irrégularité, d'ailleurs sans conséquence, dans la distribution des traverses. Là, comme dans les Landes, on ne s'est pas imposé, pour les joints des longrines et pour ceux des rails, qui ont 6 mètres de longueur, d'autre condition que d'éviter leur coïncidence.

La plaque de joint (*fig. 4*) a de très-grandes dimensions, 0<sup>m</sup>,40 sur 0<sup>m</sup>,157. En faisant la pose à une température moyenne, 10° environ, on a laissé entre les bouts des rails un jeu de 0<sup>m</sup>,004 à 0<sup>m</sup>,005, qui suppose nécessairement une ovalisation

(1) Depuis l'impression de cette feuille, l'abandon du rail en  $\Pi$  et des longrines a été résolu par la compagnie du Midi. Les renouvellements, qui vont bientôt commencer sur une grande échelle, seront faits en rails sur traverses.

correspondante des 4 trous d'un des côtés du joint; mais si un tel assemblage suffit pour empêcher la formation des ressauts, il perd beaucoup de sa valeur au point de vue de la continuité de la résistance.

L'inclinaison est donnée par le déversement de la longrine, c'est-à-dire par l'inclinaison de sa portée sur la traverse.

Le rail a 0<sup>m</sup>,155 de bord en bord et s'appuie sur des longrines de 0<sup>m</sup>,50. Ce grand excès de largeur, favorable du reste à la stabilité, est en partie, dans ce cas, la conséquence nécessaire de la disposition particulière des attaches (fig. 7). Les vis à bois, au lieu d'araser le bord du patin et d'appliquer sur lui leurs têtes convenablement élargies, pressent des taquets en fonte qui se replient sur le rail. Ces attaches, espacées sur chaque rang de 0<sup>m</sup>,50 environ, alternent d'un côté à l'autre, si ce n'est dans la région du joint, où elles se font face.

On cherche en vain quelle peut être l'utilité de ces appendices intermédiaires; la stabilité de rotation du rail sur la longrine est garantie de reste; il n'y aurait pas d'inconvénients à la réduire, si l'on y trouvait quelque compensation; mais à quoi bon, si cette compensation n'existe pas? En admettant que le rail tende à tourner autour de l'arête extérieure du patin, la tension développée dans la vis intérieure pour résister à cette tendance croîtrait par suite de l'interposition des taquets dans le rapport de *mp*:*np*, c'est-à-dire qu'elle serait à peu près doublée. Les proportions du rail en  $\eta$  excluent toute crainte d'effets de ce genre, impossibles même par des rails beaucoup plus élevés. Mais pour justifier cette complication, il ne suffit pas de prouver qu'elle est inoffensive; il faudrait aussi prouver qu'elle sert à quelque chose.

La ligne d'Auteuil, desservie par des machines à roues d'arrière couplées, et par suite sans jeu dans les plaques de garde, a des courbes très-roides, de 500 et même 250 mètres de rayon. On a ajouté dans celles-ci (comme on l'a fait après coup sur le chemin de fer de Bayonne) des plates-bandes d'écartement en fer, repliées sur le bord du rail, et boulonnées sur la longrine.

Cube de bois.

Longrines : 2.000 × 0 <sup>m</sup> ,30 × 0 <sup>m</sup> ,15 . . . . .	90 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,00
Traverses (longueur, 2 <sup>m</sup> ,20; équarrissage, 0 <sup>m</sup> ,30 × 0 <sup>m</sup> ,15; cubes de l'une, 0 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,099; — intervalle moyen, 3 <sup>m</sup> ; — nombres, 333 par kil.) : 333 × 0 <sup>m</sup> ,099 . . . . .	32 ,97
	<hr/> 122 <sup>m</sup> <sup>3</sup> ,97

Les rails étaient approvisionnés portant la plaque de joint rivée à l'un des bouts; on présentait le rail à la longrine pour tracer et creuser l'entaille destinée à recevoir la plaque, on faisait la rivure à l'autre bout au moyen d'une forge volante, et on posait les taquets et les vis.

Pose.

## Voie primitive du chemin de Dôle à Salins.

271. La compagnie concessionnaire de cette petite ligne avait adopté le rail en  $\eta$  avec supports longitudinaux, mais non continus. Les longrines, de 2<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup>,80, laissaient entre elles des vides destinés à faciliter l'écoulement des eaux; le rail, de 6 mètres de longueur, était fixé par des chevilles en bois comprimé; au joint une âme également en bois s'engageait dans le creux de chaque rail. L'entretoisement était opéré par une traverse inférieure joignant, par leur milieu, les deux longrines conjuguées auxquelles elle était fixée par des chevilles en bois, pénétrant seulement de quelques centimètres dans la traverse.

Voie primitive de Dôle à Salins.

C'est l'économie qu'on avait surtout en vue dans la conception de ce projet; on admettait (262) qu'un rail de 30 kil., dans les conditions indiquées, serait l'équivalent d'un rail de 35 kil. sur traverses.

L'application de ce système, commencée à partir de Dôle, sur une quinzaine de kilomètres, fut suspendue par suite du rachat de l'embranchement. La compagnie de Lyon, substituée à la compagnie de Salins, ne tarda pas à répudier cette partie de l'héritage. Il était difficile, en effet, d'accumuler plus d'éléments d'instabilité. Ce ne sont plus les longrines qui maintiennent les rails, ce sont, au contraire, les rails qui maintiennent les longrines isolées. Celles-ci, placées comme un fléau de balance sur la traverse médiane, basculent de part et d'autre; enfin, lorsqu'on les relève, les chevilles quittent leurs trous et laissent la traverse dans le ballast.

## Voie du chemin de Saint-Rambert à Grenoble.

272. Si l'application des longrines n'est nullement justifiée par des avantages propres du rail en  $\eta$ , on conçoit bien moins encore qu'on les combine avec des formes de rails qui peuvent se passer d'elles. Tel est cependant le parti auquel on s'est arrêté pour la petite ligne de

Chemin de Saint-Rambert à Grenoble.

Bourg-la-Reine à Orsay, et plus récemment pour le chemin de Saint-Rambert à Grenoble (*fig. 8*).

Les longrines, de 0<sup>m</sup>,28 sur 0<sup>m</sup>,14, sont placées sur des traverses de 2<sup>m</sup>,50 espacées de 2 mètres, auxquelles elles sont fixées par de grands boulons. Le joint des longrines ne coïncide pas avec le milieu de la traverse; de sorte qu'une seule longrine a pu être boulonnée à chaque joint. Cette disposition, qui revient à considérer les deux longrines comme constituant, par l'intermédiaire des rails, un système assez solide pour qu'il suffise de le rattacher à la traverse en un seul point, ne pouvait avoir d'autre but que de ménager celle-ci en n'y insérant qu'un boulon unique, placé dès lors à peu près sur son axe. Cette règle n'a été nullement observée dans la pose. Il y a souvent entre les longrines un intervalle de plus de 0<sup>m</sup>,05, de sorte que celle qui reçoit le boulon n'a pas plus de longueur d'appui que l'autre.

Les grands boulons, placés à l'extérieur, ne tendent pas, comme dans la position inverse, à faire fendre les longrines sous l'action des poussées horizontales des roues; mais aussi ils deviennent incapables de remplir une de leurs fonctions essentielles, c'est à-dire de s'opposer au déversement. Les conséquences de cette disposition vicieuse n'ont pas tardé à se manifester sur le chemin de Saint-Lambert; la longrine *baille*, le gravier s'introduit entre elle et la traverse, et le déversement va toujours en augmentant.

Les crampons qui fixent le rail sur la longrine n'alternent pas d'un rang à l'autre; ils sont espacés de 1<sup>m</sup>,18, ce qui paraît excessif. Dans les voies ordinaires, cet écartement, toujours plus petit d'ailleurs, est limité en moins par celui des traverses. Mais loin de l'augmenter pour les rails sur longrines, il est naturel de profiter de la faculté qu'elles donnent de le réduire. La solidarité serait moins imparfaite, et les efforts, plus répartis, fatigueraient moins les longrines.

La faible largeur du rail comparé au rail en *n* est, du reste, un avantage réel. Elle a permis de laisser entre les crampons et les bords de la longrine une épaisseur suffisante (0<sup>m</sup>,08), tout en donnant aux pièces de bois une largeur restreinte (0<sup>m</sup>,28).

On a cru devoir accumuler aux joints tous les expédients connus (*fig. 9*): 1° des éclisses à 4 boulons; 2° une plaque de joint à épaulements latéraux; 3° des plaques de recouvrement

serrées sur les bords du patin par deux gros boulons, à écrous supérieurs, traversant la longrine; 5° une plaque de serrage inférieure.

Il y a profusion évidente; avec les éclisses, tout le reste est inutile.

La dilatation est libre; les boulons de la plaque de joint pénètrent dans le pied du rail, mais par des encoches ovalisées.

On serait fort embarrassé de trouver, en faveur de cette tentative, des chances de succès qui aient manqué à d'autres du même genre. Ou celle-ci est peu fondée, ou c'est à tort que dans le duché de Bade, par exemple, on a renoncé définitivement, lors de la refonte de la voie, à une disposition semblable, et mieux entendue dans les détails (260). Mais on ne peut guère mettre en balance les motifs sur lesquels s'appuient ces deux résolutions contraires, surtout quand on voit qu'une des considérations mises en avant au chemin de Saint-Rambert est la simplicité économique de l'entretien des voies sur longrines; assertion formellement contredite par l'ensemble des observations.

On s'est proposé de constituer la voie très-solidement; et cela avec d'autant plus de raison que les machines adoptées sur cette ligne (Système Engerth à 4 roues couplées) ont près de 13 tonnes de charge *statique* sur l'essieu moteur, et à peu près autant sur l'essieu d'avant. Il est douteux qu'il existe un remède efficace contre l'exagération de la charge sur les rails; mais en tous cas, ce n'est pas dans la substitution des longrines aux traverses qu'il faut le chercher, et l'accroissement du poids des machines est loin de constituer un argument nouveau en faveur de la continuité des supports.

La compagnie du Rhône aux Alpes a été du reste heureusement inspirée en renonçant à ce système, non-seulement pour le chemin en construction (ligne directe de Lyon à Grenoble),

auquel on appliquera le rail américain sur traverses, mais aussi pour la dernière section (de Rives à Grenoble) du chemin de Saint-Rambert lui-même.

Cube de bois.	Longrines : $2.000 \times 0^m,28 \times 0^m,14$ . . . . .	$78^m^3,40$
	Traverses (par rail de $6^m$ , 2 intermédiaires de $0^m,15 \times 0^m,15$ sur $2^m,50$ de long = $0^m^3,1125$ , et 1 de joint, de $0^m,28 \times 0^m,14$ sur $2^m,50$ = $0^m^3,0980$ ; en tout: $0^m^3,2105$ et par $1^m$ ; $0^m^3,035$ ) par $1.000^m$ . . . . .	$35,00$
		<hr/> $113^m^3,40$

## Voie du Semring.

Voie du Semring.

273. On a fait, au Semring, une application particulière des longrines; l'ordre des supports a été interverti; c'est une voie sur traverses, entre-toisées par des longrines inférieures. Cette addition a pour but de combattre la tendance à l'entraînement des éléments dans le sens de la pente; on l'a jugée nécessaire pour la voie montante comme pour la voie descendante, et probablement avec raison.

Remarques sur le mouvement de progression des rails. Influence de l'inclinaison du profil, sur la voie montante et sur la voie descendante.

La tendance générale des rails, à marcher dans le sens des trains, par suite des ressauts aux joints, est fort atténuée, si ce n'est supprimée par les éclisses. Les roues motrices tendent même à leur imprimer un mouvement rétrograde, d'autant plus que les machines sont plus puissantes et marchent plus lentement; et les roues portantes, ainsi que celles des wagons, un mouvement direct. Sur niveau, ces deux actions contraires sont égales en somme, mais leur effet n'est pas nécessairement nul, parce que la première est concentrée sur un seul rail, tandis que la seconde se répartit sur un grand nombre. Si donc le déplacement n'est pas nul sur une voie éclissée et de niveau, il doit être rétrograde.

Mais si l'inclinaison est considérable, il n'en est plus de même. Sur la voie descendante, l'action du moteur étant suspendue, toutes les roues agissent de la même manière, et tendent à entraîner les rails; cette action est

très-faible, mais les freins agissent, bien plus puissamment, dans le même sens. Sur la voie montante, la grandeur de l'effort de traction ou en d'autres termes de l'action tangentielle des roues motrices sur les rails (action bien supérieure dans ce cas à la somme des attractions exercées par les roues portantes) tend à imprimer aux rails un mouvement rétrograde, c'est-à-dire aussi un mouvement descendant; les glissements inséparables de l'accouplement des roues, concourent d'ailleurs au même résultat. L'effet est donc le même sur les deux voies.

La nécessité de la consolidation appliquée aux voies du Semring, peut sans doute être contestée; mais si on l'admet, c'est je crois à tort qu'on a critiqué le mode d'application. On a reproché aux ingénieurs d'avoir renoncé gratuitement à la continuité des supports; mais placer les rails sur les longrines, c'eût été faire apparaître la tendance au déversement latéral, tendance fort grave dans des courbes de 190 mètres. Le rail travaille plus sous la charge qu'il ne l'eût fait avec la continuité; mais aussi la stabilité transversale n'est pas compromise.

274. On a appliqué au rail américain, dans le remaniement des voies du chemin Badois (entre Carlsruhe et Dürlach), un mode de pose particulier, suggéré par le désir d'utiliser des matériaux dont on n'aurait pu sans cela tirer parti. Les longrines reposaient, comme on l'a vu, en tranchées, sur des dés en grès espacés de  $1^m,50$ , et à niveau sur des dés alternant avec des traverses. On a combiné ces deux éléments (*fig. 10*); les blocs les plus sains, entaillés sur  $0^m,10$  de hauteur, reçoivent les longrines, débitées en tronçons de  $0^m,57$ ; ces supports mixtes sont espacés de  $0^m,56$ . Ce mode de pose est coûteux, à cause du refouillement des dés; et d'ailleurs l'expérience ne l'a pas sanctionné.

Sur les sections, où la réduction de la largeur a coïncidé avec la substitution immédiate des traverses aux longrines,

Mode particulier essayé sur le chemin Badois.

le rail, long de 6 mètres, est supporté par 7 traverses, complètement déchaussées, vers le milieu, sur 0<sup>m</sup>,30. Suivant un usage assez général en Allemagne, les intermédiaires sont en sapin et celles de joint en chêne.

Au lieu de demander aux usines les rails tout percés, on s'est imposé l'assujettissement bien gratuit de les percer sur place, en s'attachant à donner aux trous exactement le diamètre des boulons et ovalisant ensuite ces trous à la lime. Tous ces soins ne sont pas seulement inutiles, ils sont nuisibles: c'est méconnaître le vrai rôle des éclisses que de s'attacher à assurer le contact entre le corps du rail et les boulons, et de soumettre ceux-ci à des forces transversales auxquelles il faut au contraire les soustraire (255).

275. On a essayé, sur quelques chemins allemands, de combiner la pose courante sur traverses avec les longrines appliquées aux portées extrêmes, comme moyen de rétablir la continuité; cela revenait simplement à remplacer la traverse de joint par deux tronçons placés longitudinalement sur chaque file; mais cette tentative, introduite sans succès il y a plusieurs années sur la ligne de Leipzig à Dresde et sur celle de Berlin à Breslau, entre cette ville et Buntzlau, n'a nullement réussi. Elle a été renouvelée il y a quelques années sans plus de succès en France, sur le chemin du Nord.

276. M. Pouillet, auteur du mode de pose qui a reçu, sous le nom de *traverses à table de pression*, des applications assez étendues en France (chemins du Nord et de ceinture), a proposé d'étendre aux longrines la répartition des pressions qui caractérise son système. Les plateaux, boulonnés sous les longrines (fig. 11), amélioreraient certainement la stabilité; mais ils seraient peu efficaces contre les autres inconvénients: les glissements relatifs, le relâchement des attaches des rails, l'insuffisance de l'entretoisement des longrines, etc.

277. En somme, on chercherait en vain, dans les tentatives dont la pose sur longrines a été l'objet, rien qui soit de nature à réhabiliter ce système.

En admettant même que les bois de choix comme ceux qu'exigent les longrines, puissent être obtenus au même prix que les traverses, il faut, pour faire ressortir en faveur des premières une économie notable, partir de

ce principe que le poids des rails peut être, toutes choses égales d'ailleurs, considérablement réduit, ce qui n'est nullement exact. L'aggravation des frais d'entretien est d'ailleurs hors de contestation.

Il n'y a pas jusqu'à un avantage ordinairement admis sans discussion, qui ne doive être réduit à sa juste valeur. C'est l'innocuité attribuée aux déraillements partiels, sur les voies à longrines. Il est certain que si les roues continuent à rouler sur les longrines, le fait est moins grave à certains égards que sur traverses, les mouvements des véhicules sont moins désordonnés; mais par cela même que cette situation critique peut se prolonger plus longtemps, les avaries peuvent être en somme aussi graves, si ce n'est plus. C'est ainsi qu'au chemin de Bayonne des wagons dérailés ont parcouru plusieurs kilomètres sans que personne, mécanicien ni conducteurs, s'en aperçût; mais la voie n'en était pas moins très-maltraitée sur toute cette longueur, les longrines déchirées et fendues, les boulons faussés; les dégâts étaient, en un mot, plus sérieux que sur une voie posée sur traverses.

Le seul avantage qu'on ne puisse contester à la voie sur longrines, c'est que les ruptures de rails y sont inoffensives. On n'a même pas à remplacer le rail brisé; on en est quitte pour traiter la fracture comme un joint, ainsi qu'on a eu maintes fois à le faire sur la ligne de Bayonne; une selle y était adaptée, soit au moyen de rivets, soit au moyen de boulons provisoires, auxquels on substituait des rivets, quand le nombre des fractures était assez grand pour motiver le déplacement de la forge volante; mais il est impossible de mettre sérieusement des avantages de cette nature en balance avec des défauts qui se traduisent en charges énormes pour l'entretien, déjà si lourd avec les voies moins imparfaites.

Longrines  
au point de vue  
des  
conséquences:  
1<sup>o</sup> d'un  
déraillement;

2<sup>o</sup> d'une rupture  
de rail.

Longrines  
aux joints,  
combinées  
avec  
les traverses.

Application  
proposée  
du système  
Pouillet  
aux longrines.

## Rail Barlow.

Système Barlow.

278. Ce rail n'a pas été essayé en Allemagne, et peut-être ne le sera-t-il pas de sitôt, mais il l'a été en France sur une grande échelle. Il paraît convenable de résumer ici et de discuter les observations récentes faites sur cette remarquable application, qui est loin d'être définitivement jugée.

Application  
au  
chemin français  
du Midi.

En exposant les motifs qui les avaient déterminés à adopter le rail Barlow pour la grande ligne de Bordeaux à Cette, les administrateurs du chemin du Midi énuméraient ainsi les avantages qu'ils attribuaient à cette forme (1) :

« Préoccupés des inconvénients qui ont été constatés depuis quelques années dans le système des voies exclusivement employées en France, et cherchant surtout à mettre l'en-semble de notre ligne dans des conditions qui assurent une grande économie avec une circulation très-active, nous avons été conduits à entrer largement dans le système de voies à supports longitudinaux, dont la supériorité est actuellement constatée en Angleterre par une longue expérience.... »

« L'économie des dépenses de premier établissement, lorsque, tenant compte des frais d'entretien et de renouvellement, on les met en parallèle avec le système ordinaire des rails sur traverses; la fixité des joints, qui fait disparaître le mouvement de cahottement; la simplicité de la pose et de l'entretien, résultant de la diminution du nombre des pièces et du mode d'assiette sur le ballast; la conservation du matériel roulant; enfin, la sécurité de la circulation, qui n'est plus compromise par la rupture des rails ou de leurs supports. »

Certes, si tous ces avantages avaient été bien établis, la préférence de la compagnie du Midi eût été amplement justifiée, et on n'eût guère compris l'aveuglement des autres compagnies, persistant à faire usage des rails sur traverses. Mais la première ne tarda pas à reconnaître

(1) Rapport présenté par le conseil d'administration à l'assemblée générale des actionnaires.

qu'il y avait beaucoup à rabattre de son appréciation; les marchés conclus en France pour la fourniture des rails Barlow furent résiliés, et on revint, pour la section de Castelnaudary à Cette, au rail à champignons sur traverses.

Il ne faut pas se méprendre toutefois sur les causes de ce brusque revirement. La voie Barlow est incontestablement très-bonne, très-douce, d'un entretien facile, et se maintient bien bourrée; le remplacement lui-même est, entre les mains d'ouvriers spéciaux il est vrai, une opération simple et expéditive; l'expérience confirme d'ailleurs pleinement les idées de l'inventeur en ce qui touche à l'invariabilité de l'assemblage des rails; confirmation que M. Barlow lui-même n'eût peut-être pas osé espérer si complète sous le soleil du midi. On n'a remarqué, sur la ligne de Bordeaux à Toulouse, ni les ruptures ni les ondulations en plan et en profil des rails sur longrines, observées sur la ligne de Bayonne; ce qui s'explique du reste, et par l'enfouissement presque total du rail, soustrait ainsi en grande partie à l'insolation, et par la conductibilité due à sa faible épaisseur et à sa grande surface de contact avec le ballast, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. On admet que, sur le chemin du Midi, l'écart des températures, pour des rails exposés à l'air libre, peut atteindre 70°; mais il est clair que les limites sont bien moins larges pour le rail Barlow en place.

279. En fait, ce n'est pas dans des vices inhérents au principe de sa construction qu'il faut chercher les causes de l'abandon de la voie Barlow. L'expérience lui a même été favorable sous plusieurs rapports; ainsi le rail ne tend pas, comme on le craignait, à s'ouvrir sous la charge. On supposait que le bourrage ne pourrait se maintenir à l'intérieur, par suite des vibrations, et que

L'invariabilité  
des joints  
paraît être  
sans  
inconvénients.

Le rail porte  
sur  
toute sa largeur,  
pourvu  
que le ballast  
se prête  
à la formation  
d'un noyau.

le rail porterait seulement sur les deux ailes. D'après M. Brunel, qui a appliqué le système sur une grande échelle, cette crainte n'est point fondée, et il est facile de tasser le ballast dans le creux du rail, pourvu que ce soit du gravier, à tel point qu'il forme bientôt un noyau solide sur lequel le rail s'appuie. Cette assertion est pleinement confirmée par les faits observés sur les chemins du Midi; l'entretien, d'abord assez laborieux, devient très-facile dès que des bourrages répétés ont déterminé la formation du noyau. On s'est préoccupé aussi du défaut de buttée du rail, qui tend, disait-on, à agir latéralement sur le ballast comme un soc de charrue. Un effet de cette nature s'est manifesté parfois en Angleterre avec assez de gravité pour déterminer à exhausser le rail aux dépens de sa largeur, comme l'a fait M. Brunel pour le chemin du West-Cornwall. L'insuffisance de l'entretoisement, opéré au moyen de fers à T, donnant l'inclinaison par une inflexion de leurs extrémités, mais médiocrement rigides, avait même conduit M. Barlow à essayer de la pose sur traverses en bois (*fig. 12*). C'était condamner le système en renonçant à sa propriété caractéristique, à sa raison d'être. Depuis, on a proposé d'employer comme entretoises des tronçons de rails renversés. On n'a pas remarqué au surplus, sur le chemin du Midi, les inconvénients auxquels ces divers expédients avaient pour but de parer, c'est-à-dire la tendance au déversement du rail, et les ruptures des rivures d'entretoises. On a reconnu seulement que les assemblages aux joints étaient trop faibles; le nombre des rivets, qui était d'abord de quatre seulement de chaque côté du joint, a été en conséquence porté à six (*fig. 13*).

Le reproche d'une rigidité excessive, formulé par quelques ingénieurs, ne paraît pas plus fondé.

280. L'objection capitale, c'est la rapide destruction des rails, qui s'écrasent et se désoudent au sommet. L'excès du bombement et de la charge par essieu n'explique pas à lui seul cette désorganisation si prompte, car des rails à champignons ont été soumis ailleurs au même régime, sans que leur destruction ait suivi, à beaucoup près, une marche aussi rapide.

Désorganisation  
rapide  
du rail lui-même.

L'influence propre de ces exagérations est cependant fort nette, et, en ce qui concerne le rail Barlow, un fait irrécusable viendrait l'établir, si le doute était possible. Les premiers essais faits en France l'ont été simultanément, en 1852, l'un sur le chemin du Nord, à la Chapelle; l'autre sur la voie de retour du chemin de Saint-Germain, près de la route de la Révolte, sur une longueur de 69 mètres. Les rails, d'origine anglaise, provenaient de la même usine, et avaient été fabriqués en même temps. Or, au bout de 15 mois à peine, les rails du Nord, complètement écrasés par la circulation incessante des lourdes machines à roues couplées en usage sur cette ligne, avaient tous disparu, tandis que ceux de Saint-Germain, soumis aussi à un trafic actif, mais avec des charges par essieu plus modérées, sont, à quatre près, encore en place (août 1857) et en assez bon état. En 1854, la pose en rails Barlow a été prolongée de 24 mètres; sur ce nouveau tronçon, quatre rails, écrasés çà et là, ont été remplacés.

Les rails de fabrication française, posés sur le chemin du Midi, sont assurément très-médiocres. Mais il serait injuste de mettre cet insuccès entièrement sur le compte de l'inexpérience de nos usines. Les rails d'origine anglaise, provenant d'établissements familiarisés avec cette fabrication (usines de Tredegar et de Dawlais) valent mieux, mais ils sont loin d'être irréprochables.

Ce qui est, du reste, très-significatif, c'est l'abandon presque total en Angleterre de ce système de voie si bien accueilli, si puissamment patroné, et dont l'application avait pris une si rapide extension (1.200 à 1.300 kil. de voie simple). On croyait en être quitte

pour une fabrication plus difficile et plus coûteuse, exigeant des moteurs beaucoup plus puissants; inconvénients amplement rachetés par des avantages manifestes, si le rail accomplissait le service sur lequel il semblait qu'on pût légitimement compter. Mais en Angleterre comme en France, seulement à un degré moindre, les prévisions ont été déroutées par la rapide détérioration des rails, comme s'il y avait dans le seul fait de leur forme un principe de destruction.

Cette désorganisation est la conséquence du mode de fabrication.

281. Ce principe réside moins dans la forme elle-même que dans une sorte d'antagonisme entre elle et le mode de fabrication; antagonisme qui exclut l'emploi des seuls fers convenables pour rails, les fers durs.

Pour les profils usuels, c'est seulement aux ébaucheurs que la barre est laminée successivement à plat et de champ; les cannelures finisseuses sont toujours disposées à plat. Les rails à double champignon sont par ce motif les plus faciles à laminier; les rails américains et surtout les rails en  $\Omega$  le sont moins, d'autant moins que le pied est plus large et plus mince. Pour le rail Barlow, les cannelures finisseuses ont toujours, même à plat, une hauteur bien plus grande que pour les autres profils. Une même section transversale de la barre est ainsi attaquée par des points des cylindres animés de vitesses très-différentes. De là des glissements qui absorbent une force motrice considérable, même avec un *tirage* très-modéré et des cylindres d'un grand diamètre, et qui produiraient en outre des criques et des déchirures sans nombre, si on n'avait soin d'employer des fers ductiles et mous, impropres par cela même aux actions que les rails doivent subir.

Modification dont cette fabrication paraît susceptible.

282. La forme des rails Barlow se prêterait, ce me semble, à un autre mode de fabrication qui permettrait d'employer des fers durs, tout en affranchissant les usines de l'obligation onéreuse de doubler la puissance motrice des laminoirs. La série des transformations que subit le paquet aboutit, en définitive, à ces deux résultats: 1° production d'une large barre, légèrement

renflée au milieu de la section transversale; 2° inflexion de cette barre dans le sens transversal, sans modification des épaisseurs. Ces deux effets, que le laminoir produit simultanément à grands frais, ne pourraient-ils pas être obtenus successivement? Ne pourrait-on pas réserver au laminoir, ce qui est essentiellement dans son rôle, la répartition des épaisseurs et la façon de la tête, et produire l'inflexion par l'étampage (*fig. 14*)? le laminage d'une barre presque plate éliminerait entièrement les glissements que le fer ne peut pas subir sans criques et déchirements, à moins d'être par sa nature impropre à remplir sa destination. Quant à l'étampe, on en tire déjà un si grand parti, que son application soit successive, soit même d'un seul coup à une barre longue de plusieurs mètres, n'a certainement rien d'impossible. En opérant d'ailleurs sur la barre très-chaude, on n'aurait pas à craindre d'énerver le fer, qui n'aurait du reste aucune courbure à recevoir, à l'étampe, dans la région du roulement.

283. Quoi qu'il en soit, l'expérience faite au chemin du Midi ne sera sans doute pas stérile. Elle consacre le principe de la voie Barlow; elle prouve que son succès n'est qu'une question de fabrication. Le jour où cette difficulté sera résolue, la lutte ne pourra plus guère s'engager qu'entre la voie Barlow, et la voie à rails américains sur traverses *convenablement préparées*; car on sera certainement placé avant peu dans cette alternative: supprimer le bois, ou le soustraire par un procédé économique, aux influences qui consomment si rapidement sa destruction.

L'expérience faite sur le chemin du midi portera ses fruits.

Déjà même, au chemin du Midi, l'observation conduit à revenir sur la condamnation absolue prononcée d'abord un peu précipitamment contre le rail Barlow, sous l'influence d'une sorte de désappointement assez naturel; de nouvelles com-

mandes vont être faites, en Angleterre, pour l'exécution de la deuxième voie de Bordeaux à Castelnauary.

Mais toujours est-il que dans l'état actuel des choses, l'application de ce système sur une grande échelle, autrement qu'à titre d'expérience, est prématurée, et qu'elle escompte des progrès très-probables sans doute, mais dont l'échéance se fera peut-être attendre.

## § II. — CHANGEMENTS DE VOIE.

Changements  
de voie.

284. Le rail américain se prête évidemment beaucoup mieux que le rail à coussinets à l'établissement des changements de voie.

Aiguilles.

Plusieurs ingénieurs allemands pensent, toutefois, que les rails courants conviennent médiocrement pour les aiguilles; que leur section, leur forme et la qualité inférieure du fer, ne répondent pas aux exigences toutes spéciales de la destination de ces pièces.

Il y a déjà plusieurs années qu'au chemin de Cologne à Minden, les aiguilles sont formées exclusivement de barres d'acier puddlé, aussi larges que hautes, glissant sur des platines rivées à une forte plaque de fer sur laquelle les rails fixes sont boulonnés (fig. 15).

En Angleterre, MM. Wild et Parsons ont proposé et quelques chemins de fer, le Great-Northern, entre autres, ont appliqué une disposition analogue; le profil américain fixe remplace, pour le rail fixe, la forme à coussinets; l'aiguille est une barre de forme spéciale, indiquée par la fig. 16.

Changement  
de voie du Central  
suisse.

285. Je citerai comme exemple de changements de voie construits simplement avec les rails ordinaires, celui du chemin central suisse, parce que c'est un des plus nouveaux (fig. 1 et 2, Pl. VII.). Sur toute la longueur de la portée des aiguilles et des rails fixes, ceux-ci sont liés, comme les rails à deux champignons, à un ergot des platines en fonte, sorte de coussinet à une seule joue. Comme il n'y a, au talon de l'aiguille, qu'une

simple plaque de joint, le boulon horizontal qui s'oppose, dans les voies à coussinets, au mouvement de translation de l'aiguille est remplacé par une semelle rivée *ss* (fig. 3), portant un touillon *t* qui pénètre dans la plaque de joint.

286. M. Rupert a appliqué sur le chemin de fer Badois une disposition particulière; le talon de l'aiguille est liée au rail fixe intérieur par une éclisse ordinaire, et au rail fixe extérieur par une plate-bande repliée sur elle-même et boulonnée de part et d'autre (fig. 4). Ces deux armatures se prêtent par leur flexion au jeu de l'aiguille; en même temps que celle-ci s'applique sur le rail fixe correspondant, les têtes des boulons des deux branches de la plate-bande sont mises en contact, et résistent à la poussée des mentonnets.

La faible flexion de ces armatures n'augmente pas sensiblement l'effort à exercer. On pourrait, au surplus, annuler presque entièrement le travail qu'exige la déformation des espèces de ressorts *r, r'*; il suffirait, pour cela, de leur donner une figure d'équilibre beaucoup plus ouverte que *r*, ou au contraire beaucoup plus fermée que *r'*. Ils exerceraient alors sur les deux aiguilles des efforts opposés, et sensiblement égaux.

Par deux exceptions presque uniques, on persiste, dans le duché de Bade et au Central suisse, à placer un contre-rail du côté de l'aiguille de la voie droite, et par suite, à donner à cette aiguille une longueur moindre qu'à l'autre. Combinée comme elle l'est avec l'application de la patente de Wild, cette complication n'est nullement motivée.

287. Les aiguilles ont remplacé partout les anciens changements à rails mobiles. Il y aurait cependant un certain avantage à conserver ce système, aux embranchements, pour la bifurcation de la voie de départ. Les trains, venant toujours alors du tronc commun, la continuité est assurée, que les rails soient bien ou mal placés, de sorte que l'objection capitale contre le système ne s'applique point à ce cas. Les aiguilles, d'un autre côté, sont prises en pointe, fait grave pour des changements qui doivent être franchis assez vite.

288. Les croisements se détruisent rapidement; aussi leur construction a-t-elle été très-étudiée et très-

Mode particulier  
d'éclissage  
des aiguilles  
dans le duché  
de Bade.

Cas dans lequel  
le changement  
à rail mobile  
est préférable  
aux aiguilles.

Croisements.

variée, mais jusqu'ici sans succès bien complet. Ce qu'on peut regarder comme établi, c'est que le rail à champignons, en fer ordinaire, employé comme élément des croisements, avec tout son attirail de coussinets spéciaux, doubles et triples, donne de médiocres résultats; le système ne possède ni la dureté, ni surtout la solidarité nécessaires. Le durcissement par la cémentation, essayé sur plusieurs lignes, n'a pas tenu ses promesses, et la plupart des chemins de fer qui ont essayé ce moyen (celui du Nord, entre autres) y ont renoncé. Il ne reste donc que deux partis : l'application partielle de mises d'acier, à la pointe et aux contre-cœurs, ou l'emploi de fers spéciaux ou plutôt de barres d'acier puddlé, ou même fondu, ayant ou non des formes spéciales.

Pointes  
en acier fondu.

Les pointes en acier fondu, dont l'usage commence à se répandre, font un excellent service, et il est probable que cette application se généralisera, malgré l'élévation du prix. Cette élévation tient en grande partie aux élaborations coûteuses que doit subir la matière première, déjà chère par elle-même. L'acier fondu ne prend *du corps* et de la finesse de grains que par un martelage répété. Après la fusion, il est à gros grains, et semblable à la fonte. De là la nécessité de le couler en lingots, dont la forme n'a aucun rapport avec celle de la pièce terminée, et d'arriver à cette forme par un forgeage long et dispendieux, surtout pour les pièces massives et compliquées, comme les essieux coudés, par exemple.

Dans tous les cas, les pointes *d'assemblage*, formées de deux bouts de rails rabottés et boulonnés, sont généralement repoussées aujourd'hui, même par les ingénieurs qui tiennent à s'écarter le moins possible des anciens errements. Parmi les chemins de construction récents, le Central suisse est, je crois, le seul qui ait conservé cette disposition (Pl. VII, fig. 5).

On est très-satisfait au chemin de Lyon des pointes façonnées à l'étampe, avec mise d'acier soudée par la même opération.

On emploie pour cette fabrication, qui marche régulièrement dans les ateliers de Paris, des rails du profil courant, mais en fer au bois, aussi cher, du reste, que l'acier puddlé. A cause de sa longueur, la pointe est façonnée en deux fois, dans deux moules juxtaposés.

La stabilité propre du rail américain est plus favorable encore à la construction des croisements qu'à celle des changements proprement dits. On obtient une solidarité assez complète en fixant la pointe : à ses prolongements par des éclisses; aux traverses par des crampons ordinaires ou mieux par des vis ou des boulons; et aux pattes de lièvre par des tirants, boulonnés ou clavetés, quelquefois avec manchon d'écartement. Il convient de réunir aussi par un tirant les deux sommets des pattes de lièvre (fig. 5).

289. Peut-être vaut-il mieux encore que la pointe et les contre-cœurs forment un solide unique. Ainsi, au chemin de Cologne à Minden, la pointe est installée, comme les aiguilles de changement de voie, sur une plaque d'assise en fer, sur laquelle les pièces en saillie sont rivées. La même disposition vient d'être adoptée en Hanovre. Entre autres avantages, elle a celui d'être très-commode pour l'entretien; on n'a aucune réparation à faire sur place. Tout se réduit à l'extraction des crampons qui fixent la plaque d'assise. C'est la contre-partie du croisement à *pièces de rechange* essayé sur quelques chemins anglais, avec des chances de succès, selon moi très-médiocres.

Croisements  
installés  
sur une plaque  
de fer.

290. Au Semring, la pointe est également installée sur une forte longrine. Au fond des rainures sont vissées des plates-bandes en fer, destinées à offrir un appui aux mentonnets des roues pendant qu'elles franchissent la lacune. On a renoncé depuis longtemps aux croisillons appliqués dans le même but aux voies rectangulaires des plaques tournantes; leur addition est bien moins motivée encore pour les croisements obliques.

Semring.

les contre-cœurs rétablissant la continuité de la surface de roulement; elle paraît surtout placée très-mal à propos sur une section desservie exclusivement par des machines à 6 roues couplées et même plus, de sorte que l'action destructive due à l'inégalité des rayons des boudins et des jantes s'exerce d'une manière incessante.

Bavière:  
croisements en  
fonte.

291. En Bavière, l'administration a renoncé au fer pour revenir à la fonte, déjà bien des fois reprise et abandonnée. La pointe et les contre-cœurs, venus de fonte sur un bloc, sont pourvus de mises d'acier rivées. Ce bloc est muni de rebords latéraux qui servent à le fixer, au moyen de crampons, aux traverses qu'on recommande de substituer aux longrines, précédemment en usage en Bavière.

Difficulté d'éviter  
les chocs  
au passage  
des croisements.

292. La répartition des pressions entre la pointe et les contre-cœurs suppose leur liaison assez complète pour que ni l'une ni les autres, ne puissent se dérober sous la charge, et le niveau relatif de leurs faces supérieures, ainsi que le profil des bandages, dans un état en quelque sorte théorique. En fait, il est rare que ces conditions soient remplies, et qu'une roue franchisse un croisement sans éprouver, dans un sens ou dans l'autre, une dénivellation plus ou moins prononcée; de là des chocs qui entraînent la rapide détérioration du système, surtout quand les roues l'attaquent par la pointe. Cette circonstance ne se présente guère, heureusement, sur les chemins à deux voies, pour les pointes franchies en vitesse, celles qui sont placées vers l'origine des voies de garage et des voies de raccordement des voies principales étant toujours attaquées par le talon, ainsi que les aiguilles. Mais il n'en est pas de même des voies dans lesquelles les trains s'engagent sans refouler, c'est-à-dire des embranchements, et des garages sur les chemins à une seule voie. Les inconvénients d'une

continuité imparfaite sont alors beaucoup plus graves.

293. On a tenté à diverses reprises de les faire disparaître par un moyen radical, c'est-à-dire en supprimant la solution de continuité elle-même. Il suffit pour cela de substituer aux contre-cœurs deux bouts de rail, fixés parallèlement sur un plateau mobile; chacun d'eux, amené en contact avec la pointe, établit la continuité sur la voie à laquelle il appartient. Mais la nécessité de rendre le mouvement du plateau solidaire à coup sûr avec celui des aiguilles, au moyen d'une transmission fort longue, restreint l'application de cet expédient à un très-petit nombre de cas. Quant à l'action automatique, possible seulement, d'ailleurs, pour les trains qui prennent le croisement par la pointe, elle n'est pas plus admissible en pratique pour le croisement que pour les aiguilles elles-mêmes. Ce mode de manœuvre avait été admis, il y a plusieurs années, pour les angles obtus de la traversée de voie qui existait au Vésinet (voie de départ du chemin atmosphérique et ancienne voie de retour du Pecq, la seule qui subsiste aujourd'hui); mais on n'avait pas tardé à y renoncer et à prescrire la manœuvre à la main.

Croisements  
mobiles.

La mobilité des éléments est en effet trop compliquée, et même dangereuse; mieux vaut s'en tenir aux pointes fixes, en cherchant à atténuer la rapidité de leur destruction et son influence nuisible sur le matériel roulant.

294. On remarque, sur plusieurs chemins allemands, une singulière profusion de types de croisement. En Hanovre, par exemple, il n'y a pas moins de vingt et une pointes différentes dont les déviations, variant de  $\frac{1}{5}$  à  $\frac{1}{19}$ , correspondent à des rayons compris entre 87<sup>m</sup>,60 et 467<sup>m</sup>,20. L'exagération est manifeste. Il y a tout avantage à restreindre le nombre des types pour simplifier la construction et l'entretien, et d'ailleurs il importe bien plus encore d'éviter les déviations outrées.

Multiplicité  
des types  
de croisement.

Cette excessive multiplicité est du reste, en partie, la conséquence de l'exclusion systématique des plaques tournantes, très-rares dans la plupart des gares du nord de l'Allemagne.

Un petit nombre de pointes suffit cependant, d'autant mieux qu'un même angle peut être combiné avec des rayons de courbure très-différents.

Changement  
de voie  
à raccords  
tangentiels.

Le rayon  $r$  étant donné, tout le reste s'ensuit, si l'on part du principe général en matière de tracé, c'est-à-dire du raccordement des alignements par un arc tangent à l'un et à l'autre.

$\rho$  étant la largeur du rail,  $m$  le jeu nécessaire au passage des mentonnets,  $v$  la largeur de la voie, on a alors :

	VOIE SE BIFURQUANT avec déviations d'un seul côté.	VOIE SE BIFURQUANT avec déviations à droite et à gauche.
Longueur des aiguilles ( $l$ ) . . . . .	$\sqrt{2r(\rho + m)}$	$\sqrt{r(2\rho + m)}$
Distance du talon de l'aiguille à la pointe du croisement ( $d$ ) . . . . .	$\sqrt{(2r-v)v}$ soit $\sqrt{2rv}$	$\sqrt{rv}$
Tangente de l'angle ( $\alpha$ ) de la pointe . . . . .	$\text{tang } \alpha = \sqrt{\frac{2v}{r}}$	$\text{tang } \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{v}{r}}$

La ramification *symétrique* du tronc en trois voies n'introduit évidemment pas d'éléments nouveaux. La longueur des aiguilles est la même que dans le premier cas. Les deux pointes *extérieures* sont celles relatives à ce cas, et la pointe *intérieure*, celle qui se rapporte au second.

La symétrie n'existe pas toujours. Si, par exemple, dans le cas d'une simple bifurcation, le tronc ne se raccorde pas avec les deux branches par des arcs de rayons égaux, il ne résulterait pour les deux aiguilles conjuguées des longueurs théoriques inégales.

Les changements triples sont souvent aussi dissymétriques. Mais tout cela est trop simple pour insister sur les valeurs particulières des éléments dans chaque cas.

Il n'y a, dans ce système à raccordement tangentiel, de déviation à l'instant de l'entrée en courbe que par suite de la forme rectiligne de l'aiguille, et la valeur de cette déviation est :  $\text{tang } \beta = \frac{\rho + m}{l}$ .

Modifications  
de ces éléments.

Mais c'est seulement aux bifurcations des voies principales qu'il convient d'appliquer ces éléments, et encore s'en écarter-

t-on pour les aiguilles, qui seraient fort longues et difficiles à manœuvrer. Pour une courbe de 400 mètres, par exemple, on aurait, en admettant  $\rho = 0^m,06$  et  $m = 0^m,05$ ,  $l = 9^m,50$ . Si l'on réduit cette longueur à 5 mètres, en raccourcissant

l'aiguille à partir du talon, la déviation devient  $\text{tang } \beta = \frac{0,11}{5} = \frac{1}{45,5}$ , ce qui n'a rien d'excessif.

Dans les gares, c'est en général la longueur  $d$  qui est donnée; et comme l'arc de cercle théorique serait en général beaucoup trop roide, il est à propos d'augmenter le rayon en renonçant, par suite, au raccordement tangentiel. On y trouve le double avantage de faciliter le mouvement des véhicules, et de réduire le nombre des types de croisements. Une même longueur d'aiguilles, un même rayon, et une même pointe, s'appliquent ainsi à des changements de longueurs très-différents; la déviation à l'entrée varie seule.

C'est ainsi qu'en France, deux angles, ordinairement 9 et 15°, suffisent pour tous les rayons compris entre 300 mètres et au delà, et 100 mètres environ, limite atteinte seulement pour les voies qui donnent accès aux remises de wagons.

295. On commence en Allemagne, mais timidement encore, à sortir de l'inutile complication qu'on s'imposait à cet égard. Ainsi, en Hanovre, le nouveau règlement admet en principe une seule longueur d'aiguilles (5<sup>m</sup>,03) pour les déviations d'un seul côté; mais pour les déviations doubles et très-roides, cette longueur peut varier, et doit être fixée dans chaque cas. On renonce aux vingt et un types de croisements, mais on en

conserve encore quatre :  $\frac{1}{12}$ ,  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{9}$  et  $\frac{1}{8}$ , pour les déviations simples, sans compter ceux à fixer, corrélativement avec la longueur des aiguilles, pour les déviations doubles.

296. Au chemin central Suisse, il y a encore 6 angles différents, savoir : 3 pour les changements à deux voies avec déviation d'un seul côté, et pour les pointes extérieures des changements symétriques à trois voies; et 3 pour les pointes intérieures de ces derniers ou pour les pointes des changements à deux voies avec déviations à droite et à gauche :

Central suisse.

RAYONS de rac- corde- ment. (r)	DISTANCES de la pointe de l'aiguille à la pointe du croisement.		ANGLES DES POINTES.			
	Changement à deux voies avec déviation d'un seul côté ; et changement à trois voies symétrique, pointes extérieures. $(\sqrt{2rv})=d.$	Changement à deux voies avec déviation des deux côtés ; et changement à trois voies symétrique, pointes intérieures. $(\sqrt{rv})=d'.$	Changement à deux voies avec déviation d'un seul côté ; et changement à trois voies symétriques, pointes extérieures. ( $\alpha$ )		Changement à deux voies avec déviation des deux côtés ; et changement à trois voies symétriques, pointes intérieures. ( $\alpha'$ )	
			Valeur théorique. ( $\tan \alpha = \frac{d}{r}$ )	Valeurs réelles	Valeur théorique. $\tan \frac{\alpha'}{2} = \frac{d'}{r}$	Valeur réelle.
mètres.	mètres.	mètres.				
240	26,80	19,00	6° 22'	6° 40', 6° 29'	9° 4'	9° 32'
180	23,21	16,47	7° 20'	7° 31', 7° 12'	10 28'	10 36
135	20,17	14,30	8 30'	8° 31', 8° 24'	12 6'	11 54

Il y a même une 7° pointe, de 11° 30', applicable seulement aux croisements des voies qui convergent vers les plaques tournantes.

Pose en courbes. 297. La nouvelle instruction relative à l'établissement des changements de voie sur le chemin de fer du Hanovre recommande: 1° de ménager de part et d'autre de la pointe une petite longueur en ligne droite, variable de 1<sup>m</sup>,75 à 4<sup>m</sup>,70; 2° de placer, dans les courbes de changements de voie, le rail extérieur sur des platines à quatre crampons; l'expérience prouvant, dit-on, que le mode d'attache ordinaire est insuffisant pour résister, dans les courbes de petit rayon, à la poussée qu'exercent les mentonnets, non par suite de la force centrifuge, que la surélévation doit détruire, mais par suite du parallélisme des essieux.

Sur quelques chemins, les traverses sont contre-butées vers l'extérieur, dans les courbes des voies principales, par un gros piquet. On n'en place ordinairement qu'aux traverses de joint; quelquefois cependant on en a mis à toutes les traverses. Sur quelques parties du chemin Saxo-Bavarois, cette mesure plus gênante qu'utile, a été appliquée même en alignement droit, et par suite de chaque côté.

Rareté  
des changements  
à trois voies.

298. Les changements à trois voies sont peu nombreux en Allemagne, où l'on ne s'est guère attaché à ménager l'espace et à faciliter les manœuvres dans les gares.

299. Le mécanisme qui sert à manœuvrer les aiguilles ne présente guère, en Allemagne, de particularités dignes d'intérêt. Sur la plupart des voies nouvellement construites (il n'y a guère que le duché de Bade qui fasse exception à cet égard), les contre-poids sont mobiles sur les leviers, disposition dont les avantages sont bien connus: le plus saillant est la faculté de confier à un seul agent plusieurs aiguilles, lors même qu'elles doivent être manœuvrées presque simultanément; ce qui est évidemment impossible avec les contre-poids calés à demeure, qui doivent être maintenus soulevés à la main pendant tout le temps du passage des trains prenant ou quittant la voie oblique. L'abandon prématuré du contre-poids fixe, par un aiguilleur inattentif, constitue d'ailleurs un danger d'une certaine gravité.

Le contre-poids fixe n'a qu'un avantage; c'est d'ouvrir toujours la même voie, d'établir à coup sûr, quand il est au repos, la continuité suivant la même direction. Cette considération n'est pas sans quelque importance pour les chemins à deux voies, sur lesquels les deux directions que desservent les aiguilles sont, la plupart du temps, très-inégalement fréquentées. Elle n'est pas cependant de nature à balancer les avantages de la mobilité du contre-poids.

Considérés comme *self-acting* pour les véhicules qui cheminent du talon des aiguilles vers la pointe, les deux systèmes sont d'ailleurs identiques, puisque la mobilité du contre-poids n'est point alors en jeu. Cette propriété automatique des aiguilles à contre-poids n'a, au surplus, qu'une importance très-secondaire. Un léger obstacle suffit pour la paralyser; les wagons courraient risque, surtout si la vitesse n'était pas très-faible, de sauter par dessus les aiguilles. Celles-ci sont d'ailleurs brusquement ramenées par le contre-poids, dès qu'une

Mécanisme  
pour  
la manœuvre  
des aiguilles.

Comparaison  
du contre-poids  
fixe sur le levier,  
et du  
contre-poids  
mobile.

paire de roues les abandonne, et tout le système éprouve ainsi, lorsqu'il est franchi par un train, une série de chocs destructeurs; aussi n'est-ce guère que pour les manœuvres de machines isolées, assez stables pour se frayer sûrement un passage, qu'on met à profit la propriété automatique des aiguilles attaquées par le talon. Pour les trains, quel que soit le sens de leur marche, l'intervention de l'aiguilleur est nécessaire: pour maintenir le poids soulevé, pendant leur passage, s'il est calé sur le levier; — pour le tourner avant le passage des trains et le ramener aussitôt après, s'il est mobile.

Mécanisme spécialement applicable aux chemins à une voie.

500. Si l'ouverture des aiguilles par les trains venant du tronçon commun avait assez d'importance pour subordonner à cette condition l'arrangement du mécanisme, le contre-poids devrait évidemment être disposé de manière à maintenir les aiguilles dans la position qu'elles ont prise sous l'action de la première paire de roues; le changement serait alors franchi par tout le train sans chocs, sans risque de déraillement. Le contre-poids, n'ayant plus d'autre objet que de placer de chaque côté les aiguilles à fond de course, maintiendrait ouverte l'une ou l'autre des voies indifféremment: état de choses très-admissible, du reste, sur les chemins à une voie, les trains étant dirigés aussi souvent sur la voie de garage que sur la voie principale; de sorte qu'il n'y a pas de raisons pour que le contre-poids ramène les aiguilles dans une position plutôt que dans l'autre.

C'est effectivement pour les chemins à une voie qu'un ingénieur autrichien, M. Bender Woolf, a proposé une disposition qui a reçu en Autriche des applications assez nombreuses. La bielle qui commande les aiguilles est articulée avec une manivelle de 0<sup>m</sup>.615, calée sur un arbre vertical qui porte également un manchon en fonte, surmonté de deux cames hélicoïdales.

Au-dessus de cette pièce est placé le contre-poids, cylindre en fonte, enfilé sur l'arbre, et terminé inférieurement par deux saillies qui remplissent exactement l'intervalle des cames. Un arrêt, fixé au bâtis qui porte la crapaudine et le palier sur

périeur de l'arbre, joue librement dans une rainure longitudinale du contre-poids, et l'empêche de tourner avec l'arbre.

Les éléments sont combinés de telle sorte que, quand les extrémités des aiguilles se déplacent d'une quantité égale à l'épaisseur minimum des mentonnets des roues, l'arbre tourne d'un angle plus grand que celui qu'embrasse la demi-projection d'une came; d'où il suit que le contre-poids, après s'être élevé en glissant sur l'un des côtés des cames, retombe de l'autre côté, et force l'arbre et par suite les aiguilles à continuer leur mouvement jusqu'à ce qu'ils atteignent leur autre position extrême.

Une rondelle, ou sorte de *rabat*, fixée sur l'arbre, limite l'excursion du poids, lorsque les aiguilles sont brusquement déplacées.

501. Suivant l'usage général en Allemagne, pour tous les changements de voie franchis par les trains, ce mécanisme est complété par un signal indiquant quelle est la voie ouverte. Il y a dans les appareils de M. Bender Woolf cette particularité que le signal est exactement le même pour la nuit et pour le jour. La lumière de la lanterne n'est pas visible; elle est renvoyée par un réflecteur conique sur chacun des deux disques opposés dont elle occupe le centre, et qui deviennent ainsi visibles de loin; ils sont, d'ailleurs, infléchis de manière à être également éclairés en tous leurs points.

En Hanovre, le signal, solidaire avec les aiguilles, se compose de deux disques placés à angle droit et supportés par une tige verticale, qui tourne de 180° quand les aiguilles décrivent leur course complète. L'un des disques a une face blanche et l'autre verte; il présente l'une ou l'autre aux trains, suivant le sens de leur marche et la direction à la voie ouverte par les aiguilles; le second disque, rouge sur ses deux faces, ne doit présenter que sa tranche; il ne devient visible que si les aiguilles ne sont pas à fond de course, et commande alors l'arrêt. Pour la nuit, les mêmes indications sont données par une lanterne à feux blanc, vert et rouge.

Ces signaux, trop multipliés, pourraient engendrer une véritable confusion. Aux termes de l'instruction, déjà citée, un mécanicien qui entre en gare ne doit voir qu'une seule couleur: blanc ou vert, quand les communications des voies sont dans leur état normal.

Signaux de changements de voie.

Hanovre.

## § III. — PLAQUES TOURNANTES.

Plaques  
tournantes.

302. J'ai déjà signalé plus haut la rareté des plaques tournantes sur la plupart des chemins du nord de l'Allemagne. On reproche aux plaques elles-mêmes d'exiger des réparations très-fréquentes, et aux manœuvres à bras d'entrer pour une part très-notable dans la dépréciation du matériel de transport. On commence cependant à être moins absolu à cet égard et à reconnaître que si les plaques font un mauvais service, c'est qu'elles sont mal construites; que les changements de voie ont bien aussi leurs inconvénients, et qu'enfin les deux modes de raccordement des voies doivent être combinés, dans les gares d'une certaine importance, sous peine de rendre le service extrêmement lent, difficile et coûteux.

303. Il est vrai que pour les manœuvres de matériel vide, on tire souvent un très-bon parti d'un appareil trop négligé en France, le chariot : on fait, dans le duché de Bade surtout, un usage continu de ces chariots, construits en tôle. L'excès de hauteur des rails suspendus au châssis est racheté, non comme dans la plupart des chariots essayés en France, par des appendices à articulations, mais par un plan incliné qu'un contre-poids maintient soulevé. Ce mode de raccordement est préférable, quoiqu'il ne soit pas encore tout à fait satisfaisant.

Plaques  
pour wagons.  
Elles sont  
généralement  
fondées  
sur maçonnerie.

304. Les plaques pour wagons sont, en général, construites avec beaucoup et souvent avec trop d'économie. On persiste, en même temps, à consacrer à l'installation, des dépenses qui seraient bien plus utilement reportées sur l'appareil lui-même. Ces plaques sont générale-

ment fondées sur maçonnerie au lieu d'être établies, comme on le fait depuis longtemps en France, sur des couronnes en charpente qu'on relève et qu'on bourre sans plus de difficulté que les traverses elles-mêmes. Cette disposition coûteuse, inutile (nuisible même, puisqu'elle complique le remaniement si fréquent des voies), se remarque même dans des gares de construction toute récente, comme celle du chemin heßsois, à Mayence.

Le fond de la fosse est ordinairement en moellon brut avec zone en pierre de taille pour recevoir le rail circulaire. Les parois sont revêtues en briques avec couronnement en chêne. Les plaques pour wagons, à écartement d'essieux de 4<sup>m</sup>,86, coûtent, en Hanovre, 2.920 francs en moyenne. Ce chiffre, comprenant la fondation, varie un peu avec la nature du terrain.

305. Les grandes plaques des dépôts, pour machine et tender, ont été plus étudiées. On rencontre des types variés dont quelques-uns sont bien entendus, à la fois légers, économiques et solides.

Plaques  
pour machines  
et tenders.

Ces grandes plaques n'ont très-souvent qu'une voie; elles se réduisent parfois à un seul pont; mais on préfère aujourd'hui, pour la commodité du service, recouvrir entièrement la fosse.

Au chemin saxo-bavarois (gare de Leipzig), le pont est formé de deux poutres en treillis solidement entretoisées par la traverse qui s'appuie sur le pivot, par les flasques qui chargent les galets extrêmes, et par des croix de Saint-André intermédiaires. La roideur des poutres a permis de supprimer le rang de galets intermédiaires dont on fait ordinairement usage : suppression qui simplifie notablement la fondation, car elle fait disparaître aussi la tour en maçonnerie destinée à recevoir le rail correspondant, ou permet de réduire le massif central, si cette tour se confond avec lui. Le tablier de la plaque, entièrement couverte, est supporté de chaque côté du pont par quatre corbeaux dont les contre-fiches viennent s'attacher à un poin-

çon suspendu à la poutre et descendant presque jusqu'au fond de la fosse, de manière à réduire à son minimum la compression des contre-fiches. De fortes entretoises relient à leurs extrémités les poutres et les corbeaux.

Au chemin central suisse (Pl. VII, *fig. 6*), le pont est supporté au milieu par un châssis auquel est boulonnée la douille qui reçoit le pivot. Ce châssis est porté à chaque bout par un galet, de sorte que le pivot ne supporte aucune charge et n'a d'autre fonction que d'empêcher le mouvement de translation; mais aussi le massif central de fondation est considérable.

Les grands galets extrêmes sont disposés comme dans la plaque de Leipzig.

Mécanisme  
de manœuvre.

Le mécanisme de manœuvre présente une disposition particulière dont tout le mérite paraît, du reste, consister dans son originalité. La rotation de la plaque est déterminée, comme à l'ordinaire, par l'adhérence de deux des grands galets; les deux manivelles de commande sont calées sur un petit arbre, dont les paliers sont supportés par le prolongement du châssis central. Un double engrenage conique transmet le mouvement du petit arbre à un long arbre parallèle au premier, placé au niveau de la plaque, et qui commande lui-même chacun des galets au moyen d'un autre engrenage conique.

On ne voit pas trop ce qu'on gagne à grouper ainsi les deux manivelles de manœuvre au lieu d'appliquer à chaque galet un mécanisme séparé.

Dans quelques gares, les grandes plaques, placées en dehors des dépôts, sont manœuvrées simplement au moyen de deux longs leviers en bois qu'on embarre dans des manchons en fonte, inclinés, et boulonnés sur la plaque. Telles sont celles du chemin de Saarbrück, construites à Düren. Ce sont de simples ponts, formés de deux poutres en tôle, supportant de chaque côté un trottoir de service, soutenu par des corbeaux en tôle. Une telle plaque coûte 4.800 francs, y compris le rail circulaire et le couronnement en fonte de la fosse, mais non compris la maçonnerie.

Les grandes plaques du Hanovre, de 10<sup>m</sup>,66 de diamètre, sont formées d'un pont en bois et fer. Elles coûtent 8.510 francs. Il faut pour les manœuvrer de 4 à 8 hommes, suivant le poids de la machine et le règlement de la plaque.

306. Le défaut d'espace peut conduire dans certains cas à transporter le pivot du pont du milieu de son axe à une extrémité, comme dans les ponts tournants à simple volée. Cette disposition, qu'on rencontre aussi dans la gare du Great-Western, à Londres, a été appliquée dans la gare du chemin de Posen, à Stettin, pour rattacher aux voies principales la remise des wagons. On a pu utiliser ainsi pour ce raccordement, un angle de terrain très-aigu dont il eût été impossible de tirer parti autrement, et améliorer sensiblement par là l'aménagement d'un espace à peine suffisant.

Plaques  
à pivot extrême.

#### § IV. — PASSAGES A NIVEAU.

307. On les établit quelquefois en posant le rail américain sur longrines (chemin du Main au Necker), ce qui a l'avantage de faciliter la sur-élévation à donner aux contre-rails pour protéger les rails de la voie contre les atteintes des roues; sur-élévation obtenue, avec les rails à champignons, par une sur-épaisseur locale de la semelle du coussinet double. Mais la pose se fait généralement sur traverses, et souvent avec une double plaque d'assise à l'origine des inflexions du contre-rail (*fig. 7*).

Passages  
à niveau.

En Prusse, on emploie quelquefois des rails spéciaux analogues à ceux des voies de fer établies sur les routes ordinaires, et cloués sur des longrines (*fig. 8*, chemin de Westphalie, 41<sup>m</sup>,7 le mètre; *fig. 9*, chemin de l'Est, 40 kil. le mètre).

308. Les passages à niveau sont très-multipliés en Allemagne, surtout dans le Nord, et on se contente ordinairement du mode de fermeture le plus simple, une lisse glissante ou à bascule. Dans l'origine, un garde était affecté à chacun de ces passages; mais l'exagération était trop évidente pour qu'on ne cherchât pas à confier au même garde deux passages, et même trois.

Barrières.

Barrières  
à transmission  
de mouvement.

Quand il ne s'agit que d'imprimer à une lisse un mouvement de bascule, il est facile d'agir à distance au moyen d'une transmission de mouvement semblable à celle dont on tire en France un si grand parti pour la manœuvre des signaux fixes. Cette disposition (Pl. VII, fig. 10), introduite pour la première fois sur le chemin de Magdebourg à Vittenberg, est appliquée sur les chemins de Berlin à Dresde, de Cologne à Minden, de Bruchsal à Bietigheim; mais c'est surtout en Hanovre qu'elle s'est généralisée. Elle a permis de supprimer sur les chemins hanovriens plusieurs centaines de garde-barrières, tout en limitant l'application du système aux passages que le garde voit parfaitement de son poste.

Avec l'installation la plus simple, la transmission est parfaitement assurée à la distance de plus de 500 mètres. A cette distance, la dépense pour un appareil double (un de chaque côté de la voie) n'excède pas 280 francs, à moins que la bascule ne se meuve pas dans le plan vertical du fil, ce qui exige des poulies de renvoi établies sur des poteaux d'un fort écartement et arcbutés par des contre-fiches pour résister à la poussée.

Sur le chemin badois, un garde a ordinairement trois passages à surveiller; celui du milieu, autant que possible le plus fréquent, est fermé par une lisse glissante manœuvrée directement; ceux de droite et de gauche sont fermés par une bascule, manœuvrée par transmission.

Sur le chemin de Minden, il est interdit aux gardes de manœuvrer les barrières à distance dès que le brouillard ou toute autre cause les dérobe à leur vue. Ils doivent alors se transporter à chacune d'elles.

En Prusse, l'administration a autorisé les compagnies à appliquer ce système; mais elle a prescrit l'addition d'un signal acoustique, destiné à avertir le public quelques instants avant la fermeture. On emploie un timbre fixé sur le sommet du dernier support et dont le marteau est mù par un fil spécial (fig. 11).

## § V. — RÉCEPTION DES RAILS.

### DISCUSSION DES CONDITIONS.

#### 1° Conditions relatives au mode de fabrication.

309. Il semblait naturel de redouter pour les rails l'action de l'oxydation; l'expérience prouve qu'ils lui échappent complètement, sous l'influence du passage des trains.

Réception  
des rails.  
Discussion  
des conditions.

L'expérience a également prononcé sur le degré de réalité de l'altération moléculaire, si longtemps suspendue comme une menace sur tous les solides en fer, indistinctement, soumis à des vibrations. Lorsque l'accroissement simultané du poids des machines et de la vitesse a multiplié sur certaines lignes les ruptures de rails, devenus trop faibles, beaucoup de personnes ont mis en avant cette explication fort peu rassurante d'une diminution de la résistance en rapport avec une modification graduelle de l'arrangement moléculaire (1); le remède a même été proposé et quelquefois appliqué, — le recuit. C'est ainsi qu'on a, dit-on, coupé court, à une certaine époque, à des ruptures qui se renouvelaient d'une manière inquiétante sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon. Mais en admettant le fait, il faudrait y

L'altération  
moléculaire  
est nulle,  
ou si lente qu'elle  
est négligeable  
en pratique.

(1) Les ruptures, d'abord fort rares sur la ligne de Lyon, y sont devenues plus fréquentes à l'époque de la mise en service des machines dites du Grand-Central, qui pèsent, en tout, 37.800 kilog. avec 15.600 kilog. sur l'essieu moteur, limite supérieure de beaucoup à celle que le constructeur s'était engagé à ne pas dépasser. Malgré la force des rails (38 kilog.), il n'y avait pas besoin de chercher et on n'a pas cherché ailleurs la cause des accidents observés. On s'attache à combattre cette influence par un redoublement de soins dans l'entretien, et on étudie un type de machines assez puissantes sans être aussi désastreuses pour la voie.

voir, non une confirmation de l'hypothèse en question, mais simplement un effet bien connu du recuit; appliqué avec les ménagements nécessaires (sans quoi l'effet serait exactement inverse), il rend le fer moins cassant, plus ductile, mais aux dépens de sa dureté. Une pratique qui rend les rails mous quand il faut, à tout prix, des rails durs, ne peut être proposée sérieusement, aujourd'hui moins que jamais. Ce n'est pas quand le recuit est unanimement condamné pour les essieux de chemins de fer, malgré l'exemple contraire donné pendant longtemps par plusieurs grands établissements de messageries, qu'on peut songer à l'appliquer aux rails.

L'altération moléculaire des essieux est encore soutenue par quelques ingénieurs, surtout en Allemagne, où l'on trouve à l'appui de cette thèse une apparence d'arguments dans des ruptures relativement fréquentes. Peut-être est-il facile d'assigner les causes locales de ces accidents, dont les chemins de fer de France et d'Angleterre sont presque entièrement exempts. Mais ce qu'il y a de certain, c'est que si la transformation dont il s'agit a quelque réalité pour les rails, sa marche est si lente qu'elle est tout à fait hors de cause dans la question de leur durée.

310. La situation des rails est en somme bien meilleure qu'on ne le supposait dans l'origine. Ils s'usent, voilà tout. Ce sont des instruments de travail qui se déprécient seulement en raison du travail qu'ils accomplissent, des bénéfices qu'ils produisent : propriété fort heureuse et qui n'est pas générale, loin de là. Les traverses, par exemple, sont loin de la posséder. Leur destruction est surtout l'effet des influences atmosphériques, et des réactions spontanées de leurs éléments. Elle est à peu près indépendante de leur travail, de sorte qu'elle grève presque autant les lignes à faible

Les rails sont dans des conditions plus favorables qu'on ne devait le supposer.

trafic que les chemins les plus favorisés sous ce rapport.

311. Très-bonne dans les débuts des chemins de fer, la qualité des rails n'a pas tardé à éprouver une dépréciation rapide, formant un contraste choquant avec les progrès soutenus, réalisés dans la construction du matériel de transport, et d'autant plus malencontreuse qu'elle coïncidait avec l'accroissement simultané du trafic, de la vitesse, et du poids des machines. Deux causes évidentes ont contribué tour à tour à cette décadence : tantôt l'avitissement des prix qui excluait la qualité; tantôt la précipitation des usines débordées par les commandes, et l'obligation pour les chemins de fer d'accepter à peu près tout ce qu'on leur livrait, bon ou mauvais.

312. Mais si beaucoup de compagnies ont visé outre mesure au bon marché et grevé ainsi l'entretien au profit de la construction, si d'autres ont dû subir les exigences du moment, la médiocrité si générale des rails tient aussi à d'autres causes : entre autres, et surtout peut-être, aux conditions stéréotypées pendant si longtemps dans presque tous les cahiers de charges, et qui sont à certains égards en opposition formelle avec les qualités qu'on doit surtout rechercher dans les rails. Par cela seul d'ailleurs, qu'elles imposaient à la fabrication, des règles fixes, uniformes, sans tenir compte de la diversité que présentent, d'une usine à l'autre, les éléments mis en œuvre; en prétendant régler, par une consigne absolue, une matière essentiellement mobile et délicate, les compagnies ont créé un obstacle très-sérieux à l'amélioration des rails, et comprimé l'esprit de recherches et le progrès.

La netteté, l'absence complète de défauts sur les surfaces de roulement, sont des conditions de rigueur. On

Dépréciation de la qualité des rails.

Règles uniformes imposées pour la fabrication : leurs inconvénients.

Composition mixte des paquets.

a cherché à les concilier avec l'économie; de là, la composition mixte des paquets, stipulée invariablement presque partout, comme un point hors de discussion.

On sait cependant que, par le seul fait de leur teneur différente en carbone, le fer brut et le fer corroyé se soudent difficilement. Le premier arrive avant l'autre à la température qui conviendrait à son soudage sur lui-même; celle qui convient à l'autre est trop élevée pour lui. Le marteau seul peut, et encore incomplètement, lutter contre cette difficulté; quant au laminoir, il peut masquer les défauts de soudure, mais rien de plus. C'est ainsi qu'on a des champignons mal soudés, qui s'exfolient, effet qu'aggrave fréquemment le défaut de dureté du corroyé; l'apparence peut être belle, les surfaces de roulement bien nettes, mais sous cette enveloppe se cachent de graves défauts.

On a proposé quelquefois de recouvrir entièrement les paquets de fer corroyé, afin de protéger complètement le fer brut contre les excès de température que l'autre redoute moins; mais c'est sacrifier plus encore à l'apparence sans profit pour la qualité.

315. Sans doute, l'association de fers chimiquement différents n'est pas l'unique obstacle à une soudure irréprochable; avec des fers aussi impurs que le sont généralement les fers bruts pour rails, la continuité est souvent interrompue par des filets de laitier (1); de sorte que la mauvaise soudure tient non-seulement au défaut d'homogénéité, mais aussi pour une certaine part, à l'im-

(1) En tronquant les rails destinés aux expériences citées (171) de M. Weishaupt, on a remarqué que les burins en acier s'ébréchaient contre des filets de cette nature. Le même fait s'observe souvent dans les ateliers où on rabotte des rails par changements de voies.

pureté, mécaniquement plus encore que chimiquement, du fer brut qui forme la masse du paquet. Mais on sait que la présence d'une certaine quantité de laitiers n'est pas un inconvénient aussi grave qu'on pourrait le croire, parce qu'elle assure, du moins, le décapage des mises, et est, sous ce rapport, favorable à leur soudure.

L'emploi de fers de nature différentes est certainement la cause la plus grave d'un des vices capitaux des rails, leur mauvaise soudure. En formant les paquets exclusivement de fer n° 1, mais de fer n° 1 convenablement épuré, ou naturellement assez pur, on pourrait probablement tout concilier: netteté des surfaces, dureté, soudure intime, économie.

On retomberait, il est vrai, sous le coup de cette ancienne objection, qu'avec des paquets homogènes, le champignon se trouve formé précisément du fer le moins comprimé. C'est la considération par laquelle M. Coste prétendait justifier le profil rectangulaire du rail qu'il avait proposé pour le chemin de Saint-Étienne, profil qui n'a pas trouvé d'imitateurs. C'est par une combinaison convenable des cannelures qu'il faut assurer la compression à peu près uniforme du métal, et non au prix des conditions les plus essentielles d'une bonne réparation de la matière.

314. L'homogénéité, par l'emploi exclusif du fer n° 2, a certainement des avantages, mais ils ne paraissent pas être en rapport avec le surcroît de dépense; il y a plus de quinze ans que ce coûteux expédient a été essayé et abandonné; les rails étaient parfaitement soudés, mais pas assez durs.

M. Brunel y revient cependant pour l'exécution de ses commandes de rails à l'usine de Blaina (pays de Galles); les paquets sont formés de 5 mises corroyées, ayant toute la largeur et la longueur du paquet. Cet habile ingénieur est donc partisan de l'homogénéité; mais il ne paraît pas s'être autrement préoccupé de la réaliser économiquement.

Interposition  
de filets  
de scories.

Paquets formés  
entièrement de  
fer corroyé.

Paquets formés  
entièrement de  
fer brut.

315. Il y a déjà plusieurs années que diverses usines du pays de Galles ont commencé à fabriquer, à titre d'essai, des rails entièrement en fer n° 1. J'ai vu en Hanovre des rails américains, en fer puddlé, sauf deux barres de corroyé formant les bords du patin, et qui font un excellent service. Ils sont à la fois bien soudés et durs. Quand des rails de cette nature ont de belles surfaces, on peut presque affirmer *a priori* leur bonne qualité. Il est vrai que la grande difficulté est précisément alors d'obtenir des surfaces exemptes de criques et de profondes gerçures. Ainsi, le lot placé dans les voies de Hanovre représente tout au plus le 1/4 ou le 1/5 de la fabrication; tout le reste avait dû être rejeté. Il était d'ailleurs tout à fait impossible de façonner le pied sans l'addition des deux barres de corroyé.

L'usine d'Ebb-Wale, une des plus importantes du pays de Galles, s'est livrée dernièrement dans le même sens et avec un succès plus complet à des essais suivis, sur lesquels je reviendrai plus bas (1). Ces tentatives ont été reproduites dans d'autres établissements placés dans des conditions plus favorables sous certains rapports. J'ai vu récemment, par exemple, fabriquer à l'usine de Couillet, près Charleroi, des rails américains, dont le patin seul est en corroyé; à la couverture inférieure on ajoute deux petits carrés qui donnent des bords plus sains. Toutes les mises sont coupées de longueur, et les paquets assez bien faits pour se passer de ligatures. Le fer brut ne pouvant être laminé en barres de toute la largeur du paquet, il y a nécessairement un joint dans le champignon; mais la soudure paraît complète. En ce qui touche les défauts visibles, ces rails sont irréprochables; sous ce rapport, la réception la plus sévère n'y

(1) Voir la note sur la fabrication des rails.

trouverait rien à redire. Quoique accidentelle encore, cette fabrication marche couramment et dans des conditions tout à fait industrielles.

L'existence d'un joint dans les couvertures, serait certainement inadmissible avec certains fers, mais il n'y a aucun motif pour la proscrire d'une manière absolue. Ainsi, cette circonstance se présente précisément dans les rails pour changement de voie, fabriqués par la société Jackson Pétin et Gaudet; les couvertures sont formées de barres d'acier puddlé, de même échantillon que celles des corps du paquet. Il est vrai que la perfection de la soudure est garantie tant par la nature même de la matière, que par les élaborations auxquelles elle est soumise. (Ce paquet subit deux corroyages au marteau-pilon, suivis d'un troisième réchauffage pour passage au laminoir.) Mais s'il y avait dans le seul fait de l'existence d'un joint au roulement, le moindre obstacle à leur soudure parfaite, ce vice ne manquerait pas de se manifester sous l'influence des actions qu'éprouvent les rails de changements de voie. Or, ceux dont il s'agit se comportent parfaitement.

316. L'emploi exclusif du fer brut est donc possible: sans restriction, pour les rails à deux champignons; et sauf l'addition d'une faible proportion de corroyé dans le patin, pour les rails américains. Il serait prématuré de prescrire, dès à présent, l'homogénéité; mais on est bien moins fondé encore à l'interdire, comme on persiste généralement à le faire. C'est, au contraire, dans la voie opposée qu'il faut pousser les usines. Elles ne demandent pas mieux, d'ailleurs, que d'y entrer. Plus libres, elles auraient certainement réalisé déjà des progrès dont tout le monde profiterait, et les compagnies de chemins de fer plus que personne.

Il n'y a pas, assurément, dans le matériel des che-

Joint à la surface  
de  
roulement.

Suppression  
des conditions  
relatives  
à la composition  
des paquets.

mins de fer de pièces plus importantes que les essieux ; a-t-on imposé cependant, aux maîtres de forge, un mode de fabrication déterminé, garanti par l'institution d'une sorte d'exercice, contrôle délicat confié parfois à des agents peu expérimentés ? Nullement. On ne s'est pas substitué au fabricant, on s'en est rapporté au véritable mobile, la concurrence, et à la notoriété bientôt acquise en pareille matière aux produits d'une supériorité réelle. Pourquoi ne pas appliquer aux rails le régime dont on s'est si bien trouvé chez nous pour les essieux ? Qu'on impose des conditions de réception sévères, une garantie prolongée, surtout ; qu'on exige de bons rails, en un mot, mais, pourvu qu'ils soient bons, qu'importe comment ils sont fabriqués ? A quoi bon cette espèce de surveillance de police instituée dans l'usine, et qui garantit, non la qualité des produits, mais simplement l'observation de certaines règles, d'une efficacité au moins suspecte ?

On commence, au surplus, en Allemagne, à concevoir des doutes sur les avantages de cette sorte de tutelle exercée sur les usines. Le gouvernement prussien s'est même décidé récemment, après mûr examen, à effacer de ses cahiers des charges toutes les prescriptions relatives au mode de fabrication des rails ; le gouvernement sarde a pris le même parti, et il y a déjà longtemps que plusieurs compagnies anglaises ont donné l'exemple à cet égard. Il est temps, je crois, de le suivre en France, et de restituer aux usines leur liberté d'action, en leur imposant pour toute condition celle de faire de bons rails, n'importe comment.

317. Si, au lieu de s'attacher à multiplier à l'infini les formes et les dimensions, les ingénieurs avaient réussi à tomber d'accord sur un petit nombre de types, les usines

Exemples  
de la Prusse,  
du Piémont  
et de l'Angleterre.

L'absence  
de tout contrôle  
de fabrication  
est l'état normal  
des choses.

auraient pu organiser la fabrication et la vente des rails sur le même pied que celles des fers marchands de divers échantillons, et il ne serait nullement question de contrôle de fabrication. Telles sont, évidemment, les conditions normales. On ne ferait donc, en renonçant dès à présent à ce contrôle, que se rapprocher de la situation régulière, définitive. Il n'est plus permis de méconnaître que le régime actuel manque complètement son but. Au chemin de ceinture autour de Paris, par exemple, le remplacement opéré aux frais du fournisseur, à l'expiration des deux années de garantie, s'est élevé à 14 p. 100. Que penser d'un contrôle de fabrication dont l'exercice sévère aboutit à un pareil mécompte !

Il est juste de dire que le fournisseur ne s'était sans doute pas rendu exactement compte de l'importance et de la nature toute spéciale du trafic de cette ligne. Le poids des trains qui circulent d'une gare à l'autre, la puissance des machines, toutes à roues couplées, et le défaut d'uniformité des gabarits de roues montées, constituent pour la voie des conditions très-onéreuses et sans précédents.

318. Si, comme il est permis de le conclure des faits cités plus haut, l'emploi exclusif ou presque exclusif du fer brut est un des progrès vers lesquels doit tendre la fabrication des rails, il ne sera possible, sans doute, dans certains cas, que grâce à des modifications plus ou moins profondes dans le travail du haut-fourneau et dans celui de l'affinage ; peut-être même est-il subordonné à certaines particularités de nature des matières premières, minéral et combustible. S'il en est ainsi, la production des rails tiendra à se localiser dans certains districts par suite de l'aptitude des minerais. Cette spécialité, fondée sur une véritable harmonie entre les propriétés des ma-

Restrictions  
possibles  
à l'emploi du fer  
n° 1 dans  
la fabrication  
des rails.

tières premières et les qualités essentielles des produits est, pour plusieurs branches d'industrie, une véritable loi naturelle; souvent méconnue pendant plus ou moins longtemps, elle devient, dès qu'elle est saisie et observée, le gage certain du succès. Il ne manque pas d'usines appelées à produire de très-bons fers marchands, qui forcent, pour ainsi dire, leur nature pour avoir leur part dans l'approvisionnement des voies de fer, auxquelles elles livrent de mauvais rails; il y aurait tout avantage, même pour elles, à les repousser de ce marché, en leur laissant libre celui que l'essence même de leur production leur assigne.

Conséquences  
d'une production  
forcée.

319. Presque partout, aujourd'hui, et en Angleterre plus qu'ailleurs, tous les efforts des fabricants de rails sont dirigés vers cet unique but, la puissance de la production; de là l'emploi si général de l'air chaud, qui permet de passer dans les charges une proportion considérable de scories de forges, riches en fer, mais riches aussi en soufre et en phosphore; de là, le traitement presque exclusif au four à puddler des fontes blanches, plus faciles à affiner que les fontes grises ou truitées (et qu'on soumet au mazéage quand elles sont par trop siliceuses), tandis que les usines qui, comme celle de Low-Moor, visent à la qualité, n'affinent que des fontes grises; de là encore le cinglage des loupes par des appareils expéditifs, plus économiques, mais aussi bien moins efficaces que le marteau dont, au surplus, les loupes ainsi obtenues ne pourraient généralement supporter l'action sans se briser ne éclats. Il est tout simple qu'on obtienne ainsi des fers très-médiocres, cassants à chaud et souvent à froid, et que des élaborations ultérieures amélioreraient médiocrement.

320. Il n'est plus permis, aujourd'hui, quand les rails travaillent sous des efforts doubles ou triples de la limite

admise ordinairement dans les constructions en fer, de considérer la qualité du métal comme à peu près indifférente. Nous sommes loin de regarder comme une nécessité cette exagération des charges, que nous précisons bientôt; mais il faut, tout en se renfermant à cet égard dans des limites raisonnables, s'attacher à relever la qualité. Ce n'est pas trop des deux moyens.

321. La structure du métal est aussi, surtout dans les cahiers des charges de date récente, l'objet de stipulations plus ou moins explicites, et qui excluent également l'homogénéité des paquets quand il s'agit de rails à large base; c'est ainsi que plusieurs cahiers des charges allemands exigent du fer à grain dans le chamignon, et du fer à nerf dans le pied.

Conditions  
relatives  
à la structure  
du métal.

Cette prescription était formelle pour les rails appliqués au renouvellement d'une partie des voies de Berlin à Francfort-sur-Oder. Ailleurs, pour le chemin de Minden, par exemple, on se borne à recommander cette particularité de structure, sans en faire une condition expresse.

Exemples.

Pour la ligne d'Aix à Dusseldorf, au contraire, on a exigé pour les couvertures du fer à grains, corroyé deux fois; les loupes, provenant du travail pour fer à grains au four à puddler, sont étirées au marteau, mises en paquets, chauffées et étirées une seconde fois au marteau; puis on les réchauffe de nouveau et on leur donne une dernière façon au laminoir pour les amener au degré de régularité voulu.

Chemins d'Aix  
à Dusseldorf.

La couverture inférieure est formée de barres corroyées également deux fois, mais au laminoir, et de  $2^{\text{cent.}}$  6 d'épaisseur au moins. Le centre du paquet est en fer brut, mais entre les mises centrales et la couverture inférieure on intercale des barres corroyées deux fois, provenant de l'affranchissement des bouts de rails, et dont la texture, en partie cristalline, établit la transition entre le fer fibreux du pied et le fer brut.

Le nouveau cahier des charges de l'administration des chemins de fer bavaois fixe également le mode de fabrication, mais seulement pour la couverture supérieure: elle doit être en fer dur et tenace, obtenu en soudant au marteau, des

Chemins  
bavaois.

loupes formées d'un mélange de fer belge au coke, de première qualité, et de fer allemand au bois; association dont les bons effets paraissent douteux.

Dans quelques usines anglaises, entre autres celle de Bradley, près Wolverhampton, on a composé comme il suit les paquets pour rails américains: couverture supérieure, formée d'une seule barre de fer au bois; corps du paquet, en fer puddlé brut; couverture inférieure, en fer à la houille corroyé. Le fer au bois et le fer à la houille diffèrent trop, en général, surtout par la teneur en silicium, bien plus abondant dans le second, pour qu'on puisse compter sur une bonne soudure. Ici, du moins, le champignon est homogène, avantage dont la méthode prescrite en Bavière est dépourvue; mais celle-ci a pour elle des transitions bien ménagées, et surtout l'action du marteau, qui doit suffire pour éviter la formation des pailles dans le champignon, malgré sa nature mixte.

Fer à grain.

322. Le fer à grain, plus dur que le fer à nerf, convient certainement mieux pour le champignon, pour lequel la dureté est d'une impérieuse nécessité. Quant à la résistance à la rupture sous une charge en repos, elle n'a, dans les fers communs, que des rapports fort éloignés avec le mode de texture; on voit des fers présentant des structures très-diverses, posséder exactement la même résistance. Il n'y a donc pas, à ce point de vue, de motifs de préférence déterminants entre le nerf et le grain, et il serait dès lors naturel de viser à l'uniformité de texture, c'est-à-dire à la production de rails entièrement à grains. Si même on rapproche, dans les expériences faites par M. Weishaupt, sur des rails à patins non tronqués, les résistances des structures correspondantes (176), on trouve que le maximum a été atteint par des fers entièrement à grains, l'un gros (n° 1 *Laura*), l'autre fins (n° 10 *Laura*), tandis que le minimum appartient à des fers entièrement à nerf (n° 6 *Eschweileraue*, n° 11, *Röthe-Erde*).

323. C'est en vue de la résistance aux chocs qu'on introduit, pour les rails américains, la condition du fer nerveux dans le pied; condition favorable d'ailleurs à la netteté des surfaces du pied lui-même, le fer nerveux, plus ductile que le fer à grain, s'étirant plus facilement sans formation de criques sur les bords.

L'aptitude plus spéciale des fers fibreux à résister aux chocs réside dans la grandeur de leur allongement de rupture, et, par suite, dans la grandeur de la flèche de rupture quand il s'agit du choc transversal.

Cet allongement varie, même en considérant seulement les fers les plus ordinaires, entre des limites extrêmement larges. Ainsi, en soumettant à la traction des échantillons de tôle, M. Hodgkinson a trouvé des chiffres compris entre  $\frac{1}{160}$  et  $\frac{1}{8}$ , tandis que les résistances variaient seulement de 28<sup>k</sup>,34 à 33<sup>k</sup>,06.

324. Il est souvent difficile de déterminer, à coups de mouton, la rupture totale d'un rail dont le pied est formé de fer très-ductile; le champignon est brisé depuis longtemps, mais le pied s'étire et résiste toujours. Il est donc à peu près impossible que de semblables rails se rompent complètement dans le service.

Mais un fer peut, quoiqu'à nerf, résister médiocrement au choc, longitudinal ou transversal, soit parce que la grandeur de l'allongement ou de la flèche de rupture est compensée et au delà par la faiblesse de la résistance moléculaire, soit même parce que l'allongement et la flèche sont faibles, en dépit de la texture. De deux fers, l'un à grains, l'autre à nerfs, il peut arriver, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer (184) que le premier s'allonge ou fléchisse plus que le second sous la charge-limite en repos.

Fer à nerf.  
Résistance  
au choc.

Un fer à nerf  
peut néanmoins  
résister  
médiocrement  
au choc.

Relation  
approchée  
entre  
les résistances,  
statique  
et au choc.

Il est à regretter que M. Weishaupt ait négligé les observations de résistance au choc, et laissé ainsi une lacune dans son intéressante série d'expériences; on peut du reste y suppléer en partie, en remarquant que le produit d'une charge statique par la flèche correspondante, exprime, avec un degré d'approximation tolérable, le double de l'intensité du choc qui développerait dans le solide les mêmes efforts moléculaires *maxima*.

Cette relation suppose que le prisme affecte, sous des chocs d'intensité croissante, les mêmes formes successives que sous des charges en repos croissantes; hypothèse inexacte, et d'autant plus éloignée de la vérité, que le corps choquant possède à intensité égale une plus grande vitesse, et par suite une moindre masse. A la limite, quand il s'agit des projectiles, par exemple, les effets sont d'une tout autre nature: ils se concentrent entièrement sur la région qui reçoit le choc; il y a *pénétration*, sans flexion.

Le résultat en question est même médiocrement applicable aux conditions habituelles des expériences de choc faites sur les rails, la masse de la pièce d'essai étant très-loin d'être négligeable relativement à celle du mouton, qui a ordinairement une chute de plusieurs mètres. Mais l'application est plus admissible quand il s'agit de déduire des épreuves statiques la résistance au choc des rails dans le service, la hauteur de chute du corps choquant, quel qu'il soit, étant alors très-limitée.

Cette déduction est d'ailleurs, toutes choses égales du reste, d'autant moins légitime qu'on s'approche plus du point de rupture, puisqu'elle est fondée sur l'hypothèse d'une proportionnalité constante entre les efforts élémentaires et les variations de longueur correspondantes. Toutefois, les expériences bien connues faites en Angleterre indiquent qu'on obtient ainsi, quand il s'agit du fer, une approximation suffisante en pratique, même jusqu'à la rupture. Or si l'on groupe, dans le tableau du n° 176, les expériences pour lesquelles tous les éléments numériques, ainsi que la texture du métal, ont été indiqués, on forme le tableau suivant:

Numéros.	Numéros d'ordre du tableau (176).	NOM de l'usine ou du fabricant.	TEXTURE.	TRAVAIL mesurant le double de l'intensité du choc de rupture.
1	9	Königshütte.	Grain fin acièreux, sauf un peu de nerf au pied. . . . .	kil. mètr. 4.159
2	5	Jacobi.	Grain fin, nerf au pied. . . . .	3.940
3	8	Eschweileraue.	Nerf, sauf un peu de grain dans le champignon. . . . .	3.178
4	6	Id. . . . .	Nerf, sauf un peu de grain au champignon. . . . .	2.858
5	10	Laura.	Grain fin, très-fin au pied. . . . .	2.692
6	7	Königshütte.	Gros grain à l'intérieur, grain plus fin aux bords; un peu de nerf au pied. . . . .	2.568

Si les chiffres de la dernière colonne ne donnent pas la mesure exacte du double de la résistance au choc, ils suffisent du moins pour classer entre eux, sous ce rapport, les rails brisés par l'action d'une charge en repos. On reconnaît ainsi que, parmi les rails essayés à Berlin, le plus résistant est précisément un fer à grains fins, acièreux, sauf un peu de nerf dans le pied, tandis que des rails en fer tout nerf viennent beaucoup après.

La texture fibreuse n'est donc nullement par elle-même une garantie de résistance au choc.

325. Au surplus, ce caractère de la structure, déduit de l'examen des fractures, est loin d'avoir, dans l'état actuel de la fabrication des rails, la constance et par suite l'importance qu'on lui attribue quelquefois. Ainsi, dans les expériences de Berlin, les faces de rupture des trois barres d'essai provenant d'un même rail, présentaient souvent des différences très-tranchées. Le grain et le nerf y étaient répartis avec une grande irrégularité; les ruptures étant toujours produites dans des circonstances identiques, les variations observées sont nécessairement en rapport avec des différences dans la constitution même du métal: imperfection probablement très-fréquente et qu'on évitera sans doute quand la fabrication des rails, mieux étudiée, sera sûre d'elle-même, de l'uniformité de ses produits.

Irrégularité  
de la structure.

Causes  
des différences  
de texture.

526. Les métallurgistes ne sont pas tout à fait d'accord sur l'importance et la signification de la texture comme caractère différentiel. D'après les uns, le fer à nerf et le fer à grain constituent deux variétés bien distinctes : la tendance à affecter l'un ou l'autre de ces états tient à certaines propriétés, non définies d'ailleurs, des minerais eux-mêmes; des artifices de fabrication et même jusqu'à un certain point le mode d'étirage peuvent, néanmoins, masquer cette tendance, et faire contracter au fer une structure, en quelque sorte forcée, plus ou moins différente de celle que lui assigne sa nature. Les autres, sans contester l'existence d'une prédisposition naturelle dans certains minerais, pensent que l'indifférence est le cas général, et qu'il n'y a pas de fonte qui ne puisse donner, par un traitement convenable au puddlage, soit du fer à nerf, soit du fer à grain; les deux opinions admettent donc l'action des deux causes, mais elles leur font des parts très-inégaux.

Il est difficile de ne pas regarder l'influence du mode d'élaboration comme prédominante en présence de ce fait qu'on obtient, au puddlage, non-seulement du fer à grain, mais de véritable acier, et cela avec des fontes au coke (à Seraing, par exemple). Quoiqu'il en soit, il y a généralement entre le fer à nerf et le fer à grain, proviennent-ils de la même fonte, des différences de propriétés et de composition qui soulèvent contre l'association des deux fers des objections moins graves, sans doute, que celle du fer brut et du fer corroyé, mais de même nature. Le fer à grain proprement dit (bien distinct du fer cristallin) se soude à une plus basse température et plus facilement que le fer à nerf. Rien de mieux, dès lors, que de chercher à obtenir le champignon en fer à grain, car il sera à la fois dur et bien soudé; mais en joignant à cette condition celle d'une

structure fibreuse dans la région moyenne et inférieure, on compromet la soudure.

Il est vrai que ceux même qui admettent, entre les deux états dont il s'agit, une différence essentielle, profonde, ne repoussent pas tous pour cela leur association : plusieurs praticiens pensent que si un fer à nerf et un fer à grain se soudent mal ensemble, c'est que l'un d'eux (si ce n'est tous deux) se soude mal sur lui-même.

La soudure des deux fers est possible, sans contredit, mais elle est tout au moins difficile et suspecte dans les conditions de la fabrication des rails. Le fer à nerf demande une température assez élevée; le fer à grain redoute tout excès de chaleur; surchauffé, il se dénature et passe à l'état de fer à gros grains, très-aigre. D'un autre côté, moins ductile que l'autre, il n'obéit pas aussi facilement à l'action du laminoir, et il s'y forme des gerçures.

527. Si on s'en rapportait aux spécimens qui figurent dans les collections de produits sidérurgiques, l'association du fer à grain et du fer à nerf serait réalisée pour les rails de la manière la plus satisfaisante. On remarquait, par exemple, à l'exposition de Munich, en 1854, des rails provenant de l'usine de Maria-Hütte, près Zwickau (Saxe), et dans lesquels le champignon était à grains fins et le pied à texture fibreuse tranchée, avec passage graduel de l'une à l'autre. Mais ces échantillons sont de rares exceptions, et non des types sincères d'une fabrication maîtresse d'elle-même, invariable dans ses effets.

Si la soudure était chose si facile on ne chercherait pas à tourner la difficulté, comme on l'a fait, par exemple, dans les usines du Phénix, dont les spécimens de rails américains ont été justement remarqués à l'exposition de 1855. Le corps, parfaitement fibreux comme le pied, pénètre profondément dans

Remarque  
sur les spécimens  
exposés.

un champignon à structure décidément grenue. C'est une sorte d'assemblage à rainure et languette, destiné à suppléer au défaut de soudure.

L'homogénéité est la condition la plus avantageuse.

328. Il est vrai qu'une soudure imparfaite est loin d'avoir, vers le milieu du rail, des conséquences aussi graves que dans le champignon. On peut, d'ailleurs, chercher, comme en Bavière, à réaliser le passage graduel du grain au nerf; mais il semble peu logique de compromettre, si peu que ce soit, une qualité essentielle et de compliquer la fabrication, et cela, en vue d'augmenter la résistance au choc, ou, pour parler plus exactement, la flèche de rupture. C'est certainement un mauvais calcul que de demander à la flexibilité du rail une garantie contre la rupture par le choc. Cette garantie, il faut la chercher dans la ténacité du métal, dans un équarrissage suffisant, dans une sage réduction des charges par essieu, dans un entretien soigné de la voie, et aussi, pour ne pas dire surtout, des bandages de machines; car la formation des *plats* est une des causes les plus ordinaires des ruptures.

Une fois en garde contre la rupture, plus le rail est dur et rigide, meilleur il est.

Il y a même des rails dont l'aspect de la cassure eût fait très-mal augurer, qu'un contrôle tant soit peu sévère eût rejetés sans hésitation, et qui se trouvent faire, en somme, un excellent service; tels sont, par exemple, ceux du chemin de la Thuringe, cités par M. Weishaupt; ils sont en fer du pays de Galles, à gros grains cristallins, très-durs, résistant parfaitement à l'action des roues, qui n'en détachent qu'une limaille très-fine, et très-peu flexibles; quant à la résistance au choc, il n'y a pas de ligne sur laquelle les ruptures soient plus rares, quoique le rail ne soit pas plus lourd, ni le matériel plus léger qu'ailleurs.

Exemple des bandages.

L'association du fer à nerf et du fer à grain, si souvent tentée pour les bandages, est généralement abandonnée;

leur prix admet cependant une élaboration beaucoup plus soignée que celle des rails. Il est peu probable qu'après avoir échoué pour les uns, on réussisse pour les autres.

329. En somme, si on tient absolument à spécifier la texture du fer, il semble que le mieux est d'exiger du grain partout. C'est d'ailleurs, évidemment, le seul parti possible pour les rails symétriques; s'il est sans inconvénient pour eux, pourquoi le redouterait-on pour les rails américains?

Mais, sans doute, il vaut mieux encore s'abstenir. Si la texture a de l'importance, ce n'est pas en elle-même, mais comme garantie plus ou moins complète, ou plutôt comme simple indice de certaines propriétés essentielles. Pourquoi ne pas stipuler simplement ces propriétés elles-mêmes, puisque c'est toujours, en somme, à cette sanction qu'il faut en venir? Qu'on multiplie les épreuves, qu'on constate par une réception sévère celles des propriétés qui peuvent être l'objet d'une vérification immédiate; qu'on réserve pour les autres une garantie prolongée, mais qu'on s'en rapporte pour le reste à l'intérêt même du producteur; il saura bien diriger la fabrication de manière à tirer le meilleur parti des éléments dont il dispose. Les conditions qu'on ajoute depuis si longtemps à celles de la réception proprement dite et de la garantie, ne sont que des entraves sans profit pour personne. Passons à l'examen de cette seconde classe de conditions.

(La fin prochainement.)

## ÉTUDES GÉOLOGIQUES

SUR LE PAYS MESSIN,

OU NOUVELLES RECHERCHES SUR LE PROLONGEMENT DU BASSIN  
DE LA SARRE AU-DESSOUS DE LA PARTIE CENTRALE  
DU DÉPARTEMENT DE LA MOSELLE (1).

Par M. E. JACQUOT, ingénieur des mines.

Il y a cinq ans, à pareille époque, nous terminions un travail dont l'administration supérieure nous avait chargé et qui avait pour objet de déterminer les points du département de la Moselle où les recherches du prolongement du bassin de la Sarre présenteraient le plus de chances de réussite. Nous en indiquions deux : les environs de Forbach et la plaine de Creutzwald, espèce de vaste cirque s'étendant, le long de la frontière, à la base de collines élevées qui en forment, en quelque sorte, les gradins. Les recherches presque immédiatement entreprises dans ces localités ont amené des résultats que nous avons fait connaître dernièrement et dont l'importance ne saurait être contestée. Dans l'intervalle des cinq dernières années, trente-deux sondages ont été forés tant autour de Forbach qu'aux environs de Creutzwald; aux 27 kil. carrés explorés dans la concession de Schœneck, on a ajouté environ 120 autres dans lesquels la présence du terrain houiller et de la houille n'est pas moins bien établie; les concessions de Forbach et de Carling ont pu être instituées; d'autres le seront prochainement; enfin les reconnaissances

Introduction.

(1) Voir le précédent mémoire sur le même sujet, page 107 de ce volume.

poussées vers l'ouest ont démontré l'existence de la houille à moins de 35 kil. de Metz, ville qui peut être considérée comme le centre des principaux points de consommation du combustible minéral dans le département. Les recherches qui se poursuivent, ajouteront, nous en avons le ferme espoir, de nouveaux résultats à ceux qui sont dès aujourd'hui acquis.

En voyant ces recherches poussées jusqu'aux extrêmes confins de la plaine de Creutzwald vers l'ouest, il est naturel de se demander si l'existence du terrain houiller de la Sarre se trouve révélée, de l'autre côté de l'escarpement qui la termine, par l'étude des formations qui constituent le sol de cette partie du département, de peser, dans le cas de l'affirmative, les chances de succès des nouveaux travaux à entreprendre et de déterminer les points sur lesquels ils devront porter. En d'autres termes, les explorations doivent-elles s'arrêter dans la plaine aux pieds des collines qui la limitent, comme devant une muraille opposant un obstacle infranchissable; ou bien, y a-t-il lieu de les poursuivre vers l'ouest, en les rapprochant de Metz? Telles sont les questions que je me suis proposé d'examiner et de résoudre dans ce mémoire.

A supposer la question principale, celle du prolongement du bassin de la Sarre au delà de ses limites actuelles, résolue dans un sens favorable, on voit de suite qu'il y a de grandes et sérieuses objections à faire à la continuation des recherches du côté de l'ouest, car celles-ci doivent rencontrer, dans cette direction, une masse de plus en plus considérable de terrains superposés, et la profondeur des travaux peut encore être augmentée par l'inclinaison des couches du terrain houiller. Ces objections nous ont paru assez puissantes, pour que, dans les conclusions de nos études géologiques sur le

bassin houiller de la Sarre, nous ayons conseillé de ne rien entreprendre provisoirement au delà de la plaine de Creutzwald. Avant d'entrer en matière, il n'est pas hors de propos de dire comment nous avons été amené à modifier nos idées à cet égard. Nous arriverons ainsi à définir, d'une manière plus précise, l'objet de ce travail.

L'administration supérieure ayant prescrit aux ingénieurs des mines; à la fin de l'année 1855, de relever les terrains mis à nu par l'ouverture des voies de fer, nous nous mîmes de suite à l'œuvre pour la partie de l'embranchement de Frouard à Sarrebruck comprise entre Metz et cette dernière ville, la seule à laquelle les instructions pouvaient s'appliquer, le reste de la voie étant établi en remblais ou à niveau dans la vallée de la Moselle. Ce travail nous parut offrir beaucoup d'intérêt. Toutefois pour le mener à bien dans les environs de Metz où les tranchées étaient assez rares et les coupes, par suite, isolées, nous reconnûmes bien vite qu'il fallait étudier les abords de la voie, afin d'établir, entre ces dernières, une espèce de liaison. Conduit ainsi à explorer la contrée traversée par la Nièd française vers laquelle le chemin de fer se dirige en partant de Metz, nous y observâmes des accidents que nous n'eûmes pas de peine à rattacher à ceux que nous avions signalés plus à l'est sur les rives de la Sarre,

Cela fut, pour nous, comme un trait de lumière qui éveilla le désir bien légitime d'étendre, à toute la région comprise dans le prolongement de la bande formée par le bassin houiller de Sarrebruck, les études que nous avions commencées, le long de la voie de fer. Depuis lors, avec l'assentiment de l'administration supérieure, nous avons consacré, chaque année, quelques jours de tournées à ce travail. Il était loin d'être terminé que déjà la démonstration du prolongement du

terrain houiller, au moins jusqu'à la Moselle, ressortait, pour nous, d'une manière nette et précise, de tous les faits observés. En même temps nous constatons sur plusieurs points de grands accidents, des redressements de couches qui ont singulièrement modifié notre manière de voir au sujet de la possibilité d'atteindre ce terrain à une profondeur raisonnable. Nous osons donc espérer que l'étude à laquelle nous nous sommes livré, fera faire un nouveau pas à la question du prolongement du bassin de la Sarre sur le sol français, question dont l'intérêt croît en raison directe du développement que prend l'industrie dans les provinces du nord-est.

Le travail dont nous donnons les résultats, est la description géologique du pays ayant pour limites, à l'est la Nied allemande, à l'ouest la Moselle, au nord et au sud les prolongements des lignes qui circonscrivent le terrain houiller de Sarrebruck; il est accompagné d'une carte qui fait suite à celle de ce terrain que nous avons publiée en 1855. Bien que circonscrit dans un cadre restreint, ce travail ne paraîtra peut-être pas tout à fait dénué d'intérêt, surtout si on l'envisage au point de vue des relations qu'il a pour objet d'établir entre le terrain houiller et les formations plus modernes qui constituent le sol des environs de Metz. C'est à mettre ces relations en lumière que nous avons consacré nos efforts, et c'est pourquoi nous nous sommes principalement attaché à bien étudier la disposition des terrains, leur relief beaucoup plus tourmenté que cela n'est habituel aux pays de plaines, les grands accidents qui les sillonnent, en un mot, tout ce qui tient à leur *stratigraphie*. Toutefois, nous n'avons pas négligé les faits intéressants que leur composition nous a présentés; nous aurons à en signaler plusieurs que nous n'avons encore trouvés dans aucune description

locale. L'une de ces études ne peut du reste marcher sans l'autre et il est impossible de faire de la stratigraphie, si l'on n'a d'avance des points de repère bien déterminés.

Le pays Messin compris dans les limites que nous avons indiqués tout à l'heure renferme tous les terrains stratifiés dont la présence a été signalée sur le versant occidental des Vosges, depuis la base du muschelkalk jusqu'au milieu de l'étage oolithique inférieur; le diluvium et les alluvions modernes y occupent aussi des places assez importantes. Nous avons conservé, entre ces terrains, les grandes divisions qui sont généralement admises, en faisant, dans chacun d'eux, plusieurs coupures motivées par des différences soit dans la faune, soit dans la pétrographie. Ces coupures ont pour objet non-seulement d'introduire de l'ordre dans la description, mais encore de faire mieux ressortir les accidents sur lesquels nous voulons appeler l'attention. Nous divisons ainsi le muschelkalk en trois étages : le premier marneux, le second presque exclusivement calcaire, le troisième caractérisé par ses dolomies. Les marnes irisées comprennent deux étages terminés, chacun, par des assises dolomitiques. Dans le lias, nous distinguons le grès infraliasique, le calcaire à gryphées arquées, le calcaire à belemnites, les marnes à ovoïdes et le grès supraliasique avec l'oolithe ferrugineuse. Comme nous ne nous sommes pas élevé dans l'oolithe au-dessus du calcaire à polypiers, nous n'y avons fait aucune coupure. Tous ces terrains, ainsi que le diluvium et les alluvions modernes, ont été distingués, sur la carte, par des couleurs spéciales.

Nous nous proposons de les décrire dans l'ordre de leur succession. Toutefois, comme notre but est de rattacher les accidents qu'ils présentent aux environs

de Metz à ceux que nous avons observés jadis dans le bassin de la Sarre, il n'est pas hors de propos de jeter d'abord un coup d'œil rapide sur la géologie de ce bassin. Nous établirons ainsi, dans un résumé que nous chercherons à rendre aussi concis que possible, une base que nous croyons être indispensable à l'intelligence de notre description.

I. — GÉOLOGIE DE LA CONTRÉE ÉTENDUE AU PIED MÉRIDIONAL DU HUNDSRÜCK.

Bassin houiller  
de la Sarre.

La contrée étendue au pied méridional du Hundsrück présente, sous le rapport orographique et géologique, des caractères qui lui sont propres et que nous nous sommes attaché à mettre en relief dans notre mémoire sur le bassin de Sarrebruck. Allant vers l'est jusque dans la plaine du Rhin, à l'ouest jusqu'à la Sarre, le terrain houiller occupe la plus grande partie de cette région; il ne couvre pas moins de 2.500 kilomètres carrés, et encore n'est-ce là qu'une fraction de ce vaste dépôt, qui est reconnu aujourd'hui, sur le territoire français, à près de 20 kilomètres des points où il disparaît sous le grès des Vosges, et dont l'existence vers le sud a été constatée, dans ces derniers temps, bien au delà de sa limite apparente. Si l'on considère, sur une carte géologique, la partie qui n'est point recouverte, on voit de suite qu'elle affecte presque exactement la forme d'un rectangle allongé, suivant la direction du Hundsrück. Cette forme n'est point accidentelle; elle est due au redressement des couches qui a eu lieu entre Sarrebruck et le Mont Tonnerre, suivant une ligne qui s'écarte peu de l'axe de soulèvement de cette chaîne. L'apparition des porphyres quartzifères dans le bassin de la Sarre, apparition qui a suivi immé-

diatement le dépôt du terrain houiller, est la cause de ce redressement. Les porphyres, en arrivant au jour, ont partagé le bassin en deux parties: l'une a été soulevée et s'est, en quelque sorte, moulée sur ces roches; l'autre a été à peine dérangée de sa position primitive. La première est celle qui est apparente et dont les assises, fortement inclinées dans la région du sud, prennent, en se rapprochant du Hundsrück, une allure de plus en plus voisine de l'horizontale, de telle sorte qu'il est permis de comparer l'ensemble à une grande cuvette allongée suivant l'axe de redressement. La seconde est recouverte par le grès vosgien de la Hardt; son existence a été signalée seulement dans ces derniers temps par le sondage de Neuhausel, au sud de Neunkirchen. La séparation entre ces deux parties du bassin d'allures si différentes est très-nette; une ligne presque exactement droite, tirée du mont Tonnerre à Sarrebruck, suivant la direction E. 35° N., marque leur limite. Il est impossible, quand on jette les yeux sur une carte géologique, de ne point remarquer combien la démarcation qui correspond à cette grande coupure, est tranchée; c'est, sans contredit, l'accident le plus considérable du pays étendu au pied méridional du Hundsrück. On ne sera donc point surpris de rencontrer, dans le bassin de la Sarre, plusieurs grandes lignes qui reproduisent cette orientation; on pourra même, en parcourant le pays, reconnaître que la tendance de tous les mouvements du sol à s'en rapprocher est un fait très-général. Nous signalerons quelques-unes de ces lignes, afin de bien mettre en saillie le caractère dominant de la région qui nous occupe.

Nous n'aurons aucune peine à la reconnaître dans la direction des assises du terrain houiller; partout où celles-ci n'ont point été dérangées par des circon-

Orientation  
des principaux  
accidents  
du bassin.

stances locales, elles se rapprochent de l'orientation indiquée E. 35° N. Cela est surtout manifeste dans le district si riche en combustible compris entre Sarrebruck et Neunkirchen; les couches se présentent là avec une inclinaison assez forte, mais en même temps avec une grande régularité, et il nous suffira de renvoyer à la description que nous en avons donnée dans notre mémoire sur le bassin de la Sarre, où nous avons montré qu'elles oscillent entre des directions comprises entre E. 30° N. et E. 50° N.

Nous retrouvons également l'orientation E. 35° N. dans la ligne qui relie, au pied du Hundsrück, le Littermont à Kreuznach, en passant par les centres des éruptions porphyriques de la partie septentrionale du bassin : Aussen, le Harchenberg et les environs de Birkenfeld.

Il est plus difficile d'assigner le sens dans lequel se sont faites les éruptions des roches mélaphyriques, parce que, étant venues au jour à travers les fissures que le surgissement des porphyres quartzifères avait déterminées dans les terrains préexistants, elles paraissent avoir coulé à la surface de ces terrains de façon à envahir de vastes espaces. Toutefois, dans les localités où l'on peut reconnaître les directions de ces fissures, on voit qu'elles ne s'écartent pas sensiblement de celle du grand accident qui interrompt brusquement, vers le sud, la stratification du terrain houiller. Le dyke de mélaphyre du Dagsthul, qui n'a pas moins de 20 kilomètres de longueur entre Wadern et Birkenfeld, est exactement orienté E. 35° N.; c'est aussi le sens dans lequel courent beaucoup de collines mélaphyriques, tant dans les environs de Tholey qu'autour du Mont Tonnerre.

Enfin, un peu au sud de la ligne qui sépare la partie

redressée du bassin de celle qui n'a point été dérangée, et presque parallèlement à cette ligne, s'étend une dépression dans le grès des Vosges qui n'est point en rapport avec le cours des eaux, et que nous avons déjà signalée comme correspondant à une grande faille; c'est celle que suivent la route de Paris à Mayence et le chemin de fer du Palatinat, et dans laquelle sont construites les villes de Hombourg, Landstul et Kaiserslautern. Du côté de l'ouest, les accidents qui accompagnent cette vaste dépression se retrouvent tout le long de la vallée du Scheidterbach, ruisseau qui se jette dans la Sarre, à quelques kilomètres au sud de Sarrebruck. La direction de la dépression de Hombourg est exactement E. 27° N.

Cette dépression, la faille profonde qui limite, du côté du sud, la partie redressée du terrain houiller; les groupes porphyriques qui s'étendent, dans le nord, aux pieds des pentes du Hundsrück, sont autant de grands accidents qui sillonnent le bassin dans toute sa longueur, et dont le parallélisme, qui se confond presque avec l'axe de redressement de cette chaîne, imprime à toute la région située entre Mayence, Worms, Sarrebruck et Mertzig, un caractère particulier que nous avons tenu d'abord à bien mettre en relief. Les dykes mélaphyriques qui traversent des portions plus ou moins étendues du bassin, constituent des accidents plus circonscrits que les précédents, mais qui procèdent manifestement de la même cause.

Du côté de l'ouest, la formation houillère de la Sarre est recouverte par le grès des Vosges, auquel sont superposés les trois membres du trias : le grès bigarré, le muschelkalk et les marnes irisées. Ces terrains constituent le sol de la région intermédiaire entre le bassin de Sarrebruck et celle que nous nous proposons de dé-

Terrains  
superposés  
au  
bassin houiller.

crire. A ce titre, ils méritent de nous occuper un instant, principalement au point de vue de leur disposition, qui offre quelques particularités intéressantes se rattachant aux accidents que nous venons de passer en revue.

Allures  
de ces terrains  
entre  
Deux-Ponts,  
Saint-  
Avold et Sarre-  
guemines.

Les trois groupes qui composent le trias présentent, dans la plus grande partie de la Lorraine, une disposition extrêmement simple; ils forment autant de bandes parallèles qui sont orientées suivant la direction de la chaîne des Vosges. Dans le département auquel cette chaîne donne son nom, dans celui de la Meurthe et dans la partie méridionale de la Moselle, cette règle n'a pas d'exception. Mais à peine la bande qui dessine les affleurements du grès bigarré a-t-elle dépassé la frontière française, près de Deux-Ponts, qu'elle tourne brusquement vers le sud-ouest, direction qu'elle conserve jusqu'à Longeville-les-Saint-Avold, c'est-à-dire sur une étendue d'environ 16 lieues. Les deux autres bandes sont modelées sur celle du grès bigarré; elles en reproduisent toutes les inflexions et ont, comme elle, un point de rebroussement placé près de la frontière, à une petite distance au sud de l'axe de soulèvement du bassin de la Sarre. Le parallélisme de cet axe et de la direction du trias dans l'espace compris entre Deux-Ponts, Saint-Avold et Sarreguemines, est un fait sur lequel nous avons jadis insisté à dessein, comme étant un de ceux qui pouvaient le mieux servir à établir le prolongement du terrain houiller sur le sol français. Il a trop d'importance pour que nous ne résumions pas ici ce que nous en avons dit ailleurs.

Dans la région que nous venons de définir, les accidents qui ont été signalés depuis longtemps comme caractérisant le soulèvement des Vosges, sont extrêmement fréquents: le grès bigarré se rencontre sou-

vent aux pieds de buttes élevées entièrement formées de grès vosgien. Au Halberg, près de Sarrebruck, et tout le long de la vallée du Scheidterbach, à Spicheren, au Schlossberg qui domine la ville de Forbach, au Hiéraple, à Hombourg-l'Évêque et à Saint-Avold, on peut observer des dérangements de cette espèce. Ces dérangements ne paraissent isolés que parce qu'ils sont inégaux; mais on peut facilement reconnaître qu'ils appartiennent à une faille orientée suivant la direction E. 30° N. Les affleurements du grès bigarré suivent sensiblement cette direction; ils donnent lieu à une première ligne de collines assez ardues que termine un petit plateau où se montrent les marnes supérieures de cet étage. Le muschelkalk, placé un peu en arrière du grès, forme une seconde ligne de coteaux superposés à la première, et dans laquelle paraissent toutes les assises qui constituent ce terrain, depuis les glaises bigarrées qui sont à la base jusqu'aux couches calcaires fossilifères qui en forment le sommet. Toutes ces assises plongent dans une direction normale à la ligne des affleurements, c'est-à-dire vers le sud-est, disposition qui est nettement accusée dans le relief du sol, car les plateaux que couronne le muschelkalk descendent, avec cette formation, dans le sens indiqué et finissent par disparaître sous celle des marnes irisées. Il en résulte que les affleurements du calcaire conchylien supérieur donnent lieu à une saillie très-prononcée entre la plaine occupée par le grès vosgien au nord, et celle dans laquelle s'étend le Keuper du côté du sud. Entre Sarrebruck et Longeville-les-Saint-Avold, cette saillie se tient en moyenne à 350 mètres au-dessus du niveau de la mer; elle atteint exceptionnellement, près de Forbach, 389 mètres et 426 mètres entre Saint-Avold et Longeville.

Telle est au résumé la disposition des trois groupes qui composent le trias dans la région que nous avons définie ; elle est très-clairement accusée dans le relief du sol, et tous les accidents du terrain la reproduisent d'une manière fidèle. Une circonstance a surtout contribué à la mettre en saillie. Quand on étudie avec soin la contrée traversée par la faille qui a déprimé le trias par rapport au grès des Vosges, on reconnaît que celle-ci marque la limite méridionale d'une dénudation opérée postérieurement dans le puissant dépôt de ce grès. Par suite de cette dénudation, toute la partie supérieure du grès des Vosges a été détruite, à l'exception de quelques buttes isolées, et l'escarpement formé par les affleurements du grès bigarré et du muschelkalk s'est prononcé davantage. En voyant, entre Longeville et Sarrebruck, cet escarpement se détacher d'une manière si nette de la plaine occupée par le grès vosgien et courir dans une direction qui coïncide si complètement avec l'axe de redressement du bassin de la Sarre, il est impossible de ne pas être frappé des rapports que présentent les deux ordres de faits. Pour saisir leur connexité, il faut passer la frontière, en suivant la route de Mayence qui se tient aux pieds de l'escarpement. On voit alors que les accidents géologiques observés entre Longeville et Sarrebruck sont reliés, par ceux de la vallée du Scheidterbach, à la faille qui a produit la dépression de Hombourg et de Kaiserslautern, de telle sorte que cette route, depuis le revers méridional du mont Tonnerre jusqu'à Longeville-les-Saint-Avoid, marque exactement la trace d'un grand accident parallèle à celui auquel est dû le redressement du terrain houiller. La disposition si remarquable du trias au sud du bassin de Sarrebruck se trouve ainsi rattachée aux fractures qui sillonnent ce bassin dans toute sa longueur.

Sans être aussi nettement orientée, cette formation présente, au nord-ouest du bassin, quelque chose d'analogue. On voit en effet les affleurements du grès bigarré courir, entre Dalheim et Berus, suivant une ligne dirigée E. 50° N., et plus au nord, entre Mertzig et Wadern, ce même grès pénètre dans une grande baie allongée suivant la direction que nous venons d'indiquer. Les circonstances qui caractérisent le gisement du trias dans la partie méridionale du bassin, se reproduisent du reste dans le nord. Ainsi, les affleurements du grès bigarré et du muschelkalk sont partout mis en relief dans un escarpement qui est opposé à celui du sud ; les plateaux recouverts par ce dernier terrain ont une tendance à verser vers le nord-ouest, et les marnes irisées sont constamment déposées à leur pied, de façon à reproduire quelquefois par leur contact l'orientation indiquée, comme cela se voit entre Teterchen et Varize. Du reste, le grès des Vosges, aussi bien que les trois groupes du trias, sont traversés dans cette région par des failles assez nombreuses qui affectent la direction de l'axe de redressement du bassin. Une des plus évidentes est celle dont nous avons signalé l'existence au Siersberg, près de l'embouchure de la Nied, dans la Sarre, et que l'on peut suivre vers le sud-ouest, le long de la vallée dans laquelle coule la première rivière ; elle n'est autre chose que la continuation de l'accident auquel les éruptions des mélaphyres de la partie septentrionale du bassin ont donné lieu. Nous retrouvons donc encore ici, dans les formations plus récentes que le terrain houiller, une tendance à s'aligner suivant la direction des accidents de ce terrain.

Entre Longeville-les-Saint-Avoid, point où vient aboutir, du côté du sud, la bande de grès bigarré dirigée E. 30° N., et Dalheim, point où elle commence à

Disposition  
du trias  
au nord-ouest  
du bassin.

Disposition  
du trias à l'ouest  
du bassin  
de la Sarre.

reprenant cette direction vers le nord, l'escarpement triasique court assez exactement suivant le méridien; il s'élève là en moyenne à 400 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le plateau de muschelkalk qui le termine a la forme d'une selle qui incline, du côté du nord-ouest, vers Boulay, et du côté du sud-est, vers Faulquemont. Un point situé entre Longeville et Boucheporn, et qui porte sur la carte du dépôt de la guerre la cote 424 mètres, Zondrange et Bionville, marque à peu près les traces de l'axe de cette selle; elle s'abaisse, mais seulement d'une manière insensible, dans cette direction.

Grès vosgien  
autour du bassin.

Le grès vosgien remplit l'espace intermédiaire entre les points où, du côté de l'ouest, le terrain houiller disparaît près des rives de la Sarre, et l'escarpement triasique partout si nettement découpé; il s'étend comme une ceinture autour du bassin. L'aspect de la région qu'il occupe est bien différent de celui de la contrée que nous venons de décrire; c'est une plaine légèrement ondulée, élevée en moyenne de 250 mètres au-dessus du niveau de la mer, et qui est presque entièrement couverte par de vastes forêts. Quelques buttes isolées, taillées en forme de cônes tronqués à leur sommet, s'en détachent çà et là; elles rappellent, comme nous l'avons expliqué plus haut, les dénudations qui ont eu lieu dans le grès et qui ont enlevé la plus grande partie de ses assises supérieures.

Recherches  
de la plaine  
de Creutzwald.

Entre Sarrelouis et Sarrebruck, la frontière française est tracée d'une manière assez capricieuse à la surface de cette grande plaine de grès des Vosges; elle en fait deux parts presque égales. C'est dans celle que les traités de 1815 ont dévolue à la France que les recherches du prolongement du bassin de la Sarre ont porté jusqu'ici. Notre intention n'est point de relater les résul-

tats de ces travaux; nous l'avons fait avec détail dans ce volume (page 107). Nous ne croyons pas toutefois inutile de rappeler ici que les recherches du terrain houiller commencées sur l'extrême frontière ont été peu à peu étendues aux divers points de la plaine, et qu'on est aujourd'hui à peu près certain de l'existence de la houille sur toute son étendue, à l'exception de la partie méridionale, qui paraît avoir été affectée par la faille terminale du bassin. Les travaux de forage, reportés de plus en plus vers l'ouest, sont arrivés actuellement au pied de l'escarpement triasique, et ont pénétré dans du terrain houiller bien caractérisé.

Ces travaux nous ramènent, après une excursion qui ne paraîtra peut-être point inutile, à notre objet, qui est l'étude géologique du pays Messin au point de vue des rapports qui le rattachent au bassin de la Sarre et des nouvelles tentatives à faire pour y découvrir ce dernier.

## II. — GÉOLOGIE DU PAYS MESSIN.

### 1° *Muschelkalk.*

Si l'on nous a suivi dans l'étude sommaire que nous venons de faire de la contrée étendue au pied méridional du Hundsrück, on a vu que cette contrée comprend, sous le rapport orographique, trois régions bien distinctes. Une première région est celle qui est occupée par le terrain houiller et les roches qui lui sont subordonnées; sensiblement déprimée dans le voisinage du Hundsrück, elle est surtout accidentée vers le sud, le long de l'axe de redressement du bassin. La plaine de grès vosgien constitue la seconde région: plate, sablonneuse, découpée seulement de loin en loin par quelques vallées peu profondes, elle a des ca-

La  
Nied allemande,  
limite de notre  
carte à l'est;  
remarques  
sur son cours.

ractères extrêmement tranchés. Enfin, la troisième région est formée par l'escarpement triasique et par les plateaux élevés qui lui font suite, et qui vont en s'abaissant vers le sud-est, l'ouest ou le nord-ouest, dans des directions normales à l'escarpement.

C'est en général aux points où ces plateaux, que recouvrent les assises supérieures du muschelkalk, s'enfoncent vers l'altitude de 250 mètres sous la formation des marnes irisées, que nous avons arrêté notre carte du bassin de la Sarre et que commence celle du pays Messin. La séparation entre ces deux terrains se fait presque partout d'une manière très-nette, les marnes irisées remontant rarement au delà d'une ligne bien déterminée sur les pentes des plateaux de calcaire conchylien. Rien de plus opposé du reste que la physionomie des régions qu'ils occupent. Les plateaux de muschelkalk forment une contrée élevée, extrêmement pierreuse, présentant de grandes surfaces presque planes. Les marnes irisées, au contraire, s'étendent sur une région sensiblement déprimée par rapport à la première, qui n'a point d'accidents considérables, mais qui en offre un grand nombre sur une échelle restreinte; la faible consistance de ce terrain s'est singulièrement prêtée aux dénudations, et a donné naissance à un relief aux contours mous et arrondis, qui est un des caractères des côteaux keupériens, et qui peut même servir à les faire distinguer de fort loin.

La Nied forme, dans le département de la Moselle, la séparation entre ces deux régions d'allures si différentes; elle se tient constamment à une petite distance de l'espèce de sillon qui se rencontre à leur limite, et elle coule quelquefois dans la dépression même. Nous ne saurions mieux entrer en matière qu'en présentant, sur le cours de cette rivière, quelques considérations

destinées à montrer avec quelle netteté il reproduit les grands traits de la configuration géologique du pays compris entre la Sarre et la Moselle.

La Nied allemande, ainsi désignée du nom de la partie de l'ancienne Lorraine qu'elle arrose, a sa source au contact du muschelkalk et du keuper, près de Marienthal, petit village situé sur la route de Saint-Avold à Puttelange. Elle coule de là vers Faulquemont, suivant la direction E. 30° N., dans une vallée large, évasée, qui suit sensiblement la limite de ces deux terrains, et où elle réunit les eaux de plusieurs étangs, qui sont partout, comme on sait, assez nombreux dans la formation des marnes irisées. Entre Faulquemont et Varize, elle coupe le plateau de muschelkalk, composé presque exclusivement de calcaires très-résistants; son cours devient alors très-sinueux, et en même temps la vallée se resserre considérablement. A ne la voir que dans son ensemble, celle-ci est cependant très-notablement rectiligne, et dirigée vers le nord-est. Un peu au delà de Varize, à Condé, la Nied allemande se réunit à la Nied française, et leurs eaux confondues reprennent leur cours au milieu des marnes irisées, dans une vallée largement ouverte jusqu'à Bouzonville, point en lequel elles traversent une série d'accidents qui se rattachent au redressement du terrain houiller, et reprennent la direction initiale de la rivière E. 30° N. C'est dans cette direction qu'elles viennent se jeter dans la Sarre au pied du Siersberg, près du gros bourg de Rehlingen. Ainsi la Nied allemande, dont la source est située dans la région traversée par cette dernière rivière, à la hauteur de Sarreguemines, au milieu de ruisseaux qui s'y rendent directement, n'y revient qu'après avoir décrit dans le département de la Moselle

un immense circuit qui représente d'une manière fort exacte la disposition générale des terrains qui en forment le sol.

Disposition  
du muschelkalk  
entre  
les deux Niefs.

Le muschelkalk, qui constitue entre Faulquemont et Varize les flancs profondément encaissés de la vallée de la Nied allemande, s'avance vers le sud-ouest jusqu'à Vaucremont, hameau placé sur les rives de la Nied française. Il occupe entre ces deux rivières un territoire qui a exactement la forme d'un triangle allongé; c'est une espèce d'éperon au milieu de la formation des marnes irisées qui l'entoure au nord aussi bien qu'au sud. Ce territoire est le prolongement du grand plateau triasique qui forme la plaine de Creutzwald et le termine du côté de l'ouest. Il en reproduit du reste les principaux accidents, ayant deux versants fortement inclinés en sens inverse, l'un vers le sud-est et l'autre vers le nord-ouest, réunis par une arête dont l'altitude moyenne est d'environ 540 mètres dans les environs de Plappecourt et de Frécourt, mais qui va en s'infléchissant légèrement vers la Nied française. C'est au résumé une contrée assez élevée et qui domine celle qui est occupée par le Keuper.

Composition  
du  
muschelkalk.

Nous avons eu occasion, en décrivant le bassin houiller de la Sarre et les formations qui lui sont superposées, de faire connaître la composition du muschelkalk, qui couvre une vaste bande de terrain dans la partie orientale du département de la Moselle. Nous l'avons alors divisé en deux étages : un étage inférieur marneux, un étage supérieur caractérisé par une suite d'assises calcaires et par quelques fossiles qui y sont très-abondants, en particulier par l'*avicula socialis*, la *terebratula vulgaris* et l'*ammonites nodosus*. Le développement que les dolomies superposées à ces dernières assises acquièrent entre les deux Niefs, nous a

engagé à en faire un étage à part qui établit une liaison entre le muschelkalk et les marnes irisées. Ces dolomies ne sont point particulières au territoire que notre carte embrasse; elles paraissent également à l'est de la Nied allemande, mais elles n'occupent à la surface du plateau de calcaire conchylien qu'une étendue restreinte, et elles ne jouent qu'un rôle tout à fait secondaire dans l'ensemble de la formation. Dans le pays messin, au contraire, elles acquièrent une importance prépondérante, tant par l'étendue qu'elles occupent que par leur puissance et par leur richesse en débris organisés fossiles. Au résumé, comme nous l'avons annoncé au commencement de ce mémoire, nous partageons le terrain de muschelkalk en trois étages qui se présentent dans l'ordre suivant, en partant du plus ancien :

1° Un étage marneux qui commence par des glaises bigarrées, grises, rouges et vertes, et qui est terminé par des marnes gréseuses ou schisteuses grises ou jaunes, habituellement dolomitiques. Les assises consistantes y sont très-rares, elles sont principalement composées de gypse, de dolomie et de silex. Le gypse existe en petits filets fibreux ou en masses peu puissantes au milieu des glaises bigarrées, quelquefois dans les marnes grises qui leur sont superposées. La dolomie se présente à divers niveaux dans l'étage; on la trouve en gros bancs marneux à une petite hauteur au-dessus du gypse, et dans les marnes grises sous forme de rognons grisâtres cellulux, dont les vides sont tapissés d'infiltrations spathiques, et qui contiennent du quartz calcaire, grenu, blanchâtre. Le silex enfin forme des rognons ou de petites couches d'un brun foncé ou noirâtre au milieu des marnes grises. L'étage inférieur et les assises qui leur sont

subordonnées ne renferment pas de débris organisés fossiles.

2° Un étage qui se distingue d'une manière tranchée du précédent, tant par la prédominance des bancs solides que par l'abondance des mollusques fossiles qu'il contient. Cet étage est presque exclusivement calcaire, les marnes n'y occupent plus qu'une place très-restreinte, et elles se montrent surtout dans sa partie supérieure, où elles séparent les lits de roche. Il y a plusieurs variétés de calcaire. Les unes sont grises, compactes, criblées de tiges d'encrines qui leur communiquent une texture lamellaire; quelques-unes sont oolithiques ou renferment des silex. D'autres sont compactes, d'un gris de fumée ou de nuances variées, grises, verdâtres ou jaunâtres, ce qui leur donne, au premier aspect, l'apparence de brèches. La cassure de ces dernières est tantôt unie, tantôt conchoïde; elles offrent beaucoup de résistance. On remarque que ces diverses variétés de calcaire ne sont pas irrégulièrement réparties dans l'étage moyen du muschelkalk.

Les premières constituent de gros bancs qui se présentent surtout à la base de l'étage; les secondes forment au contraire des lits peu épais à la partie supérieure, où elles alternent avec des marnes grises, jaunâtres ou verdâtres. C'est dans ces assises peu épaisses qui terminent le second étage que l'on trouve surtout les mollusques fossiles que nous avons cités tout à l'heure; ils sont habituellement fortement adhérents à la surface des couches calcaires. On y rencontre aussi des ossements de grands sauriens.

3° Un étage qui est principalement caractérisé par des dolomies ou des calcaires fortement magnésiens. Ces roches forment la masse presque entière du terrain; elles offrent beaucoup de variétés: les unes sont

marneuses ou gréseuses, les autres grenues ou même semi-cristallines. Elles forment principalement de gros bancs qui alternent avec des marnes grises ou verdâtres, rarement rougeâtres, qui passent à des grès par l'intrusion du sable. Quelques-unes renferment des mollusques fossiles de l'étage précédent, qui n'y sont représentés que par leurs moules; mais ce qu'ils présentent de plus remarquable est d'être abondamment pétris de débris de sauriens, de poissons et de crustacés. On trouve aussi de la galène en lamelles cristallisées sous forme de nids dans quelques-unes de ces assises dolomitiques.

Le muschelkalk paraît pour la première fois sur notre carte du côté de l'est, à Faulquemont; il s'étend de là vers Raville, en formant une lisière étroite le long de la vallée de la Nied allemande, dont il constitue les flancs escarpés. Cette lisière est recouverte, à une petite distance des bords de la Nied, par les marnes irisées ou par le diluvium; c'est la terminaison du plateau de muschelkalk qui limite la plaine de Creutzwald du côté du sud; elle incline comme ce plateau vers le sud-est; car, tandis qu'on trouve entre Guinglange et Elvange la cote 296 mètres, les collines qui dominent Faulquemont ne sont plus qu'à l'altitude d'environ 260 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le muschelkalk est ici peu développé, ce qu'on en voit se réduire au second étage et au troisième, qui n'est représenté que par quelques assises.

Le second étage constitue plus particulièrement les revers des côtes assez abruptes aux pieds desquels la Nied trace de nombreuses sinuosités; il est représenté par ses assises calcaires habituelles. Les gros bancs de la partie inférieure de l'étage s'observent surtout dans les environs de Raville, où ils sont exploités, soit

Muschelkalk  
aux environs  
de  
Faulquemont.

comme moellons, soit pour fournir des pierres de taille de petit échantillon. Sur la rive droite de la Nied et dans le fond de la vallée, il y a près du moulin une carrière ouverte dans des couches ayant de 50 centimètres à 1 mètre de puissance d'un calcaire grisâtre, qui renferme des rognons de silex brun; il est très-fréquent d'y rencontrer ces stries de nature encore inconnue auxquelles on a donné le nom de stylolithes. De l'autre côté de la rivière, et à un niveau un peu plus élevé, on extrait de la pierre de taille dans des assises d'une puissance comparable aux précédentes, et qui sont constituées par un calcaire grisâtre renfermant quelques fragments d'encrines et de petites oolithes blanches; elles paraissent être assez sableuses. Ces couches plongent assez fortement vers le sud-est, car sur le chemin de Raville à Hemilly, le fond de la vallée est déjà formé par les assises calcaires à *avicula socialis* qui caractérisent la partie supérieure de l'étage. Le troisième étage de la formation conchylienne paraît au-dessus du premier village; il se réduit à quelques bancs de dolomie grenue alternant avec des marnes grises. Un de ces bancs est cristallisé et saccharoïde, et répand par la percussion une odeur extrêmement fétide; on l'exploite près de Raville pour en faire des moellons et des dalles. Cet étage, presque entièrement dolomitique, couronne toutes les hauteurs de la rive gauche de la Nied allemande, depuis Raville jusqu'à Faulquemont. On peut surtout l'observer près de cette ville, dans le coteau au sommet duquel est bâtie la chapelle de Saint-Vincent, où il est coupé par la route qui conduit à Pont-à-Mousson par Herny; il présente dans cette localité des alternances de marnes d'un gris verdâtre et de gros bancs de dolomie grenue; quelques-uns de ces derniers sont fossilifères et contiennent

des espèces qui appartiennent au muschelkalk, notamment des térébratules. Ces fossiles établissent une liaison entre le deuxième et le troisième étage que nous avons distingués dans la formation conchylienne; ils ne permettent point de rapporter le dernier aux marnes irisées.

Les assises calcaires minces qui terminent le deuxième étage, peuvent également être étudiées avec détail dans les environs de Faulquemont, car elles sont exploitées pour la fabrication de la chaux près du chemin de Créhange, et elles paraissent sur une assez grande hauteur dans une tranchée du chemin de fer non loin de la gare de cette ville. Elles reproduisent le type le plus habituel et le plus connu du muschelkalk, qui consiste en un calcaire d'un gris de fumée, à cassure conchoïde, à pâte extrêmement compacte. Ces assises sont rarement terminées d'une manière bien nette suivant le lit de la stratification; elles présentent quelquefois sur leurs deux faces une espèce de croûte adhérente qui paraît être une marne fortement calcarifère, et plus souvent des aspérités qui reproduisent des formes tubulaires bizarres non encore définies. Il arrive aussi assez souvent qu'on trouve, à la place des lits calcaires, de petites masses aplaties dont la forme rappelle tout à fait une substance de consistance épaisse qui aurait coulé et se serait ensuite figée. Ces assises alternent avec des marnes grises ou verdâtres qui sont bien mises à jour dans la tranchée du chemin de fer. Les fossiles que l'on y rencontre le plus habituellement sont l'*avicula socialis*, l'*ammonites nodosus*, la *terebratula vulgaris*; nous y avons également trouvé des ossements de sauriens qui sont fortement incrustés à la surface des assises. Elles plongent d'une manière assez sensible vers le sud-est; aussi ne retrouve-t-on plus

aux environs de Faulquemont que quelques-uns des gros bancs qui constituent la base du second étage du terrain de muschelkalk.

Muschelkalk  
entre Raville,  
Vaudoncourt  
et Vaucremont.

Ce terrain paraît sur tout son développement dans le triangle dont Raville, Vaudoncourt et Vaucremont forment les sommets. Non-seulement les trois étages y sont représentés, mais l'un d'eux, le troisième, y acquiert une puissance que l'on ne rencontre vraisemblablement sur aucun autre point du versant occidental des Vosges. C'est à la disposition extrêmement remarquable des assises que l'on doit de rencontrer les trois membres de la formation réunis dans un aussi petit espace. Elles y sont infléchies de manière à figurer exactement une voûte surbaissée et fermée du côté du sud-ouest, configuration qui est reproduite avec une grande netteté par le relief du sol. Il résulte de cette disposition que le troisième étage qui recouvre et enveloppe les deux autres est aussi de beaucoup le plus étendu en superficie; ceux-ci ne se montrent au jour que dans la coupure produite au nord-est par la vallée de la Nied ou dans les rares anfractuosités qui découpent le sol.

Les deux circonstances que nous venons de signaler, le développement des assises du muschelkalk et leur allure accidentée, donnent un grand intérêt à l'étude de cette formation dans la pointe comprise entre les deux Niefs, et justifient les détails avec lesquels nous avons cru devoir la décrire.

Si, de Raville, où les gros bancs du second étage occupent le fond de la vallée, on se rend à Vaudoncourt en suivant le cours de la Nied allemande, on voit ces bancs s'élever d'une manière brusque dans la côte que traverse à une petite distance de ce village la route de Metz à Forbach. Au-dessous d'eux, l'étage

inférieur ne tarde pas à paraître, il se montre déjà le long de la route, et il va constamment en s'épanouissant jusqu'en face de Morlange, où il occupe le tiers environ de la côte. En s'avancant davantage encore vers Vaudoncourt, cet étage disparaît par suite du plongement des assises, qui est là plus brusque encore que de l'autre côté. Les couches du calcaire conchylien sont donc, comme on le voit, fortement infléchies suivant la direction de la Nied, qui court assez exactement dans cette localité vers le nord-ouest. Aussi, tandis que les assises calcaires minces qui terminent le second étage sont exploitées sur le haut de la côte, près de l'arbre signalé d'Itzing, à une altitude qui approche de 530 mètres, elles descendent près de Vaudoncourt et de Raville, à 2 kilomètres à peine de là, au niveau de la Nied, c'est-à-dire à 100 mètres plus bas.

Un ravin, situé sur le flanc septentrional de la côte et qui monte droit à la ferme d'Itzing, présente des conditions très-favorables pour l'étude de la formation. On n'y voit point les glaises bigarrées qui forment la base du muschelkalk; mais les marnes grises, schisteuses qui leur sont superposées, et qui constituent la partie la plus développée de l'étage inférieur, se montrent sur les rives de la Nied, et elles vont jusqu'au tiers environ de la montée. Ces marnes renferment de la dolomie grenue sous forme d'assises peu épaisses ou de simples rognons; on y trouve aussi des masses tuberculeuses de quartz calcaire saccharoïde et blanchâtre.

Aux marnes succèdent les gros bancs par lesquels commence le second étage; ils sont principalement caractérisés par les débris d'encrines qui abondent soit dans la pâte de la roche, soit à la surface des assises.

Ces bancs offrent diverses variétés de calcaire; la plus commune est une roche d'un gris de fumée, semi-cristalline qui présente quelques vides de forme irrégulière; on y trouve aussi des calcaires compactes, d'un blanc grisâtre à cassure esquilleuse; enfin la variété à rognons siliceux se présente également à ce niveau. En continuant de s'élever dans le ravin, on ne tarde pas à atteindre les assises fossilifères qui paraissent y avoir été exploitées sur plusieurs points; elles alternent avec des marnes et constituent la masse principale de cette partie de l'étage. Elles reproduisent le facies des couches mises à jour dans la tranchée de la gare de Faulquemont et renferment les mêmes fossiles l'*avicula socialis*, l'*ammonites nodosus*, la *terebratula vulgaris*. On peut les suivre jusqu'à la ferme d'Itzing, qui est dominée au sud par un petit mamelon dans lequel se montrent avec beaucoup d'évidence des marnes d'un gris verdâtre qui constituent déjà la base du troisième étage.

Ces marnes ne sont cependant pas immédiatement superposées aux assises à *avicula socialis*. Entre les deux se trouvent intercalés des bancs calcaires qui, sous le nom de pierres de Servigny, jouent un rôle assez important dans l'art des constructions à Metz et aux environs; on les emploie à faire des dalles et des marches d'escalier, usage auquel leur dureté et le poli qu'ils prennent les rend éminemment propres. La pierre de Servigny est une espèce de marbre formé de deux variétés de calcaire, l'une d'un gris foncé, cristalline à grandes lamelles, l'autre grenue, à grains très-fins d'un gris clair; elles sont mélangées sans ordre; toutefois la première domine dans la pâte et la seconde n'y existe que sous forme de nids ou de petites veinules. La pierre contient des vacuoles qui paraissent dues pour

la plupart à des coquilles détruites; on y distingue fréquemment des empreintes qui appartiennent aux espèces du muschelkalk. La roche ne renferme qu'une très-petite quantité de magnésie qui provient vraisemblablement de la variété de calcaire grenue; celle qui est lamellaire, paraît être du calcaire très-pur; on la voit souvent former des cristaux qui vont en rayonnant à partir d'un centre.

La pierre de Servigny forme de deux à quatre bancs épais de 30 ou 40 centimètres, au-dessous de calcaires dolomitiques marneux et gélifs qui renferment de nombreuses géodes tapissées de cristaux de chaux carbonatée et qui alternent avec des marnes grises. Elle nous paraît constituer l'équivalent de la pierre de Brouck qui est exploitée sur l'autre rive de la Nied, et dont nous avons décrit le gisement dans notre mémoire sur le bassin de la Sarre. Ce rapprochement suffit pour montrer que les bancs qui terminent le second étage du muschelkalk n'ont rien de bien déterminé dans leur facies, comme cela a lieu pour les autres assises de cet étage. La pierre de Servigny se montre cependant avec assez de constance dans le massif triangulaire de calcaire conchylien compris entre les deux Niefs; elle y est exploitée sur plusieurs points qui sont groupés à l'ouest du village de Servigny-les-Raville, le long des chemins qui mènent à Courcelles-Chaussy et à Frécourt.

Le troisième étage qui recouvre directement le calcaire de Servigny, commence, comme nous l'avons dit, par des marnes d'un gris verdâtre et il est terminé par une série d'assises dolomitiques assez épaisses. Les marnes se montrent non-seulement entre la ferme d'Itzing et la route où nous les avons déjà signalées, mais elles paraissent également sur les revers et dans toutes les

coupures du plateau du muschelkalk ; celle qui commence à Frécourt et qui descend vers Courcelles est un point où on peut bien les observer. Ces marnes n'offrent rien de remarquable, elles ont de 10 à 15 mètres de puissance. Au contraire les bancs dolomitiques qui leur succèdent présentent un grand intérêt à raison de l'abondance des débris organisés fossiles qu'ils renferment.

Ces bancs présentent une grande variété de structure et de composition ; mais ils ont aussi quelques caractères communs qui permettent de les grouper ensemble. Ils renferment en général une assez forte proportion de magnésie qui tend à rapprocher leur composition de celle des dolomies ; quelques-uns contiennent même le carbonate de chaux et celui de magnésie, atome à atome. La roche qui domine dans cet étage renferme les éléments suivants :

Silice. . . . .	gr.
Alumine. . . . .	0,024
Eau par différence. . . . .	0,072
Carbonate de chaux. . . . .	0,006
Carbonate de magnésie. . . . .	0,550
	<u>0,548</u>
	1,000

Cette composition conduit pour la partie calcaire à la formule  $4\text{CaO} \cdot \text{CO}^2 + 3\text{MgO} \cdot \text{CO}^2$ , laquelle a déjà été reconnue par Gmelin dans un calcaire de la formation du muschelkalk des environs de Tubingen désigné sous le nom de rauhwaacke. Un autre caractère commun à toutes ces roches magnésiennes est l'odeur fétide qu'elles dégagent par la percussion ; elles la possèdent toutes à des degrés plus ou moins prononcés. Du reste, elles présentent de grandes différences dans leur structure et leur facies. La variété la plus commune, celle dont nous venons de donner la composition, est de

couleur grisâtre, avec quelques-unes de ces taches vertes qu'il n'est pas rare de rencontrer dans les bancs du muschelkalk ; elle est grenue, légèrement cristalline, et offre quelques facettes miroitantes ; comme toutes les dolomies, elle est rude au toucher ; elle présente de nombreuses fissures qui s'entre-croisent en tous sens et dont les vides sont tapissés de cristaux de chaux carbonatée. Dans quelques échantillons, la cristallisation est mieux prononcée ; la roche est presque saccharoïde, d'un gris de cendre ; elle renferme de nombreuses géodes dont les parois sont couvertes de cristaux de chaux carbonatée et dont l'intérieur est en partie rempli par des masses à surfaces contournées d'un beau gypse blanc, translucide, se divisant en grandes lamelles. Un banc est fossilifère ; il est grenu à grains très-fins, de couleur grise un peu jaunâtre ; comme les fossiles n'y sont représentés que par leurs moules, il présente de nombreux vides. Il existe enfin une variété de dolomie qui est complètement saccharoïde, d'un gris à reflets bleuâtres ; une autre est compacte, à cassure esquilleuse. Ces deux dernières appartiennent principalement aux environs de Plappecourt, où la roche compacte forme un banc de près d'un mètre de puissance qui a été exploité autrefois. Les autres variétés représentent plus particulièrement le facies habituel des roches qui terminent l'étage du muschelkalk et notamment celui des bancs qui sont exploités à Frécourt, Stoncourt, Berlize et Vaucremont pour pavés, moellons, ou pour l'entretien des routes, usages auxquels leur grande résistance les rend très-propres. Ces bancs sont en général assez épais ; il n'est pas rare d'en rencontrer qui ont de 40 à 50 centimètres de puissance ; ils sont associés, dans toutes les carrières où ils sont mis à jour, à des assises de dolomie compacte et dendritique, à cassure légère-

ment esquilleuse, lesquelles renferment un grand nombre de vides tapissés de cristaux de chaux carbonatée. Cette variété a bien moins de valeur que les précédentes ; elle est tout au plus propre à fournir de mauvais moellons.

Les dolomies du troisième étage du muschelkalk renferment quelquefois, comme nous venons de le dire, de nombreuses empreintes de fossiles qui y sont mal conservées et assez indistinctes ; on y reconnaît pourtant quelques espèces du second étage, notamment des térébratules. Elles contiennent aussi du bois fossile dont le tissu est rempli d'infiltrations spathiques. Mais ce qui est plus particulièrement propre à leur donner de l'intérêt, au point de vue paléontologique, c'est l'extrême abondance de débris de sauriens, de poissons et de crustacés qu'elles renferment ; quelques-uns des bancs exploités à Frécourt et à Vaucremont sont pétris de ces débris. On distingue, parmi ceux-ci, des dents et des écailles d'une conservation parfaite. Les os de sauriens sont habituellement appliqués à la surface des bancs avec lesquels ils font corps, et dont il est difficile de les détacher.

La dolomie de Vaucremont renferme aussi de la galène ; on l'y rencontre en petits nids présentant des lamelles cristallines. Ce minéral paraît être contemporain du dépôt de la formation, tout comme les gîtes de plomb et de cuivre du grès bigarré des environs de Saint-Avoid et de Sarrelouis. Il faut remarquer toutefois que ces espèces de gisements se présentent d'habitude dans le voisinage de failles et de grands accidents de terrains, avec lesquels ils ont sans doute des rapports. C'est exactement au niveau géologique de Vaucremont que l'on exploite en Silésie une mine de plomb assez riche, celle de Tarnovitz ; le minerai y est égale-

ment disposé en petits filets dans une assise dolomitique qui a quelque analogie avec celles de la Moselle.

Ce que nous avons dit de la disposition générale des couches du muschelkalk dans le triangle compris entre Vaudoncourt, Raville et Vaucremont, peut surtout être observé avec beaucoup de netteté sur les bancs dolomitiques qui terminent cette formation. On les voit former une crête qui s'étend de Plappecourt à Vaucremont, suivant la partie culminante du plateau, et plonger, à partir de là, de façon à présenter deux versants d'inclinaisons opposées, l'un vers le sud-est, l'autre vers le nord-ouest. Il arrive souvent que l'inclinaison des assises est assez forte ; cela se remarque surtout près de la ferme de Fourcheux et en descendant de Frécourt à Servigny. L'ensemble peut être comparé à une voûte surbaissée, sur les culées de laquelle les marnes irisées viennent s'appuyer, vers l'altitude de 220 mètres, en formant de suite un bourrelet très-prononcé. Toutefois, pour que la comparaison soit complète, il importe d'ajouter que la voûte n'est point continue ; il y a des dénudations qui mettent à jour les marnes vertes sur lesquelles reposent les assises dolomitiques et qui s'étendent même jusqu'aux calcaires fossilifères du second étage, comme cela se voit entre Frécourt et Courcelles-Chaussy, et le long d'un petit vallon ou d'un ravin situé à l'est de Vaucremont. Ce ravin est précisément situé sur l'arête de la voûte dans la partie où elle est le plus surbaissée ; il semble que la clef qui la fermait ait été enlevée et que l'intérieur ait été mis à jour sur une profondeur d'une trentaine de mètres.

L'hydrographie de la contrée occupée par le muschelkalk et comprise entre les deux Niefs, est très-propre à mettre en relief la disposition des assises. On trouve en effet, dans le troisième étage de ce terrain,

au contact des couches dolomitiques et des marnes verdâtres, un niveau de sources assez abondant. Partout où la séparation des deux assises est mise à nu, on voit l'eau jaillir : cela arrive en particulier dans le petit vallon où est situé le village de Frécourt. Mais les sources les plus abondantes se trouvent naturellement sur les deux versants d'inclinaisons opposées, aux points où ils commencent à disparaître sous les marnes irisées, et c'est ce qui a déterminé l'emplacement des villages de Courcelles-Chaussy, Chevillon, Maizeroy, Bazoncourt, Villers-Stoncourt et Servigny-les-Raville, qui sont tous alimentés par de belles sources. Les mêmes considérations hydrographiques ont probablement déterminé la fondation de centres de population plus importants qui occupent, dans le département, une position identique et qui se trouvent dans des conditions analogues, tels que Sarreguemines, Faulquemont, Boulay et Bouzonville.

Épaisseur  
du muschelkalk.

On a fait, dans le département de la Moselle, aux environs de Sarralbe, plusieurs sondages dans le muschelkalk qui ont permis d'assigner, d'une manière approximative, l'épaisseur de cette formation. Elle peut être évaluée de 150 à 200 mètres dans lesquels le troisième étage entre pour 20 ou 30 mètres, le reste se partageant à peu près par parties égales entre l'étage marneux et l'étage calcaire.

### 2° Marnes irisées.

Composition  
des  
marnes irisées.

Les marnes irisées sont disposées sur les flancs du plateau de muschelkalk dont nous venons de décrire la pointe la plus avancée du côté de l'ouest dans la Moselle. Elles commencent à se montrer à la base de ce plateau vers l'altitude de 220 à 250 mètres; elles s'étendent ensuite vers le sud-est et le nord-ouest sur

des espaces dont l'étendue est proportionnelle aux dénudations opérées dans le lias qui les recouvre. Sous ce dernier rapport, elles forment deux régions assez différentes d'aspect, situées, l'une à l'est, l'autre à l'ouest de l'éperon de muschelkalk qui se termine à Vaucremont sur la Nied française. La première, où les dénudations ont été profondes, est une grande plaine ondulée, à la surface de laquelle s'élèvent quelques protubérances, témoins irrécusables de l'extension primitive du lias. La seconde a plutôt la forme d'un plateau recouvert par le grès infraliasique; les marnes irisées ne s'y montrent guère que sur les flancs des vallées qui l'entament. Celles-ci paraissent également, dans l'étendue de la carte du pays Messin, sur deux points situés en dehors de ces régions principales, entre Befey et Saint-Hubert, à la naissance de la vallée de la Canner et au-dessous de Vulmont, au pied de la côte de Delme.

Les marnes irisées ont, sur le revers occidental des Vosges, une composition très-simple; elles comprennent deux étages de marnes bigarrées terminées par des assises de calcaire dolomitique, l'étage inférieur étant en général beaucoup plus développé que le supérieur. Le premier est de plus relié, vers sa base, au muschelkalk par des dolomies grenues qui forment une espèce de transition entre ces deux terrains. Les couches de calcaire dolomitique sont les seules assises solides qui se montrent avec constance dans le puissant dépôt marneux du Keuper; non-seulement elles servent à y établir une division, mais elles permettent encore de distinguer les deux étages par les différences qu'elles présentent dans leur texture. La dolomie qui termine l'étage inférieur est compacte, ordinairement fétide par percussion, à cassure unie et mate; celle qui cou-

ronne l'étage supérieur est tantôt marneuse, tantôt grenue : la première constitue des bancs bien réglés et assez développés qui ont jusqu'à un pied de puissance; la seconde ne se rencontre qu'en assises extrêmement minces ou sous forme de rognons. En dehors de ces couches caractéristiques, le Keuper renferme encore quelques assises qui peuvent servir de points de repère, comme le grès, les minerais de fer, le gypse, le sel et la houille; mais elles sont bien moins constantes que les premières : il y a même telle d'entre elles qui n'y est qu'à l'état de dépôt extrêmement circonscrit, de forme lenticulaire. C'est à ces dernières assises, très-variables dans leurs allures et dans leur développement, que les marnes irisées doivent d'offrir des différences assez notables de composition, en des points même très-rapprochés. Nous allons les suivre dans l'étendue que notre carte embrasse, en allant de l'est vers l'ouest, et signaler, pour chaque région, les particularités qu'elles présentent.

Marnes irisées  
au sud  
de Faulquemont.

Le caractère le plus tranché du dépôt keupérien, à l'est de la saillie que le muschelkalk projette entre les deux Niefs, est, comme nous l'avons dit, d'avoir été profondément dénudé et d'étaler ses seules assises inférieures dans une grande plaine élevée en moyenne de 270 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cependant, dans la partie la plus orientale de notre carte, au sud de Faulquemont, les deux étages se présentent d'une manière complète, tant à la base que sur les flancs d'un plateau que recouvre le calcaire à gryphes, et que la route de cette ville à Morhange traverse entre Chémery et Landroff. Les calcaires dolomitiques qui forment la transition entre le muschelkalk et les marnes irisées, se montrent à découvert dans les tranchées du chemin de Mainvillers, aussitôt qu'on a dépassé le

ruisseau qui vient de la ferme de Bonhaus : ils sont grenus, grisâtres, et alternent avec des marnes d'un gris verdâtre. Ils sont recouverts par un dépôt marneux assez puissant qui paraît à la surface du sol dans l'intervalle compris entre Mainvillers, Arriance, Herny et Many. Les marnes sont rudes au toucher; elles se délitent en fragments conchoïdes et présentent les bigarrures de couleur qui sont habituelles à ce terrain : le rouge lie de vin, le gris, le gris verdâtre ou bleuâtre. Près de Mainvillers et dans la tranchée du chemin de fer voisine de la station d'Herny, elles sont traversées par de nombreux filets de gypse marneux. Il est aussi extrêmement fréquent d'y rencontrer des rognons de quartz grenu, gypsifère, qui sont caractéristiques de l'étage inférieur. Nous y avons trouvé, près d'Arriance, des rognons dolomitiques d'un gris nuancé de bleuâtre, qui sont assez denses et qui paraissent contenir du carbonate de fer, comme les minerais de Velving. Ces rognons renferment des moules très-nets d'une coquille bivalve qui appartient à une espèce de trigonie. Plus au sud, dans les environs d'Arraincourt, d'Holacourt et de Vatimont, le grès keupérien qui fait partie de l'étage inférieur, acquiert un développement tout à fait anormal; sa puissance ne peut être estimée à moins de 30 mètres. Le point où on peut le mieux l'étudier est la route de Sarreguemines à Metz par Baronville, qui suit, à partir de Brulange, le cours de la Rotte, et qui s'élève ensuite, au travers des bois de Vatimont, jusqu'au village de ce nom. Il paraît dans de nombreuses tranchées; il est peu consistant, d'un gris brunâtre, à grains quartzeux très-fins; il renferme des paillettes de mica. Quelques assises sont agglutinées par un ciment ferrugineux qui les colore en jaune ou en brun, elles contiennent des rognons d'hydrate de

peroxyde de fer argileux de même couleur, avec taches noires qui décèlent la présence de l'oxyde de manganèse. Ces minerais en rognons sont les équivalents de ceux que l'on trouve, à peu près au même niveau, dans les bois de Velving, au nord-est de Boulay. Le grès du keuper a une stratification peu distincte; cependant on y remarque quelques assises fissiles au milieu d'autres plus épaisses; la masse est fréquemment sillonnée par des joints obliques aux strates des couches.

Des bords de la Rotte, où nous venons de le suivre, le grès s'étend, vers le nord, jusqu'à Many; il forme en particulier les berges des étangs d'Holacourt et de Boulogny. Il n'est pas hors de propos de faire remarquer ici que les étangs qui sont si communs dans l'étage inférieur des marnes irisées, se présentent habituellement dans cette position; ils sont alimentés par de petites sources qui sourdent, soit du grès, soit du calcaire dolomitique qui lui est superposé, et leur cuvette est établie dans les marnes immédiatement inférieures à ces assises aquifères, les seules que le dépôt renferme.

En s'élevant au-dessus du grès keupérien, soit dans la colline plantée de vignes qui domine le village de Vatimont, soit sur le chemin du moulin de Boulogny à Thicourt, on voit qu'il est recouvert par de nouvelles assises marneuses bigarrées auxquelles succèdent les bancs de calcaire dolomitique qui terminent l'étage inférieur. Ces derniers présentent ici les caractères qui leur sont propres, et que nous avons fait connaître. À la dolomie compacte d'un gris clair, à cassure unie et lisse, si caractéristique de cet étage, est associée une variété de couleur plus foncée qui est grenue et légèrement celluleuse. Ces couches dolomitiques qui partagent d'une manière si nette la formation des marnes

irisées, sont assez développées; elles couronnent la côte de Vatimont et s'observent dans le village même de Thicourt. Au sud d'Arraincourt, sur la rive gauche de la Rotte, elles renferment un banc oolithique d'environ 50 centimètres de puissance qui est exploité comme pierre de taille de petit échantillon. Nous avons aussi trouvé, dans la dolomie de cette localité, quelques débris fossiles, entre autres une écaille de poisson.

L'étage supérieur du Keuper se montre bien à découvert dans la côte au-dessus de Thicourt; il comprend un massif marneux peu puissant qui renferme, dans cette localité, un amas de gypse saccharoïde passant à l'albâtre, et qui est couronné par des calcaires dolomitiques grenus en gros rognons juxtaposés plutôt qu'en bancs suivis. Ces assises peuvent avoir une épaisseur de 20 à 25 mètres; elles sont recouvertes par le grès infraliasique, et forment sur tout le pourtour du plateau d'Einschwiller, une ceinture découpée par de nombreux ravins où les marnes étalent la bigarrure de leurs couleurs.

Le Rotte qui forme, pendant quelque temps, la limite de notre carte et celle du département de la Moselle, se jette, un peu au-dessous de Vatimont, dans la Nied française, et les deux cours d'eau réunis coulant dans une vallée large et passablement évasée, très-peu inclinée comme le sont toutes celles du terrain keupérien, ne tardent pas à atteindre le gros village de Remilly placé à l'est du point où, dans cette même vallée, le plateau de muschelkalk vient se terminer en pointe en face de Lemud. Les marnes irisées couvrent tout le sol des environs de Remilly, et elles y offrent déjà quelques particularités que celles de la contrée au sud de Faulquemont ne nous ont point présentées.

La plus remarquable est, sans contredit, la salure des

Environ  
de Remilly.

sources qui sourdent du fond de la vallée, entre Remilly et Aubécourt. Elle y donne lieu aux phénomènes de végétation qui ont été remarqués, depuis longtemps déjà, dans la vallée de la Seille; dans les prairies où ces eaux se répandent, l'herbe acquiert, surtout à l'approche de l'automne, une teinte brunâtre foncée qui, tranchant sur leur fond encore verdoyant, y forment de véritables taches. En même temps, on y voit croître des végétaux dans la constitution desquels la soude paraît entrer comme un élément essentiel, tels que l'aster tripolium, etc. On rapporte même qu'avant les travaux qui ont assaini les prairies naturellement basses et humides de la vallée de la Nied française, on y récoltait la salicorne (*salicornia herbacea*), plante qui se plaît surtout dans les eaux salées peu profondes. Toutes ces circonstances réunies ont engagé à rechercher si les sources montantes du fond ne devaient pas leur salure à l'existence de bancs de sel gemme, comme cela a lieu pour celles qui prennent naissance dans la vallée de la Meurthe et de la Seille. Trois sondages ont été forés à cet effet, l'un au nord, l'autre à l'est de Remilly; le troisième près d'Aubécourt; mais ils n'ont mis à jour que des marnes contenant de petits filets de sel gemme, et on a dû, par suite, renoncer à en faire l'objet d'une exploitation. Nous donnons ici la coupe du sondage situé à l'est de Remilly, non loin du moulin de cette localité, il fournit d'utiles indications sur la composition de l'étage keupérien inférieur dans la Moselle. Il a été commencé un peu au-dessous du calcaire dolomitique qui termine cet étage et dont on voit une carrière à la sortie de Remilly du côté d'Aubécourt, et il a été poussé jusqu'à 123 mètres de profondeur dans les premières couches du muschekalk; il a traversé les assises suivantes :

Marnes irisées.		mètres.
Terre végétale . . . . .		0,70
Marne d'un gris bleuâtre . . . . .		6,20
Marne rouge, assez dure, avec quelques filets de gypse.		2,10
Marne bleuâtre . . . . .		20,00
Gypse marneux, assez dur . . . . .		10,00
Marnes irisées, rouges et bleues, avec intercalation de gypse . . . . .		22,41
Gypse compacte, gris, très-dur . . . . .		1,20
Marne salée, grise et blanche (on y a trouvé quelques filets de sel gemme) . . . . .		0,25
Gypse compacte gris . . . . .		2,10
Marnes grises et verdâtres, très-salées . . . . .		5,68
Anhydrite bleuâtre . . . . .		3,86
Marne grise . . . . .		0,65
Calcaire dolomitique, compacte, d'un gris foncé . . . . .		2,08
Marne grise, salée, avec quelques filets de gypse . . . . .		0,77
Calcaire dolomitique, analogue au précédent . . . . .		1,92
Marne d'un gris verdâtre . . . . .		2,60
Calcaire dolomitique d'un gris très-foncé . . . . .		0,48
Marne grise et rouge . . . . .		14,45
Muschelkalk.		
Calcaire dolomitique, gris foncé, un peu cellulaire . . . . .		11,19
Alternances de calcaires compactes gris de fumée et de marnes grises . . . . .		14,36

Le forage situé au nord de Remilly a été approfondi jusque dans le grès bigarré; nous aurons à y revenir.

La présence de sources salées, jaillissantes du fond, dans la vallée de la Nied, est assez facile à expliquer. Le Keuper, aux environs de Remilly, s'appuie sur le revers du plateau de muschekalk qui vient se terminer à une petite distance de cette localité, à Vaucremont; il y est assez incliné. Or, dans un terrain de cette consistance, dont presque toutes les assises sont formées de marnes étanches, il suffit qu'il existe quelques fissures naturelles pour que le phénomène des fontaines artésiennes se produise; celles-ci font l'effet d'un trou de sonde à petite section. C'est précisément ce qui a lieu

à Remilly et à Aubécourt, car nous verrons plus loin que toute la contrée située aux pieds de la côte de Delme est traversée par des failles et des accidents nombreux.

Une autre particularité de l'étage keupérien inférieur, dans les environs de ces localités, est de renfermer des fossiles, circonstance qui mérite d'autant plus d'être notée qu'elle est assez rare. C'est dans la dolomie moyenne, près de Flocourt, village situé à quelques kilomètres au sud de Remilly, qu'ils ont été trouvés. La roche qui les renferme est d'un gris sale, tachée de rouge, grenue et extrêmement celluleuse par suite de la destruction des têts; elle se trouve intercalée au milieu de bancs de calcaire magnésifère qui reproduisent le facies si caractéristique de la dolomie moyenne et qui sont exploités pour moellons à quelque distance du point où on trouve les fossiles. Ceux-ci appartiennent aux genres *pleuromya*, *lucina*, *terebratula*, *torpatella*, *natica*; les espèces sont assez difficiles à déterminer, les coquilles n'étant représentées que par leurs moules.

Sur le chemin de Flocourt à Bechy, l'étage supérieur des marnes irisées est assez développé; il consiste en marnes fortement bigarrées qui renferment de grosses masses arrondies de quartz grenu de couleur brunâtre; il est terminé par des assises lenticulaires de calcaire magnésifère, grisâtre, grenu, bréchiforme qui sont assez épaisses et qui remontent, dans la côte, jusqu'aux premières maisons du dernier village; elles renferment du gypse en lamelles cristallines. Ces mêmes assises paraissent dans les champs le long du chemin de Flocourt à Tragny; elles sont là à grains saccharoïdes et toutes pétries d'une coquille bivalve parvenue à divers degrés de développement, mais dont la détermination

paraît difficile à raison de son état de conservation fort incomplet.

Au nord de Remilly, entre Ancerville, la Houtte, Aoury et Chanville, s'étend la côte du ban Saint-Pierre, ancien territoire d'empire, remarquable par son orientation E. 31° N. C'est un plateau élevé, en moyenne, de 300 mètres au-dessus du niveau de la mer, allongé suivant cette direction, et que couronne la dolomie moyenne. Un petit lambeau de l'étage supérieur terminé par le grès infraliasique est resté en saillie sur ce plateau; il a exactement la forme d'un dôme, au sommet duquel s'élevait encore, il y a quelque temps, la vieille église du haut de Saint-Pierre aujourd'hui démolie. On aperçoit ce point culminant, très-remarquable par sa forme, de tout le pays occupé par les marnes irisées sur les bords des Niefs.

Ce qu'elles présentent ici de remarquable, est le développement du gypse dans l'étage inférieur. Celui-ci se rencontre depuis le bas jusqu'au sommet de la côte du ban Saint-Pierre, sous forme de petits filons ondulés, disposés dans le sens de la stratification, ou de rognons passant à l'albâtre. Vers le milieu de la côte, on exploite une masse de gypse marneux de 3 mètres de puissance qui est terminé vers le haut, comme cela est habituel à ces espèces d'amas, par un réseau de petits filons fibreux qui s'entre-croisent en tous sens. Le calcaire magnésifère qui couronne la côte, constitue plusieurs assises dont les plus épaisses ont environ 15 centimètres, et qui sont disposées, au-dessus du gypse, en forme de voûte. On en distingue de deux espèces: la plus commune est la variété ordinaire d'un gris blanchâtre, compacte, à cassure unie et mate; la seconde est une véritable brèche dont la pâte, composée de dolomie cristalline présentant de nombreuses

druses tapissées de cristaux, réunit des fragments anguleux qui paraissent provenir de la première roche. Ces assises de calcaire magnésien sont exploitées sur plusieurs points de la côte du ban Saint-Pierre; au point où celle-ci est traversée par l'ancienne chaussée romaine, elles plongent de 10° vers le sud 20° ouest. Le gypse qui constitue la base de cette côte, est également exploité dans de nombreuses carrières, sur le revers qui regarde la Nied, à Ancerville, Remilly et Voimhaut. La masse mise à jour sur ces différents points a de 1<sup>m</sup>,30 à 3 mètres de puissance; elle est assez bien réglée et passablement marneuse. La présence du gypse dans les marnes du keuper inférieur et la consistance qu'il a contribué à leur donner, sont sans doute les causes principales qui se sont opposées à la dénudation du coteau du ban Saint-Pierre, elles sont aujourd'hui nettement accusées dans le relief du sol de cette colline par des pentes beaucoup plus abruptes que celles qui sont habituelles aux marnes irisées.

L'étage supérieur de cette formation n'est représenté, sur la côte qui domine Chanville, que par une petite hauteur de marnes bigarrées, fortement ravinnées, et par quelques minces assises de calcaire magnésifère marneux que recouvre le grès infraliasique.

Dans le grand quadrilatère compris entre les deux Niefs que nous venons de parcourir, les marnes irisées ont, à part quelques ondulations de détail, une inclinaison marquée vers le sud-est. Ainsi, tandis que, dans la côte du ban Saint-Pierre, la dolomie moyenne atteint l'altitude de 317 mètres, elle ne s'élève guère qu'à 270 mètres dans les environs de Remilly et de Flocourt, et elle descend jusqu'à 250 mètres à Suisse et à Landroff, à l'extrémité orientale de notre carte. Il

Disposition  
du Keuper, entre  
Faulquemont  
et Remilly.

résulte de cette disposition que les revers des côtes tournées du côté du nord-ouest, et qui présentent les affleurements des couches, offrent en général des pentes beaucoup plus fortes que les versants opposés. Cela est extrêmement sensible sur la route de Faulquemont à Morhange par Landroff. Chaque étage y est pour ainsi dire indiqué par une côte roide à laquelle succède un palier légèrement incliné du côté du sud. Celle qui correspond à la partie inférieure du keuper, commence près de la tuilerie de Faulquemont et se termine au point coté 286 mètres; on descend de là par une pente faible jusqu'au ruisseau de Vahl, et, après l'avoir traversé, on a devant soi une côte moins longue que la première, et qui montre les affleurements de l'étage keupérien supérieur. Le lias se trouve être également en saillie sur le plateau qui la termine beaucoup plus qu'il ne l'est, du côté du sud, vers Landroff. La fig. 5, Pl. IX, donne une idée de cette disposition.

En suivant, à partir de Remilly, le cours de la Nied française, on ne tarde pas à atteindre Lemud et à se trouver en face de Vaucremont, point près duquel vient se terminer l'éperon de muschelkalk que nous avons décrit dans le chapitre précédent. L'espace occupé par les marnes irisées autour de ce village se trouve resserré entre la rivière au nord, jusqu'à laquelle s'avance le calcaire conchylien, et le plateau de calcaire à gryphées qui forme un escarpement à une petite distance vers le sud. La dolomie moyenne est la roche que l'on rencontre le plus souvent à la surface du sol dans cette région; elle couronne tous les sommets des collines peu élevées que l'on y remarque. Sur le chemin de Sorbey à Lemud, elle présente deux variétés que nous n'avons point encore signalées: l'une est compacte, d'un gris clair, à cassure un peu esquilleuse et criblée

Environs  
de Lemud.

de dendrites; l'autre est grenue, d'un gris plus foncé; elle renferme des amandes de quartz à surfaces arrondies qui s'en détachent facilement et qui donnent à la roche un aspect cellulaire; on y remarque aussi quelques coquilles turicullées indéterminables.

Dans une tranchée du chemin de fer au sud de Sanry, les marnes inférieures du keuper renferment des assises magnésifères qui se brisent en fragments polyédriques, renfermant des cavités tapissées de cristaux de dolomie.

L'étage supérieur est toujours peu développé; il ne paraît que dans l'escarpement du sud, où il forme, au-dessous du grès infraliasique, quelques minces assises fréquemment recouvertes par des éboulis.

Environ  
de Pange.

Nous devons maintenant suivre les marnes irisées sur le flanc du plateau de muschelkalk tourné vers le nord-ouest; ce que nous pourrions faire sans quitter les rives de la Nied française, car on remarquera qu'un peu au sud de Vaucremont, cette rivière fait un coude très-prononcé et prend la direction de la bande keupérienne. Une ligne presque droite, tirée de Bazoncourt sur Courcelles-Chaussy, et qui passe par la ferme de Fourcheux, Maizeroy et Chevillon, marque exactement la limite du muschelkalk et des marnes irisées. Aux environs du premier village, cette ligne est nettement accusée dans le relief du sol; il y a là, sur la pente du plateau de calcaire conchylien, un bourrelet de marnes qui forme subitement saillie et donne lieu à une côte assez ardue. Les assises qui en forment le pied sont des dolomies grenues alternant avec des grès à grains très-fins, contenant des empreintes de végétaux carbonisés, et quelques débris de corps organisés indéterminables. Ces couches, qui établissent le passage du muschelkalk au Keuper, sont surmontées d'un puissant dépôt de marnes bigarrées au milieu duquel on

trouve beaucoup de rognons de gypse silicifère, cellulux; le grès lui est superposé; à Sanry, Maizeroy, Chevillon, les coteaux déprimés aux pieds desquels coule la Nied, en sont formés; c'est du reste toujours la même roche à grains très-fins, micacée, de couleur grise ou lie de vin.

Il est très-développé dans le premier village dont il constitue le sol; quelques parties sont agglutinées par un ciment dolomitique qui leur donne assez de consistance. La dolomie moyenne se montre à une faible hauteur au-dessus du grès; on peut l'observer au-dessus de Sanry, sur le chemin qui monte de Pange à l'obélisque, près du château d'Urville et au nord de Courcelles-Chaussy. L'étage supérieur du Keuper se montre toujours sur une très-faible hauteur. Cependant, dans la colline située entre Pange et Mont, sur le sommet de laquelle s'élève l'obélisque signalé, sous la cote 292 mètres, il acquiert un certain développement. Il le doit à un amas de plâtre fibreux de 8 à 10 mètres de puissance qui lui est subordonné, et qui a été exploité autrefois dans plusieurs carrières placées à mi-côte. Rien n'est plus propre à donner une idée de l'effet que produit l'intercalation des amas gypseux au milieu des marnes irisées que le bombement de cette colline de Mont; elle a, du côté de la Nied, une pente abrupte, et son sommet recourbé en forme de dôme s'élève d'une manière très-sensible au-dessus de la ligne assez régulière des coteaux qui constituent le flanc gauche de la vallée.

Dans la région que nous venons de décrire, la bande formée par le terrain keupérien a à peine 2 kilomètres de largeur; nulle part le plateau de calcaire à gryphées arquées ne se rapproche davantage, dans la Moselle, du muschelkalk. Cette circonstance est bien loin d'être

accidentelle; elle est due à une grande faille qui suit à très-peu près la direction de la vallée de la Nied, entre Chailly et Courcelles-Chaussy, et dont on voit une trace évidente près de Domangeville, où l'étage inférieur des marnes irisées, représenté par le grès, vient butter contre le calcaire liasique. Nous aurons à revenir sur cet accident lorsque nous étudierons les terrains superposés au Keuper.

Disposition  
des  
marnes irisées  
au nord  
du Courcelles-  
Chaussy.

Au nord de Courcelles-Chaussy, la bande que ce terrain constitue, s'élargit d'une manière considérable, et elle va constamment en s'épanouissant jusqu'à la limite de notre carte vers le nord. La même circonstance se produit sur la rive droite de la Nied, de telle sorte qu'à la hauteur de Piblangé, la bande atteint une largeur de 16 kilomètres mesurés de l'est à l'ouest. Nous avons déjà eu l'occasion de caractériser cette contrée : c'est un plateau presque entièrement boisé, dont le sol est formé par les sables du grès infraliasique, et qui est découpé par de nombreux vallons à pentes assez roides. L'étage keupérien supérieur constitue la majeure partie de ces pentes; les marnes inférieures ne se rencontrent plus qu'en lambeaux épars et insignifiants au fond des vallées. Pour voir ces dernières dans tout leur développement, il faut passer sur la rive droite de la Nied, où elles occupent d'assez vastes espaces décrits dans notre mémoire sur le bassin de Sarrebruck. Cependant, dans la région tout à fait septentrionale de notre carte, elles s'étendent aussi sur la rive gauche de cette rivière, et nous les retrouverons à Piblangé avec quelques particularités intéressantes.

Carrière de gypse  
de Marivaux.

L'étage supérieur du Keuper, extrêmement limité dans son développement, offrant à sa base une assise peu épaisse de marnes avec des oppositions de couleurs très-tranchées, et vers le haut une dolomie gre-

nue ou marneuse, ne mérite d'être mentionnée que lorsque le gypse s'y développe. Cette circonstance se présente, à l'est du château de Marivaux, dans la carrière de ce nom. On y exploite une masse de 2 à 3 mètres de puissance de gypse lamellaire, bigarré des couleurs grisâtre, verdâtre, lie de vin ou brunâtre, laquelle devient grenue dans certaines parties et passe à l'albâtre. Elle repose sur de petits lits de dolomie veinée de gris et de lie de vin qui renferment entre leurs strates des nodules de sulfate de chaux, et elle est terminée vers le haut par un réseau très-compiqué de veinules de beau gypse fibreux blanc qui courent en tous sens au milieu des marnes. Des assises minces de dolomie grenue couronnent la tranchée ouverte pour l'exploitation de la carrière; leur stratification ondulée reproduit les contours de la masse exploitée. Près du hameau de Bellefontaine, ces mêmes assises, qui terminent l'étage keupérien supérieur, sont remplies de vides dont les parois sont tapissées de cristaux de dolomie et de strontiane sulfatée.

Sur le revers septentrional des coteaux qui comprennent la carrière de Marivaux, l'étage inférieur du Keuper acquiert, comme nous l'avons déjà fait remarquer, un développement superficiel assez considérable; il ne forme pas seulement le fond des vallées, mais il couvre encore un canton assez étendu sur la rive gauche de la Nied. Sa composition ne diffère point sensiblement de celle qu'il présente dans la région orientale de notre carte. On trouve toujours vers sa base un dépôt assez puissant de marnes avec de nombreuses concrétions gypseuses et silicifères, puis le grès et le calcaire magnésifère qui en forme le couronnement. Dans les environs de Charleville, ce dernier renferme une roche fossilifère toute remplie de cellules prove-

Dolomie  
fossilifère.  
de Charleville.  
Houille  
de Piblangé.

nant de la destruction des coquilles qui y étaient abondantes, et qui appartiennent, comme celles de Flocourt, aux genres pleuromie, tornatelle, natice.

La région comprise entre Charleville et Piblangé est également remarquable par le développement qu'y acquiert le grès keupérien. Il s'y présente en assises minces, mais sur une hauteur considérable, et il forme le sommet des collines qui dominent les villages de Guinkirchen, Megange et Rurange. Entre les deux premiers villages, il est de couleur grisâtre avec grandes taches d'un rouge foncé. Au-dessus de Mégange, il s'élève jusqu'à la lisière du bois où il est exploité; les assises supérieures sont là très-fissiles, de couleur lilas ou d'un brun rougeâtre; elles renferment beaucoup de paillettes de mica. La partie inférieure contient au contraire quelques gros bancs qui sont peu agrégés. C'est au-dessous du grès, dans le coteau peu élevé compris entre Piblangé et Bockange, que l'on a exploité jadis un gîte de combustible qui vient d'être repris pour la pyrite qu'il renferme. Il a de 55 à 60 centimètres de puissance et forme un bassin extrêmement circonscrit qui ne s'étend pas même sous toute la surface du coteau dont il vient d'être question. La houille qu'on en tire est brillante, assez sèche; elle est surtout remarquable par la proportion de pyrite qu'elle renferme et qui atteint, sur certains points, jusqu'à 58 p. 100; celle-ci existe dans le gîte sous forme de petits rognons à texture fibreuse de la grosseur d'une noix et en particules indiscernables.

La couche de combustible affleure, en face de Piblangé, un peu au-dessus du ruisseau de ce nom; elle est immédiatement recouverte par le grès qui est ici peu développé, puis par des marnes lie de vin, bigarrées de grès qui renferment quelques rognons de gypse. La

dolomie moyenne couronne le sommet du coteau; elle est grisâtre, à cassure lisse, extrêmement gelive, en assises bien réglées de 1 à 2 décimètres d'épaisseur; l'étage renferme des couches fossilifères analogues à celle de Flocourt; ce qui tend à établir que la présence des fossiles à ce niveau dans la formation des marnes irisées est un fait assez général en Lorraine. Déjà nous avons signalé leur existence dans les rognons de minéral qui appartiennent, comme on sait, au même étage que la dolomie moyenne. Un puits de recherche foré près du chemin de Piblangé à Bockange, non loin de ce dernier village, n'a traversé qu'un très-mince filet de houille; en revanche, le grès s'y est montré plus développé que sur le revers opposé du coteau; il est partagé en strates minces, qui sont couvertes d'empreintes de la flore keupérienne. La *fig. 6*, Pl. IX, donne la coupe du coteau de Piblangé à Bockange et montre à combien de variations sont sujettes les assises qui composent le Keuper, même dans un rayon peu étendu.

Dans la bande de terrain que nous venons de décrire, les marnes irisées s'appuient sur les pentes du plateau de muschelkalk tournées vers le nord-ouest; elles plongent d'une manière assez sensible dans cette direction. Les collines qu'elles constituent, présentent des revers assez roides du côté où les couches viennent affleurer et elles s'abaissent légèrement du côté opposé. On peut remarquer cette disposition dans la côte de Mont, dans le massif qui s'étend entre Courcelles-Chaussy et Landonvillers, dans la colline sur laquelle est bâtie la chapelle Saint-Jacques, au-dessus de Northen. Il en résulte que, lorsqu'on traverse la bande, en marchant de niveau du sud-est vers le nord-ouest, on voit l'étage inférieur, puis le supérieur disparaître progressivement. Ainsi, tandis qu'à Pont à Chaussy, sur la Nied française,

Disposition  
des  
marnes irisées  
sur le revers  
septentrional  
du plateau  
de muschelkalk.

on est en plein dans les marnes inférieures, on ne trouve déjà plus, aux Étangs, village situé dans la même vallée, à quelques kilomètres au nord, qu'un lambeau insignifiant de l'étage supérieur, et le grès infraliasique constitue la base des coteaux au pied desquels cette rivière serpente. Cependant le plongement des assises dans le sens indiqué n'est point parfaitement régulier: il y a des ondulations, des redressements de détail qui dépendent vraisemblablement des accidents produits, dans la formation keupérienne, pour l'intercalation des amas de gypse. C'est à des accidents de ce genre que nous attribuons la présence, à l'altitude de 240 mètres, de l'étage inférieur au fond de la vallée où est situé le château de Marivaux, au nord des Étangs. Plus au nord encore, cet étage se relève davantage; il couvre tout un canton où il y a des collines qui atteignent une hauteur de 300 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le développement qu'il acquiert dans cette région tient à un fait de redressement qui a une certaine généralité et sur lequel nous aurons à revenir. Constatons, en passant, que le grès keupérien qui, près de Piblang, se trouve à une très-faible hauteur au-dessus du ruisseau près duquel on lit la cote 224 mètres, s'élève, à une petite distance au sud, dans la colline plantée de vignes qui domine Rurange, à 295 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces différences de niveau que présente une même assise dans un intervalle de 1.500 mètres à peine, ne peuvent s'expliquer sans une faille. Nous aurons à revenir sur l'accident reconnu entre Piblang et Rurange, quand nous étudierons le lias.

Marnes irisées  
à la naissance  
de la vallée  
de la Canner.

L'étage supérieur du keuper paraît, entre Befey et Saint-Hubert, à la naissance de la vallée de Canner, au-dessous du grès infraliasique qui en forme les flancs

assez abruptes. Il y est représenté par des marnes bigarrées, contenant de la dolomie greuve en rognons et par quelques minces assises d'un calcaire magnésifère, semi-cristallin, d'un gris jaunâtre, taché de vert clair. Près de Saint-Hubert, ces assises renferment une dolomie d'un noir bleuâtre dans laquelle on distingue des moules de fossiles; quelques tests y paraissent également avec une conservation parfaite; seulement la ténacité de la roche s'oppose à ce qu'on puisse les isoler sans les briser. Les ondulations déjà signalées dans la stratification du keuper se reproduisent ici sur une petite échelle; il ne paraît que sur le flanc droit de la vallée et il y est recouvert à des niveaux qui offrent des différences peu considérables, mais cependant suffisamment sensibles.

Les marnes irisées se montrent également à l'extrémité méridionale de notre carte, dans la vallée entre Vulmont et Achatel, aux pieds de la côte de Delme. Il n'y a là qu'un lambeau tout à fait insignifiant de l'étage supérieur qui se révèle dans un petit arrachement sur le chemin qui réunit ces deux villages. Il nous suffit pour le moment de signaler son existence en un point où il se trouve aussi rapproché de l'oolithe.

Marnes irisées  
au pied de la côte  
de Delme.

L'épaisseur de la formation du keuper se montre assez variable dans l'étendue que notre carte embrasse. On a vu qu'un sondage foré dans la vallée de la Nied près de Remilly a traversé, sur une hauteur d'environ 100 mètres, une partie seulement de l'étage inférieur. Si l'on remarque que les dolomies qui couronnent cet étage, apparaissent dans la côte voisine du banc Saint-Pierre, à 100 mètres au-dessus du fond de la vallée, on arriverait au chiffre de 200 mètres pour sa puissance dans la localité dont il s'agit et, en y ajoutant 15 mètres pour l'étage supérieur, à celui de 215 mètres pour

Puissance  
de la formation  
keupérienne.

l'épaisseur totale de la formation. Si celle-ci s'élève à un chiffre plus considérable dans la partie centrale du bassin occupée par les marnes irisées, dans la vallée de la Seille par exemple, il est vraisemblable que celui que nous venons de donner, représente un maximum pour la région que notre carte embrasse. Le développement du gypse dans les marnes des environs de Remilly est probablement la circonstance qui contribue à leur donner cette grande épaisseur. Quelle que soit l'explication que l'on adopte, toujours est-il qu'elles ont une puissance beaucoup moins grande sur la route de Faulquemont à Baronville par Landroff et dans les environs de Lemud. Nous ne parlerons point du peu de développement de la formation sur les rives de la Nied, entre Pange et Courcelles; elle est traversée là par un accident considérable; il est tout naturel de ne point l'y rencontrer avec son épaisseur habituelle.

### 3° Lias.

Relief du sol occupé par le lias.

Le sol occupé par le lias est beaucoup moins accidenté que celui que recouvrent les marnes irisées. Il présente, dans son relief, de vastes plateaux à pentes presque uniformes, à surfaces presque planes, recoupés seulement par quelques vallées peu profondes, larges, évasées. Les sources y sont rares, et ne donnent naissance qu'à des ruisseaux peu volumineux, très-sujets à tarir pendant l'été. Si, de loin en loin, un mouvement de terrain un peu prononcé se remarque dans cette formation, on peut d'avance, et avec certitude, le rapporter à un accident géologique. Tel est au moins le caractère de la région que recouvrent les parties inférieures du terrain: le calcaire à gryphées, et le calcaire à bélemnites. Les points les plus élevés du plateau qu'ils constituent, se trouvent en général vers l'est

dans le voisinage des marnes irisées; les points les plus bas, au contraire du côté de l'ouest, là où ils commencent à être recouverts par les marnes qui forment l'étage supérieur. Le sol occupé par ces dernières, après avoir produit à la surface du plateau liasique quelques ondulations de détail, se relève habituellement d'une manière assez brusque dans une ligne de côtes que couronne l'étage oolithique inférieur. Pour mettre en saillie les divers accidents de ce relief qui est celui de la contrée comprise entre la Nied française et la Moselle, nous donnons ici trois séries de cotes que nous empruntons, les premières à la cote du plateau de calcaire à gryphées du côté de l'est, les secondes aux parties déprimées où ce plateau commence à être recouvert par les marnes, les troisièmes à la ligne qui sépare leur partie supérieure de l'oolithe.

1° Arbre signalé, au-dessus de Chémery, sur la route de Faulquemont à Landroff. . . . .	312 <sup>m</sup>
Crête du plateau liasique, près du chemin de Remilly à Luppy. . . . .	509
Crête du plateau liasique, près du chemin d'Aube, à Pontoy. . . . .	518
Obélisque au-dessus de Mont . . . . .	292
Maison signalée de Landremont sur la route de Metz à Courcelles-Chaussy et Saint-Avold. . . . .	289
Sommet de la côte des Etangs sur la route de Metz à Boulay . . . . .	290
Entre Cheuby et Avancy près du bois de la première commune. . . . .	317
Au-dessus de Lavieuville. . . . .	311
Fours à chaux de Nidange . . . . .	352
Sommet de la côte, au-dessus de Villers-Betmach, sur le chemin de Metz à Bouzonville. . . . .	362
2° Sur la route de Faulquemont à Landroff, au-dessus du dernier village . . . . .	273
Près d'un ancien étang, au sud de Luppy . . . . .	247
Ancy-les-Solgne . . . . .	263
Près de la ferme de la Vannoue . . . . .	251
Près de Fleury . . . . .	223

Pouilly . . . . .	215 <sup>m</sup>
Sommet du coteau de Queleu . . . . .	225
Entre Vallières et Saint-Julien-les-Metz . . . . .	248
Près de Chieulles . . . . .	200
Au-dessus d'Argancy . . . . .	186
Entre Chailly et Ennery . . . . .	207
3° Limite du lias et de l'oolithe, près de Moncheux. . . . .	343
<i>Id.</i> au-dessus de Lorry-Mardigny. . . . .	334
<i>Id.</i> au-dessus de Vezon. . . . .	330
Marnes du lias entre Luzerail et Augny. . . . .	510

Composition  
du lias.

Le lias est un terrain dont la stratification bien réglée est loin de présenter les variations que le Keuper nous a offertes; les mêmes assises s'y retrouvent constamment à la même place avec des différences peu considérables dans leur épaisseur. Nous donnons ici le détail de celles qui entrent essentiellement dans sa composition, en les présentant de bas en haut, ou dans l'ordre de leur succession.

1° Un grès formé de grains de quartz assez grossiers, le plus souvent peu ou point agrégés; il alterne avec des marnes ardoisées brunes. C'est le grès infraliasique qui constitue la première division que nous avons faite dans le lias. Les débris organisés fossiles ne sont pas très-communs dans cet étage qui est terminé vers le haut par un dépôt de marnes rouges souvent confondu avec le Keuper.

2° Le calcaire à gryphées arquées. Il est surtout remarquable par la régularité des alternances de marnes et de calcaires bleuâtres qui le composent, et qui sont très-riches en fossiles.

3° Le calcaire à bélemnites. Il se réduit à quelques minces assises de calcaire, mais il est séparé de l'étage précédent par des marnes qui forment sa partie principale, et qui renferment des cristaux de gypse et de petits ovoïdes ferrugineux.

4° Les marnes à ovoïdes. C'est un puissant dépôt de marnes argileuses, ou argilo-sableuses dans lequel on ne trouve plus d'assise solide bien suivie, et qui est caractérisé par les corps réniformes connus sous les noms d'ovoïdes, ou d'œtites, qu'il renferme avec abondance. Ces corps ocreux ou calcaires, sont disposés par lits au milieu des marnes; les premiers appartiennent de préférence à la partie inférieure de l'étage. Celui-ci renferme, dans sa partie moyenne, des marnes extrêmement sableuses, ou même un véritable grès auquel on a donné le nom de médioliasique. Les fossiles ne sont pas rares dans cet étage, on les trouve plus communément dans les ovoïdes que dans les marnes; ceux du grès sont caractéristiques de l'assise.

5° Le grès supraliasique consistant en quelques minces assises d'un grès légèrement micacé, à grains fins réunis par un ciment argileux ou ocreux. Il est peu développé, et pauvre en fossiles.

6° L'hydroxyde oolithique, assise qui, à raison de sa composition si caractéristique et de sa valeur, constitue en Lorraine un des horizons géologiques les mieux reconnus; elle a encore moins d'épaisseur que la précédente.

7° Enfin, les marnes micacées, grises, verdâtres ou bleuâtres, qui sont superposées à l'hydroxyde et qui terminent, vers le haut, la formation liasique.

Ces diverses assises correspondent aux divisions que nous avons faites primitivement dans le lias, à l'exception des trois dernières, qui se trouvent réunies dans un seul et même étage.

Nous allons suivre ce terrain dans les différentes parties du territoire que notre carte embrasse, en allant de l'est vers l'ouest, et signaler, comme nous l'avons déjà fait pour les marnes irisées, les particularités

qu'il présente dans son allure, et dans sa composition.

Lias  
entre Chémery  
et Landroff.

Le lias forme, entre Chémery et Landroff, un plateau légèrement incliné vers le sud que traverse la route de Saint-Avoid à Château-Salins; le calcaire à gryphées arquées en occupe la surface; les marnes rouges et le grès infraliasique se montrent sur tout son pourtour. Le grès est coupé par la route près de Chémery, et il présente, au-dessus du bois de Brommberg un escarpement qui paraît provenir d'une ancienne exploitation. Dans sa partie inférieure, il est composé de grains de quartz translucides, peu agrégés, dont quelques-uns sont recouverts d'un enduit jaunâtre, ferrugineux; il est pointillé de taches d'un brun foncé qui paraissent dues à de l'oxyde de manganèse et il renferme, sous forme d'amandes, des marnes verdâtres qui proviennent probablement de la formation inférieure; la roche qui est tendre et friable présente une certaine bigarrure de couleurs. Vers le haut, le grès prend plus de consistance; il est fortement coloré en brun par un ciment ferrugineux, et il alterne avec des marnes argileusesardoisées, bleuâtres. Il est recouvert par les marnes rouges qui se montrent dans une tranchée de la route et auxquelles succède le calcaire à gryphées en assises bien réglées, épaisses seulement de quelques décimètres, alternant avec des marnes bleuâtres. L'étage calcaire est bien loin d'atteindre ici son développement habituel; on l'exploite sur plusieurs points du plateau, et en particulier au-dessus de Thicourt. Le long du chemin qui descend à ce dernier village, on voit une carrière de sable blanc dans le grès infraliasique; on y remarque également une roche grisâtre, tachée de jaune et de points brunâtres manganésifères, laquelle paraît être dolomitique; c'est un

grès mieux agrégé que ne l'est habituellement l'infralias et qui renferme, avec de petits galets de quartz noirs ou grisâtres, de nombreux débris de poissons. Il repose directement sur la dolomie du Keuper supérieur qui ne tarde pas à paraître dans le fossé du chemin un peu au-dessus de Thicourt.

Le lambeau de calcaire à gryphées que l'on rencontre entre Chémery et Landroff, fait partie d'un massif allongé qui, se détachant au sud de Remilly, de la bande liasique dirigée, dans le département de la Moselle, à peu près suivant le méridien, s'avance avec l'orientation E. 30° N., jusque dans les environs de Puttrelange. Ce massif est seulement interrompu par les coupures que produisent les vallées, il est encaissé dans un sillon profond de marnes irisées, car au nord près de Faulquemont aussi bien qu'au sud, entre Destrinch, Baronville et Morhange, celles-ci s'élèvent à des hauteurs comparables à l'altitude que le lias atteint. L'existence de cette espèce de baie allongée, occupée par la formation liasique inférieure, rentre dans la disposition générale que présentent, dans le département, les terrains vers la lisière de la Meurthe; elle se rattache, de la manière la plus évidente, aux accidents que nous avons rappelés au commencement de ce mémoire, par suite desquels toute la formation du trias se trouve être orientée et plissée dans cette région suivant la direction de l'axe de soulèvement du terrain de la Sarre.

C'est à une cause identique qu'il faut rapporter la présence, au milieu de la plaine liasique, des pointements oolithiques qui constituent la côte de Delme. Avant les dénudations qui ont mis en saillie les protubérances isolées dont cette côte se compose, celles-ci se rattachaient au massif oolithique des environs de Dieulouard; elles formaient une seconde baie concen-

Lias sur les flancs  
de la  
côte de Delme.

trique à la précédente, moins étendue seulement du côté de l'est.

Le lias paraît déjà, autour de la côte de Delme, avec un développement assez considérable; il y présente aussi des accidents qu'il convient d'étudier.

La côte de Delme s'élève à la surface d'un vaste plateau de calcaire à gryphées qui a une inclinaison sensible vers le sud un peu ouest, et que termine, du côté de l'est, un escarpement assez prononcé, à une petite distance duquel la Nied française coule entre Han et Courcelles. Ce terrain conserve ici les caractères que nous avons déjà reconnus au sud de Faulquemont; il est composé d'alternances d'assises peu épaisses de calcaire bleuâtre, compacte, à grains fins, et de marnes de la même couleur. Les fossiles y sont très-abondants, mais la gryphée arquée est de beaucoup celle qui y domine; les surfaces de certaines couches en sont littéralement couvertes. Dans la partie supérieure, celles-ci renferment, avec une grande abondance, des encrines blanches qui présentent le triple clivage du spath calcaire et qui donnent à la roche une texture particulière; ces bancs à encrines sont bien développés près de Pontoy et de Solgne. Le calcaire à gryphées est exploité sur plusieurs points du plateau, notamment près de Bechy, de Buchy et de Silly. Au-dessus de la ferme de Poncillon, il présente une particularité assez remarquable; une source fortement ferrugineuse sourd au fond d'une petite cuvette des affleurements qui regardent cette ferme; elle abandonne en coulant un précipité rouge d'hydrate de fer; elle paraît provenir de la décomposition des pyrites qui se rencontrent quelquefois dans les bancs du calcaire à gryphées.

Ces bancs sont du reste constamment séparés du Keuper supérieur par les marnes rouges et le grès in-

fraliasique qui se montrent sur les pentes de l'escarpement par lequel le plateau est terminé du côté du nord-est. Les marnes sont rudes au toucher; elles se divisent en fragments irréguliers et ne présentent aucune trace de schistosité; elles ne diffèrent par leur aspect des marnes irisées qu'en ce qu'elles ne sont point bigarrées. Le grès est toujours à grains de quartz assez grossiers, tantôt peu agrégé et grisâtre, tantôt ferrugineux, brun et assez consistant; ses assises sont séparées par de petits lits de marnes brunâtres, schisteuses, micacées, qui deviennent plus fréquentes et plus épaisses vers le haut. Dans les bois qui encaissent la petite vallée d'Aube, on exploite comme pierre de construction, au milieu du grès infraliasique, un gros banc de dolomie gréseuse, d'un gris taché de vert clair, qui est très-distinctement oolithique et qui renferme des débris de poissons. Les marnes brunes acquièrent dans cette localité un développement anormal. Ces assises à débris de poissons paraissent former au milieu du grès un horizon assez constant; nous aurons occasion de signaler leur présence sur d'autres points.

Le grès, les marnes rouges et le calcaire à gryphées qui constituent le lias inférieur ont, aux pieds de la côte de Delme, une allure qui est en rapport avec la disposition orographique du terrain; ils plongent, sous une inclinaison faible, vers le sud-ouest, comme le plateau dont ils forment le sol. On peut observer cette inclinaison sur de nombreux points du plateau où les couches sont mises à jour, notamment dans le fossé du chemin de Remilly à Bechy, dans les carrières situées entre ce village et Luppy, et tout autour de Basse-Beux.

Quand on descend, à partir de l'escarpement qui le termine, les pentes du plateau de calcaire à gryphées, on atteint généralement le calcaire à bélemnites vers

l'altitude de 260 à 280 mètres. Le point où on peut le mieux observer cet étage est sur le chemin de Bechy à Luppy. A peine a-t-on dépassé les maisons du premier village qui est construit tout entier sur le calcaire à gryphées, que l'on gravit une pente assez roide formée par des marnes bleuâtres contenant du gypse en lamelles cristallines et des ovoïdes ocreux. La côte est couronnée par un calcaire en assises épaisses seulement de quelques centimètres; il est de couleur grise jaunâtre, tout criblé de petites oolithes brunes; il renferme les fossiles habituels de ce terrain, et en particulier beaucoup de bélemnites.

Le calcaire à bélemnites et les marnes qui lui sont subordonnées, forment une bande continue que l'on peut suivre en marchant à partir de Luppy vers l'ouest jusqu'à la route de Metz à Château-Salins par Solgne. Au-dessus du premier village, la partie calcaire qui termine cet étage, paraît dans une tranchée de la route qui se dirige vers Buchy. Elle est de couleur brune avec taches bleuâtres ou verdâtres; elle renferme beaucoup de petites oolithes d'un brun jaunâtre; elle paraît être peu consistante. On la trouve en assises minces qui renferment beaucoup de fossiles, bélemnites, ammonites, térébratules, etc.; on y rencontre aussi de la pyrite en rognons qui sont décomposés à la surface et recouverts d'une croûte ocreuse. En s'avancant davantage vers Buchy, on ne tarde pas à atteindre les marnes qui constituent la base de l'étage; elles sont très-gypseuses et renferment des ovoïdes aplaties de couleur grisâtre qui sont sillonnées par des bandes ocreuses traçant des dessins très-complicés autour de différents centres. Enfin, un peu avant d'atteindre ce village, on trouve dans les fossés de la route, qui est légèrement ascendante, les premiers bancs du calcaire à gryphées

arquées; ils sont remarquables par la grande quantité de térébratules (*terebratula varians*) qu'ils renferment. Ce fossile communique à la roche, dont il forme la masse presque entière, son aspect nacré; il est assez habituel de le rencontrer avec cette profusion dans la partie tout à fait supérieure de l'étage.

Au sud de Luppy, et parallèlement à la bande formée par le calcaire à bélemnites, s'élève une ligne de coteau dont la saillie au-dessus de la plaine est très-prononcée; les marnes à ovoïdes commencent à se montrer aux pieds de ces collines, et elles couvrent une étendue assez considérable de terrain jusqu'à la limite du département du côté de Moncheux et de Juville. Les premières assises qui paraissent dans la côte de Luppy sont des marnes feuilletées, bleuâtres, contenant des ovoïdes calcaires à grains fins de même couleur; cet étage est très-pauvre en débris organisés, il ne s'élève pas bien haut. Il est immédiatement recouvert par des marnes avec ovoïdes ferrugineux auxquelles succède un grès d'un gris sale, à grains très-fins, à ciment argileux qui renferme quelques petits œtites de forme ellipsoïdale. On y trouve beaucoup de fossiles bien conservés: la *plicatula spinosa*, l'*avicula inæquivalvis*, des ammonites, des térébratules (*terebratula triplicata*), des pholadomyes. On peut suivre ces assises gréseuses jusqu'au haut de la colline; c'est sur elles qu'est placé le signal de Luppy à l'altitude de 301 mètres. Elles paraissent également avec leurs fossiles caractéristiques sur de nombreux points de la côte de Delme, notamment sur le chemin de Tragny à Luppy, sur celui de Thimonville à Juville et dans les bois de Solgne.

En s'avancant davantage vers cette côte sur le chemin de Tragny à Moncheux, ou sur celui de Thimonville à Bacourt, on rencontre un étage de marnes argileuses,

extrêmement grasses, de couleur bleue foncée, lesquelles renferment beaucoup d'ovoïdes de calcaire bleuâtre. Ces marnes, recouvertes par places d'un diluvium peu épais, peuvent être suivies jusqu'aux premières assises calcaires de l'oolithe, car ni le grès supraliasique, ni l'hydroxyde oolithique ne paraissent sur les versants de la partie de la côte de Delme, qui appartient au département de la Moselle, soit parce qu'ils y sont très-peu développés, soit, ce qui est plus vraisemblable, parce qu'ils sont recouverts par les éboulis des couches supérieures, très-communs sur ces versants. Les marnes qui recouvrent le grès médioliasique, sont extrêmement riches en fossiles; nous citerons parmi ceux que nous avons recueillis, des posidonies, des monotis et des ammonites.

Au contact de ces deux étages, une source ferrugineuse se fait jour sur un pâtis communal de Thimonville, près du chemin de ce village à Bacourt, un peu au-dessus du ruisseau du grand étang. Les sources de cette nature sont extrêmement fréquentes à ce niveau dans toute la Lorraine; elles paraissent emprunter les sels qu'elles tiennent en dissolution aux ovoïdes calcaro-ferrugineux et pyritifères que l'on rencontre dans les marnes supérieures du lias. Les principales substances salines que l'analyse y révèle, sont les carbonates de chaux, de magnésie et de protoxyde de fer, les sulfates de magnésie, de chaux et de potasse; le dépôt ocreux qu'elles abandonnent en coulant à la surface du sol, contient une quantité notable d'arsenic.

Les différents étages qui composent la formation liasique sont bien loin d'être disposés d'une manière régulière autour de la côte de Delme; une étude de détail conduit même à reconnaître qu'ils sont traversés par un grand nombre d'accidents qui mettent constam-

Accidents  
dans le lias  
autour  
de cette côte.

ment en contact des assises dissemblables. Il est probable que c'est à la faveur de ces accidents et des dépressions qu'elles ont produites dans le relief du sol que la mer, dans laquelle s'est déposée l'oolithe inférieure, a pu s'avancer jusqu'à Delme, sous forme d'une baie allongée qui se rattache aux environs de Dieulouard par une suite d'îlots aujourd'hui isolés à la surface du terrain liasique. Toutefois il paraît également prouvé que quelques-uns d'entre eux sont postérieurs au dépôt de l'oolithe. Nous citerons d'abord quelques-uns de ces accidents, qui sont bien mis en relief par la carte. Du côté de l'est, le village de Bechy, placé dans une petite dépression du sol, est un point qui correspond évidemment à une fracture de l'enveloppe solide du globe. Il est situé sur le calcaire à gryphées arquées dont on voit les bancs bien à jour le long du chemin qui conduit à Remilly. Quand on y arrive par la route de Han, on atteint les premières maisons du village sans voir autre chose que les assises les plus élevées du keuper, ni le grès infraliasique, ni les marnes rouges ne peuvent être aperçus, et cela est d'autant plus remarquable que la partie du calcaire à gryphées sur laquelle le village est construit, est bien loin d'être la partie inférieure; elle appartient bien plutôt aux bancs les plus élevés dans l'étage, car elle est recouverte, dans la direction de Luppy, par les marnes du calcaire à bélemnites. Tout le long du chemin de Bechy à Tragny, l'accident se continue; à l'est, on a les marnes irisées supérieures, qui sont assez développées dans cette localité, et à l'ouest le coteau de calcaire à bélemnites que nous avons décrit plus haut. A Tragny même, le calcaire à gryphées qui constitue le sol de la colline sur laquelle le village est assis, et qui est exploité à la fois sur son sommet et près du ruisseau de Delme,

vient butter contre les marnes à ovoïdes ferrugineux qui paraissent dans les fossés du chemin qui conduit à Luppy. Les deux étages sont séparés par un petit ravin qui remonte du côté de Bechy. Les environs de Thimonville présentent des accidents du même ordre : à l'ouest de ce village, on passe sans transition du calcaire à gryphées sur une partie assez élevée des marnes à ovoïdes, car, en marchant dans cette direction vers la côte de Delme, on ne tarde pas à atteindre le grès médioliasique. S'il est difficile de suivre les traces des failles dont toute cette contrée est sillonnée dans le puissant étage des marnes à ovoïdes, parce qu'il est souvent recouvert d'un dépôt diluvien peu épais, mais fort étendu, celles-ci reparaissent avec une grande évidence dans le voisinage de la route de Metz à Château-Salins. Près d'Achatel, le plateau de calcaire à gryphées arquées qui va en s'abaissant graduellement vers le sud, supporte un petit lambeau de calcaire à bélemnites qui est là dans une situation normale; mais à peine a-t-on cheminé de niveau sur une étendue de 500 ou 600 mètres, en marchant sur cet étage, que l'on se trouve en présence du calcaire à gryphées qui reparaît subitement : au contact des deux terrains qui a lieu le long d'un ravin descendant du côté de Saily, les assises du calcaire à bélemnites sont brisées et redressées; la même chose s'observe près de l'étang situé au-dessous de ce village. L'accident qui se produit ici avec tant d'évidence au pied même de la côte de Delme, se résume en un exhaussement subit de toute la partie du plateau de calcaire à gryphées situé au sud de la dépression dans laquelle se trouvent Saily et Achatel, et c'est par suite de cet exhaussement que les marnes rouges, le grès infraliasique, et même un petit lambeau de marnes irisées, paraissent dans la vallée qui

s'étend entre ce dernier village et Vulmont. Plus à l'est, tout le long du ruisseau de Delme, on observe des dérangements qui sont dans le même sens; il semble que la vallée dans laquelle il coule et la dépression d'Achatel, qui est sur son prolongement, correspondent à une grande faille dirigée à peu près du nord-est vers le sud-ouest.

Il est également difficile d'expliquer comment l'oolithe peut se trouver, au-dessus de Moncheux, à une distance d'un kilomètre à peine du Keuper supérieur qui est à jour dans la vallée de Vulmont, sans admettre l'existence d'un accident s'étendant dans le sens de la plus grande longueur de la côte de Delme et suivant à peu près la direction de la route de Château-Salins, qui passe au pied occidental de cette côte, depuis qu'elle a été rectifiée. On n'en suit pas facilement la trace, parce que les revers de celle-ci sont couverts d'éboulis; mais il est certain que le plateau de calcaire à gryphées arquées se prolonge, à l'est de Vulmont et de Foville, jusqu'à la naissance des pentes sur lesquelles on atteint bien vite l'étage oolithique inférieur en place. On ne saurait trouver, entre les niveaux auxquels ces étages se tiennent, et qui comprennent une différence de 40 mètres à peine, une place suffisante pour y intercaler le puissant dépôt des marnes à ovoïdes et celui du calcaire à bélemnites. Il y a donc vraisemblablement ici un accident latéral analogue à celui que nous avons signalé tout à l'heure entre Béchy et Tragny; l'orientation de la côte de Delme paraît en résulter.

La côte de Mécleuves constitue, au sud de Metz, un accident considérable dans le lias, assimilable, quant à ses effets, à ceux que nous venons de décrire, se manifestant toutefois avec plus de netteté qu'eux. Cette ville

Côte  
de Mécleuves.

est en partie construite sur les dernières assises du calcaire à gryphées arquées qui, lorsqu'on les suit sur la route de Strasbourg, ne tardent pas à être recouvertes par les marnes et le calcaire à bélemnites. Cet étage est ici très-développé, il commence à se montrer aux portes mêmes de Metz dans le coteau de Queleu, et de là il s'étend vers Mercy-le-Haut, Pouilly et Fleury, embrassant presque tout l'espace compris entre les rives de la Seille et Courcelles-sur-Nied, sur une largeur de plus de 12 kilomètres comptée de l'est à l'ouest. Le sol qu'il recouvre est un plateau très-légèrement ondulé, élevé en moyenne de 220 à 250 mètres au-dessus du niveau de la mer. Les carrières que l'on y a ouvertes, les tranchées que la construction du chemin de fer a nécessitées, rendent cette région très-précieuse pour l'étude des assises les plus élevées du calcaire à gryphées et de tout l'étage du calcaire à bélemnites. Les points où les premières se sont montrées avec le plus d'évidence, sont les champs situés à l'ouest du village de Magny, dans lesquels on a ouvert une large chambre d'emprunt pour la construction du remblai qui sert à franchir la vallée de la Seille. On a mis à jour, dans cette localité, les bancs qui appartiennent à la partie tout à fait supérieure du calcaire à gryphées arquées; ils sont peu épais et offrent cette particularité remarquable de contenir, indépendamment des gryphées et des pentacrinites qui y abondent, une bélemnite (*belemnites brevis* ou *acutus*). Cette particularité n'est point propre seulement au lias des environs de Magny; nous l'avons constatée dans toute l'étendue du département de la Moselle; elle se reproduit notamment dans des situations identiques, près de Peltre et d'Ars-Laqueux, deux localités qui se trouvent au contact du calcaire à gryphées et des marnes qui le recouvrent. Il

importe de faire remarquer à ce sujet que la présence d'une bélemnite dans les derniers bancs de calcaire justifie complètement la réunion qui a été faite, par tous les géologues lorrains, des divers étages de la formation liasique, tels que nous les avons définis au commencement de ce chapitre; elle tend à établir un passage entre le calcaire à gryphées et les marnes qui lui sont superposées.

Les marnes qui recouvrent immédiatement ce calcaire, se montrent sur de nombreux points aux abords de la route de Metz à Strasbourg et sur les rives de la Seille. On peut surtout les étudier le long de la voie de fer, entre Magny et Peltre, où elles ont été coupées sur une assez grande hauteur. Elles sont d'un bleu grisâtre et très-schisteuses; ce qu'elles offrent de plus remarquable est de contenir de nombreux fragments de gypse en lamelles cristallines, circonstance à laquelle elles doivent de se couvrir d'efflorescences blanches après la pluie. Elles renferment aussi de la pyrite de fer en rognons et de petits cœtites ocreux dont le centre est quelquefois manganésifère. Ces marnes ne sont pas très-riches en fossiles; on y trouve cependant des gryphées cymbium et quelques ammonites. Il n'est pas rare de rencontrer, dans leur partie inférieure, des septaria remplies de cavités, comme cela se voit près de la gare de Courcelles-sur-Nied. On a également trouvé des tiges ou des branches de bois carbonisé dans les marnes du coteau de Queleu.

Le calcaire à bélemnites joue, dans cet étage, un rôle beaucoup moins important que les marnes qu'il termine; il n'est jamais bien épais; dans la tranchée de Champel, où il a été coupé pour l'établissement de la voie de fer, il n'a pas plus de 1<sup>m</sup>.50 de puissance. Il y en a deux variétés: l'une, dont la teinte tire sur le

vert, se fait remarquer par les petites oolithes d'un brun jaunâtre qu'elle renferme; l'autre est d'un gris sale, à grains fins, à cassure lisse sur laquelle on observe de nombreuses dendrites. Elles contiennent l'une et l'autre de nombreuses veinules ou taches d'hydrate de peroxyde de fer qui paraissent provenir de la décomposition des pyrites; elles deviennent toutes les deux fétides par la percussion. Les fossiles sont beaucoup plus nombreux dans le calcaire que dans les marnes; les carrières qui ont été ouvertes temporairement dans les environs de Metz en ont fourni de fort bien conservés, parmi lesquels nous citerons les suivants: *Belemnites abbreviatus*, *Ammonites fimbriatus*, *Ammonites quibalianus*, *Ammonites planicosta*, *Ammonites margaritatus*, *Ammonites subarmatus*, *Lima punctata*, *Gryphæa cymbium*, *Terebratula numismalis*, *Terebratula cornata*, *Terebratula campas*. On y a également trouvé des trochus, des turbos, des pleurotomaires, des pholadomyes, des peignes, des spirifères et des pentacrinites.

Le calcaire à bélemnites couronne le plateau que traverse la route de Strasbourg à sa sortie de Metz; il forme notamment le sol des villages de Pouilly, Fleury, Mercy-le-Haut et Mécleuves. Au nord-est de cette localité, une colline isolée à base elliptique s'élève à la surface du plateau calcaire; sa base est constituée par le grès médioliasique dans lequel on trouve d'énormes nodules calcaires qui sont de véritables agrégats de fossiles divers, plicatules, avicules, térébratules, etc.; le sommet, élevé de 270 mètres au-dessus du niveau de la mer, montre déjà les marnes avec posidonies qui forment un des membres supérieurs de la formation liasique.

Quand on chemine sur la route de Strasbourg, on

se trouve tout à coup, à la hauteur de Mécleuves, en présence d'une ligne de coteaux qui s'élève d'une manière presque abrupte à 60 mètres au-dessus du plateau de calcaire à bélemnites; elle s'étend des deux côtés de la route à perte de vue, suivant une ligne remarquablement droite; c'est comme une muraille qui limite le plateau vers le sud. A ne consulter que les analogies, on serait tenté d'attribuer à cette côte, que nous appellerons à l'avenir côte de Mécleuves, du nom du village qui en occupe le pied, une composition identique à celle de la colline isolée que nous venons de décrire, et c'est en effet ce qui devrait avoir lieu dans une situation normale. Mais tel n'est point l'état des choses au sud de Mécleuves: la côte de ce nom présente sur toute sa hauteur les tranches des assises du calcaire à gryphées arquées avec leurs alternances marneuses habituelles. Parvenu au sommet, on se trouve à la surface d'un second plateau qui va en s'abaissant avec une pente douce vers la côte de Delme, et dont l'étude ne nous a guère offert que le lias inférieur.

La circonstance qu'aux pieds de la côte de Mécleuves le calcaire à bélemnites vient butter contre des assises du calcaire à gryphées qui appartiennent à la partie inférieure de cet étage, ne peut s'expliquer sans une faille suivant exactement cette direction. Il est du reste impossible de ne pas reconnaître que celle-ci est accusée de la manière la plus nette dans le relief du sol, car la côte présente des pentes tout à fait anormales pour le lias: elles sont telles, sur certains points, qu'il devient impossible d'y faire passer la charrue. Le sol de ces parties abruptes est envahi par des ronces et des épines, et le contraste que ces buissons offrent avec les cultures aussi riches que variées du calcaire à gry-

phées n'est pas le fait le moins caractéristique que présente l'accident de la côte de Mécleuves.

Cet accident n'a pas les mêmes proportions suivant toute la longueur de la côte. Sur la route de Strasbourg, on peut estimer à une centaine de mètres la différence qui sépare les assises analogues ; c'est la hauteur dont le plateau de Mécleuves a dû s'affaisser, ou celui de calcaire à gryphées s'élever, pour mettre la côte en relief. Cette différence est plus prononcée vers l'est ; on rencontre en effet de ce côté, dans la partie basse de la colline, sur un pâtis communal de Mécleuves, les marnes rouges qui donnent naissance à de petites sources, et même le grès infraliasique très-reconnaissable à ses caractères ; ces assises peu consistantes étant mises à jour sur des pentes très-fortes sont extrêmement ravinées : elles se trouvent en face et à peu près à la hauteur du bois situé au nord-est de Mécleuves, dans lequel on observe le grès médioliasique, de telle sorte que ces deux étages gréseux du lias, qui sont habituellement séparés par une épaisseur de terrain d'à peu près 150 mètres, se trouvent ici rapprochés. Dans la partie occidentale, au contraire, la saillie de la côte de Mécleuves est beaucoup moins prononcée, et le plateau de calcaire à gryphées arquées supporte, sur les bords de la Seille, un lambeau de calcaire à bélemnites qui n'est guère à plus de 50 ou 60 mètres au-dessus du niveau de cet étage dans la plaine de Fleury. Une circonstance tend encore à rendre l'accident moins sensible sur le chemin de Metz à Nomeny par Verny ; elle résulte de ce que la côte est flanquée d'un contre-fort de marnes brunes avec ovoïdes, supérieures au calcaire à bélemnites. Ces marnes forment une espèce de remblai à l'aide duquel la route peut s'élever plus facilement sur le plateau supérieur ; mais à l'ouest, au-

dessous du bois d'Avigy, le terrain reprend son relief accidenté, et la surface du sol occupé par le calcaire à gryphées, présente là un véritable précipice tout couvert d'éboulis de cette roche. Les différences que nous venons de signaler entre l'amplitude de l'accident, suivant les divers points de la côte que l'on considère, sont du reste accusées dans le relief du sol, car le plateau supérieur incline d'une manière sensible vers l'ouest : à l'est de Mécleuves il est à l'altitude de 286 mètres, tandis que, près de Pournoy-la-Grasse, il n'est plus qu'à 250 mètres environ au-dessus du niveau de la mer.

La faille de la côte de Mécleuves se prolonge, du côté de l'est, dans les coteaux qui dominent le petit hameau de Donangeville, où l'on voit le grès keupérien venir butter contre les assises du calcaire à gryphées arquées ; elle s'étend ensuite le long de la vallée de la Nied française. Vers l'ouest, de l'autre côté de la vallée de la Seille, on rencontre une grande plaine couverte de diluvium dans laquelle la faille de Mécleuves est peu distincte ; on remarque cependant que, dans les contre-forts qui regardent cette rivière, le calcaire à gryphées se relève tout à coup près de Silleguy, sur son prolongement. Le chemin de Metz à Cheminot qui, au passage du ravin des Creux, ne met à jour que le calcaire à bélemnites, coupe, dans le vallon voisin qui en est très rapproché, la formation du calcaire à gryphées. Plus à l'ouest encore, la faille de Mécleuves se révèle, dans les coteaux oolithiques des environs de Pont-à-Mousson où l'on observe des dérangements considérables. Nous verrons plus loin qu'elle se rattache, d'une manière manifeste, aux accidents que nous avons passés en revue au commencement de ce mémoire.

La partie du canton de Verny située au sud de cette Canton de Verny.

faille est presque entièrement occupée par la formation du calcaire à gryphées arquées. Celle-ci s'étend sous forme d'un plateau légèrement incliné vers le sud-ouest dont la Seille baigne les pieds entre Cheminot et Pournoy et qui est découpé par quelques petites vallées latérales. Ces vallées ne sont point dirigées au hasard; elles sont remarquablement rectilignes et dirigées suivant la faille de Mécleuves, circonstance qui est due à ce que le plateau est traversé par plusieurs accidents de détail qui lui sont parallèles. Si ces accidents sont trop peu profonds pour qu'ils puissent être accusés, dans la plupart des cas, par des différences dans les assises contiguës, à raison de la puissance que possède le terrain de calcaire à gryphées, on remarque qu'ils sont suffisamment bien indiqués dans le relief du sol, et il arrive presque toujours que les deux versants qui encaissent une même vallée, se trouvent à des niveaux différents. Du reste en se rapprochant des bords de la Seille, le plateau est recouvert, par places, de calcaire à bélemnites et on trouve quelquefois cet étage disposé aux pieds de coteaux qui sont couronnés par le calcaire à gryphées arquées. Cela se voit en particulier au-dessous de Louvigny. La disposition des vallées dans le canton de Verny se rattache aux accidents dont il vient d'être question par des rapports qu'il est à peine nécessaire d'indiquer, les failles ayant présenté partout, aux courants qui ont dénudé le sol, des sillons tout tracés.

Partie supérieure  
du lias  
entre la Seille  
et la Moselle.

De la rive droite de la Seille où il est très-développé, le calcaire à bélemnites passe sur la rive gauche; on en trouve quelques lambeaux épars sur le revers des collines déprimées qui forment de ce côté, les flancs de la vallée. Pour atteindre des couches plus élevées dans la formation liasique, il faut traverser une grande

plaine couverte de diluvium et s'avancer vers l'ouest jusqu'aux pieds de la ligne de coteaux qui s'étend dans la direction nord-sud entre Augny et la limite du département de la Moselle. Les premières assises non recouvertes se montrent au jour à la base de ces collines dans les exploitations de la tuilerie de Fey. Ce sont des marnes argilo-sableuses, bleuâtres et feuilletées qui renferment de nombreux ovoïdes ferrugineux. Ceux-ci se divisent généralement en plaques concentriques qui offrent diverses nuances de jaune et de brun et qui donnent à la roche, lorsqu'elle est cassée, un aspect rubanné; l'intérieur est souvent formé d'une pâte bleuâtre à grains très-fins qui ne paraît être autre chose qu'un carbonate de fer argileux, présentant la composition primitive de la roche. Il arrive aussi fréquemment que la décomposition du carbonate de fer s'est faite, dans le même ovoïde, autour de plusieurs centres; il offre dans ce cas une structure très-compiquée. Les vides dont les nodules ferrugineux sont criblés et qui présentent un réseau assez compliqué, affectant quelquefois des formes géométriques, sont presque toujours tapissées de cristaux ou de lamelles cristallines de minéraux qui diffèrent de la pâte du nodule. Les plus communs sont la chaux carbonatée et la baryte sulfatée; on y trouve aussi des substances métalliques, telles que la blende, la galène, la pyrite; le manganèse oxydé noir se montre aussi fréquemment tapissant les joints des œtites. Certains ovoïdes ocreux paraissent provenir de la décomposition de rognons de pyrite; on y rencontre des cristaux de sulfate de chaux, tant à l'intérieur que sur leur surface. Le gypse en lamelles cristallines n'est pas rare dans les marnes; peut-être faut-il attribuer sa présence à l'action de la pyrite décomposée sur le carbonate de chaux qu'elles renferment. Enfin on rencontre

aussi des fossiles dans les marnes de la tuilerie de Fey; ils sont quelquefois engagés dans les ovoïdes dont ils forment le centre; ils sont alors généralement brisés. Nous avons trouvé à Fey les espèces suivantes : *belemnites clavatus*, *ammonites margaritatus*, *ammonites normanianus*, des turbos, des pleurotomaires, des pholadomyes.

Les marnes à ovoïdes ferrugineux remontent jusqu'au quart environ de la hauteur des coteaux qui séparent la Seille de la Moselle. A cette hauteur, le grès médioliasique commence à paraître; il se montre ici avec un grand développement et c'est probablement le point du département où on peut le mieux l'étudier. Il est à grains fins, réunis par un ciment argileux, de couleur grisâtre, et peu consistant; il renferme quelques paillettes de mica. Certaines parties de ce grès se présentent en masses assez épaisses; mais il est plus commun de le voir extraordinairement fissile. Les fossiles y sont très-nombreux; ils se montrent surtout dans le haut de l'étage où il y a des bancs de calcaire bleuâtre ou grisâtre qui ne sont qu'un agrégat de diverses coquilles ou polypiers parmi lesquels les encrines, les térébratules, les bélemnites, les plicatules (*plicatula spinosa*) sont de beaucoup les plus abondants. Le *pecten æquivalvis* et la *gryphæa cymbium* ont laissé de larges empreintes à la surface de ces bancs. Le grès médioliasique forme le sol des villages de Fey, Vezon, Marieulles, Lorry et Mardigny; de nombreux puits y sont creusés qui alimentent d'eau ces localités au moins partiellement, car quelques-unes d'entre elles ont aussi de belles fontaines qui proviennent des sources de l'oolithe.

L'étage gréseux est recouvert par un autre étage beaucoup plus puissant qui est principalement composé de marnes argileuses ou argilo-sableuses grises ou bleuâtres

et qui est caractérisé par la présence des posidonies et des monotis. Cet étage renferme, comme tout le reste de la formation, de nombreux œtites; ils sont tantôt plats, tantôt de forme ovoïdale; dans ce dernier cas ils présentent fréquemment, dans le sens de la stratification, des stries ou des cannelures concentriques; il y en a d'extrêmement volumineux. Les œtites des marnes supérieures au grès médioliasique sont composés d'un calcaire bleuâtre à pâte fine et serrée; vers le haut ils deviennent sableux, comme les marnes qui les contiennent; on y trouve alors un peu de mica. Ils offrent, sous le rapport de la structure, des différences très-tranchées; quelques-uns sont remplis de coquilles qui paraissent en saillie à leur surface; d'autres sont divisés en parties de forme géométrique par des infiltrations de spath calcaire; dans le plus grand nombre enfin, la surface extérieure est lisse ou seulement recouverte de quelques empreintes de mollusques; ces derniers offrent beaucoup de résistance au choc; leur cassure est conchoïdale, légèrement esquilleuse. Indépendamment des posidonies et des monotis, les marnes supraliasiques contiennent de nombreux fossiles; ceux qui y sont les plus communes sont les bélemnites (*belemnites acuaris*, *belemnites irregularis*), des ammonites (*ammonites bifrons*<sup>1</sup>, *ammonites communis*, *ammonites Hollandræi*), des arches (*arca inæquivalvis*). Nous avons également trouvé dans un ovoïde, entre Fey et Vezon, un bel échantillon de bois silicifié.

Les marnes supérieures au grès médioliasique sont fréquemment gypseuses; après la pluie elles se recouvrent d'efflorescences blanches. Entre Corny et Voisage, le gypse s'y trouve en grandes lamelles cristallines qui rappellent tout à fait celles que l'on rencontre dans les assises subordonnées au calcaire à bélemnites.

Il arrive aussi fréquemment que, vers leur base, ces marnes sont noirâtres et renferment assez de bitume pour pouvoir brûler. On y trouve même une couche très-mince de lignite qui a été reconnue sur le ban de Corny; c'est à ce niveau qu'appartient le bois silicifié cité plus haut.

Nous avons eu l'occasion, en décrivant la côte de Delme, de signaler la présence d'une source ferrugineuse au contact du grès et des marnes à posidonies. Les sources de cette espèce sont tellement fréquentes à ce niveau qu'il en existe deux dans l'espace de peu d'étendue que le lias supérieur recouvre sur notre carte entre la Seille et la Moselle, l'une à l'entrée du village de Vezon du côté de Fey, et l'autre dans la vallée du Verchol à l'est de Corny.

Les marnes supraliasiques sont très-ébouleuses; elles ont une tendance très-prononcée à glisser qui s'accroît surtout lorsqu'elles sont imprégnées d'humidité. C'est à des accidents provoqués par cette propriété qu'il faut attribuer les surfaces en général extrêmement contournées et bosselées des coteaux dont elles constituent le sol. Sur le versant des côtes qui regardent la Moselle, un peu au nord de Voisage, on voit un arrachement assez étendu dans les marnes à posidonies qui n'est autre chose que le résultat du glissement de la base de la colline provoquée par l'ouverture d'une tranchée. L'équilibre de ces marnes est très-instable et il suffit le plus souvent du plus léger accident, d'une simple coupure pratiquée aux pieds de la côte, ou d'une pression opérée dans le haut par un remblai pour provoquer un glissement considérable qui s'étend de proche en proche jusqu'aux parties les plus élevées et qu'il est ensuite presque impossible d'arrêter. Le drainage est, dans le cas d'un semblable accident, la seule opération qui puisse

apporter quelque remède au mal; encore n'est-il trop souvent qu'un palliatif insuffisant.

Les trois assises qui terminent le lias, le grès supraliasique, l'hydroxide oolithique et les marnes micacées paraissent au-dessus des marnes à posidonies dans les coteaux qui s'étendent entre Corny et Mardigny. Elles y ont récemment été mises à jour par quelques travaux de recherches qui permettent de les étudier avec détail.

Le grès est très-peu consistant, à grains très-fins, micacé et argileux, de couleur grisâtre, taché de jaune; son épaisseur n'est pas connue; elle ne paraît pas être considérable. Il renferme une nappe d'eau peu abondante qui donne lieu à de petites sources; on en voit une semblable au-dessus de Lorry.

L'hydroxide oolithique qui repose sur l'assise précédente a une puissance qui varie de 2 mètres à 2<sup>m</sup>.50, qui se montre toutefois plus faible près de la surface. Il est composé de petits grains bruns et très-brillants d'hydroxide qui sont réunis par un ciment argileux d'un brun un peu jaunâtre; on remarque dans la masse quelques paillettes de mica qui deviennent plus abondantes vers le haut, à mesure que le ciment prédomine et que la roche passe aux marnes qui terminent l'étage.

Celles-ci se distinguent à peine par leur composition du grès supraliasique; elles sont sableuses, micacées, très-fissiles, de couleur grisâtre. Elles sont assez développées dans les coteaux qui séparent la Seille de la Moselle, car un puits creusé près du village d'Arry les a traversées sur une hauteur de six mètres, et sur le versant opposé, au-dessus de Marieulles; elles ont présenté, dans une recherche, une puissance de 10 mètres. Dans cette localité, elles renferment une couche peu épaisse de calcaire grisâtre, parsemée de petites ooli-

thes ferrugineuses brunes, qui est trop pauvre pour constituer un véritable minéral.

Les fossiles paraissent être assez rares dans les trois assises que nous venons de décrire; nous n'y avons rencontré que des bélemnites; mais il faut reconnaître qu'elles n'ont pas encore pu en fournir beaucoup, étant mises à jour depuis peu de temps seulement sur une faible étendue. Sur les points du département où elles sont reconnues, par les nombreux travaux de mines auxquels l'exploitation de l'assise intermédiaire donne lieu, on y rencontre de nombreux fossiles; les plus communs sont : des vertèbres d'ichtyosaure, des bélemnites (*belemnites tripartitus*, *belemnites irregularis*, *belemnites bruguierianus*), des ammonites (*ammonites opalinus*, *ammonites aalensis*, *ammonites insignis*), la *gryphaea cymbium*, des pholadomyes, des trigonies, des peignes, des arches.

Environs  
de Metz.

Les environs de Metz présentent des circonstances très-favorables pour l'étude de la partie inférieure de la formation liasique. D'une part, en effet, les nombreuses carrières qui sont ouvertes dans le voisinage de cette ville pour l'exploitation de la pierre avec laquelle on fabrique la chaux renommée qui lui emprunte son nom, mettent à jour l'étage du calcaire à gryphées sur une grande hauteur; et de l'autre, les routes qui se dirigent vers l'est, permettent d'étudier, dans plusieurs tranchées, les marnes rouges et le grès infraliasique. Les affleurements du lias inférieur sont toujours marqués de ce côté par une saillie très-prononcée à la surface du sol occupé par les marnes irisées. Parvenu au sommet de la côte que cette saillie détermine, on voit le calcaire à gryphées s'étendre vers l'ouest à une distance considérable sous forme d'un plateau légèrement décliné, à surface presque plane, et où les villages sont

très-pressés, car les terres qui reposent sur cette formation, sont d'une grande richesse et nourrissent une population nombreuse.

Le grès infraliasique est très-nettement coupé par les tranchées du chemin qui conduit de Pange à Mont; il se montre là avec un développement assez considérable. La partie inférieure repose directement sur les dolomies qui terminent le Keuper; elle est composée de bancs de 0<sup>m</sup>.50 à 1 mètre de puissance d'un grès grisâtre, à grains de quartz assez grossiers, renfermant quelques paillettes de mica et des empreintes de végétaux d'une conservation très-imparfaite. On remarque, au milieu de ces bancs, le poudingue à petits galets de quartz noir qui les accompagne presque constamment. Les marnes brunes sont peu développées à la base du grès; elles se réduisent à quelques minces filets qui forment la séparation des couches; elles prennent au contraire une prédominance marquée dans le haut de l'étage; elles renferment de petites assises d'un grès calcareux, jaunâtre, à grains très-fins que nous avons également rencontré à ce niveau dans d'autres localités. Le développement des marnes brunes à la partie supérieure du grès infraliasique est un fait qui a un caractère général; nous l'avons observé sur tous les points où ce grès paraît dans le département de la Moselle.

Des marnes rouges sont superposées à l'étage gréseux; elles se montrent le long du chemin de Pange sur une hauteur de 8 à 10 mètres; ce sont elles qui constituent le sommet de la colline de Mont, reconnaissable de très-loin à la saillie qu'elle forme au-dessus de la ligne de coteaux que déterminent les affleurements du lias inférieur. Cette saillie est probablement la conséquence du développement, dans le keuper supérieur, du gypse qui paraît là avec une puissance considé-

nable, comme nous l'avons fait remarquer en décrivant cette formation. Les marnes rouges sont très-argileuses; elles constituent une assise étanche qui retient passablement bien les eaux; aussi voit-on beaucoup de petites sources prendre naissance au contact des marnes et du calcaire à gryphées.

A la hauteur de Metz, le grès infraliasique acquiert un développement superficiel considérable; ses affleurements paraissent non-seulement au-dessous du calcaire à gryphées arquées, mais ils débordent encore vers l'est et couronnent de nombreux coteaux formés par les marnes keupériennes. Le sol sablonneux auquel il donne lieu est occupé par des bois dont les principaux sont les forêts de Varize, les bois de Hayes et de Charleville. Il y est exploité pour sable sur plusieurs points, notamment au-dessus de Courcelles-Chaussy, près de Charleville et des Étangs. Dans ces diverses localités, il conserve ses caractères, c'est toujours un dépôt formé d'assises assez mal réglées et peu agrégées, gréseuses, à grains grossiers; on y rencontre des couches qui contiennent de petits galets de quartz noir; des marnes brunes séparent les lits de grès; elles sont surtout développées à la partie supérieure de l'étage. Le grès infraliasique est gris ou d'un gris un peu jaunâtre; il est quelquefois ferrugineux et prend alors une teinte brune assez foncée; souvent aussi il offre des taches d'un brun noirâtre qui paraissent dues à de l'oxyde de manganèse. Au-dessus de Bellefontaine, il renferme une roche gréseuse, oolithique, qui rappelle l'oolithe de Vic, depuis longtemps déjà signalée dans cette formation. Dans une des carrières qui dominent le village de Courcelles-Chaussy, les marnes brunes qui séparent les assises minces de la partie supérieure de l'étage présentent une stratification ondulée très-remarquable.

Le grès est extrêmement pauvre en débris organisés fossiles; je n'y ai jamais rencontré de coquilles, mais seulement de rares fragments de plantes carbonisées qui ne paraissent pas susceptibles d'être déterminées. Il faut toutefois faire une exception pour le banc de poudingue, qui renferme fréquemment des dents et d'autres débris de poissons.

Le calcaire à gryphées qui repose directement sur les marnes rouges, forme, aux environs de Metz, un plateau d'une grande étendue qui a une inclinaison marquée vers le sud-ouest. Cet étage est de beaucoup le plus important de ceux qui constituent le lias inférieur; sa puissance peut être évaluée à 30 ou 40 mètres. Il présente, dans sa composition, un caractère de simplicité et d'uniformité remarquable. C'est un dépôt bien stratifié, offrant des alternances de bancs calcaires dont l'épaisseur, variable entre 10 et 50 centimètres, se rapproche le plus communément de 20 centimètres, et d'assises marneuses ou argileuses qui ont en général une puissance plus considérable. Le calcaire forme aussi assez souvent de simples rognons stratifiés au milieu de ces dernières. Il est compacte, un peu terreux, à cassure plane et unie, à grains fins, présentant cependant quelques parties miroitantes; sa couleur varie du gris bleuâtre au bleu foncé; cette dernière nuance appartient surtout aux variétés bitumineuses, la première aux couches légèrement sableuses que l'on trouve à la partie inférieure de l'étage. Les bancs du calcaire à gryphées sont traversés par des fissures verticales qui forment un réseau assez compliqué à leur surface et en facilitent l'exploitation. Sur les faces qui correspondent à ces fentes et au lit naturel de la pierre, le calcaire présente des teintes qui se rapprochent plus ou moins de la nuance ocreuse et qui passent d'une manière in-

sensible à la couleur primitive de la roche. Cette décoloration, due aux influences atmosphériques, est un des caractères les plus constants de la formation. Il est aussi très-fréquent de rencontrer à la surface des bancs calcaires une espèce de marne durcie qui fait corps avec eux et ne s'en détache que difficilement. Les marnes qui séparent les assises solides sont fortement argileuses, de couleur jaunâtre près de la surface, bleuâtre dans la profondeur; elles deviennent schisteuses et d'un bleu d'ardoise foncé dans la partie inférieure de la formation.

Le calcaire à gryphées renferme de nombreux fossiles; on les rencontre aussi bien dans les marnes que dans le calcaire; leur gisement le plus habituel est d'être appliqués à la surface des bancs de cette roche, à laquelle ils adhèrent fortement. Ceux que l'on y trouve le plus fréquemment sont des ammonites (*ammonites kridion*, *ammonites bisulcatus*, *ammonites lævigatus*), des nautilus (*nautilus truncatus*), des limes (*lima lid-sina*, *lima gigantea*), des peignes (*pecten textorius*), des térébratules (*terebratula varians*), des spirifères (*spirifer walcotii*), des pentacrinites (*pentacrinites tuberculatus*, *pentacrinites scalaris*, *pentacrinites subangularis*). Mais le fossile réellement caractéristique de cet étage, tant parce qu'il lui est propre qu'à raison de son abondance, est la gryphée arquée; le sol sur lequel le lias repose en est quelquefois pour ainsi dire pavé. On a aussi rencontré des débris d'ichtyosaure ainsi que du lignite dans les bancs du calcaire à gryphées des environs de Vallières. Une bélemnite (*belemnites acutus*) s'observe, à côté de la gryphée arquée, dans les deux ou trois assises minces qui terminent la formation vers le haut; ce fossile est éminemment caractéristique de ces assises; il détermine un véritable

niveau géologique, un horizon dans l'acception la mieux déterminée du mot; nous l'avons trouvé à cette place sur de nombreux points du territoire que notre carte embrasse, et en particulier à Ars-Laquenezzy, à Peltre, à Magny, dans la chambre d'emprunt ouverte pour construire le remblai de la vallée de la Seille, enfin au-dessus de Vallières. La présence d'une bélemnite dans les derniers bancs du calcaire à gryphées arquées est un fait qui a déjà été observé dans d'autres contrées où le lias se montre, et qui tend à rattacher les marnes supraliasiques au calcaire à gryphées, comme cela a été fait par tous les géologues qui ont étudié cette formation en Lorraine. La *terebratula varians* et les pentacrinites se montrent également avec plus d'abondance dans les couches supérieures de l'étage que dans les inférieures; la roche calcaire en est quelquefois criblée; elle prend alors une texture toute particulière. Parmi les minéraux métallifères, la pyrite est le seul que nous ayons rencontré dans le calcaire à gryphées.

Celui-ci est exploité sur de nombreux points des environs de Metz pour la fabrication de la chaux hydraulique, qui a, sous le nom de chaux de Metz, une très-grande réputation. Elle doit sa propriété à l'argile, qui entre pour 15 p. 100 environ dans la composition du calcaire. Les principales carrières sont à Vallières, à Landremont, à Avancy, à Pange, à Montoy et à Glatigny.

Le calcaire à gryphées arquées s'étend, à l'est de Metz, sous forme d'un grand plateau à surface presque plane, offrant une légère déclivité vers le sud-ouest. A une petite distance de cette ville, il est recouvert par le calcaire à bélemnites qui se montre dans les coteaux de Queleu et de Mercy-le-Haut, et qui de là se prolonge

vers le sud, entre la Seille et la Nied, jusqu'au pied de la côte de Mecleuves.

Faïlle  
du Haut-Chemin.

Le calcaire à gryphées présente, au nord-est de Metz, un accident du même ordre que celui auquel cette côte doit son relief. On voit s'étendre dans cette direction, entre le château de Grimont et Avancy, un chemin connu sous le nom du Haut-Chemin qui est attribué à la reine Brunehaut, et qui, classé dans la grande vicinalité, forme aujourd'hui la voie la plus directe pour se rendre de Metz à Bouzonville. Il est tracé à la surface du plateau de calcaire à gryphées suivant une ligne remarquablement droite. A une petite distance au nord-est du chemin, le plateau est terminé par un escarpement brusque qui montre les tranches des assises de cet étage, et au pied duquel sont bâtis les villages de Villers-l'Orme, Vany, Failly, Vremy et Avancy. Si, après avoir descendu dans ces villages, on remonte sur le revers des coteaux notablement déprimés qui leur font face, on rencontre des marnes à ovoïdes ferrugineux qui sont couronnées par les assises du calcaire à bélemnites reconnaissables à leur facies et aux fossiles qui les caractérisent. La séparation entre les deux étages du lias est extrêmement nette; outre que le plateau occupé par le calcaire à bélemnites s'élève beaucoup moins haut que celui qui constitue le calcaire à gryphées arquées, on voit s'étendre, entre les deux terrains, une dépression rectiligne assez profonde qui marque leur limite, et dont le fond est occupé par des prairies. Cette dépression n'a point les caractères habituels des vallées qui sillonnent le terrain liasique, on n'y rencontre point de cours d'eau, et ses flancs sont beaucoup plus abruptes que dans les cas ordinaires; celui qui est formé par le calcaire à gryphées et qui est planté de vignes, présente surtout des pentes tout à fait

anormales. Il est impossible de ne pas reconnaître ici tous les caractères d'une grande faille; ils sont aussi nettement accusés dans le relief et les accidents du sol que dans la disposition des couches. Près de Grimont, le plateau de calcaire à gryphées est couronné, vers l'altitude de 250 mètres, par un petit lambeau de marnes et de calcaire à bélemnites, étage qui plus au nord, dans la plaine de Charly, paraît à un niveau moins élevé de 50 ou 60 mètres. Mais c'est surtout à Vremy que les phénomènes qui ont accompagné l'ouverture de la faille ont laissé des traces évidentes de leur action. Dans cette localité, non-seulement le plateau formé par le calcaire à bélemnites est déprimé par rapport à celui que recouvre le calcaire à gryphées, mais on remarque encore que des lambeaux de la première roche sont appliqués, en fragments brisés et redressés, sur les tranches des couches de la seconde. La *fig. 7*, Pl. IX, représente la coupe relevée à Vremy; elle met en relief la disposition remarquable des couches que l'on y observe.

Comme nous avons déjà eu occasion de le faire voir à Mecleuves, la faille du Haut-Chemin n'est point égale sur toute sa longueur; c'est-à-dire que les assises correspondantes ne sont point déprimées d'une même quantité le long de la fracture.

C'est à Saint-Julien que l'accident a le plus d'amplitude. Un peu à l'est de la route qui conduit à ce village, les collines élevées et plantées de vignes au pied desquelles coule le ruisseau de Vallières, ne montrent que du lias inférieur. Le grès qui forme la base de ce terrain, paraît dans le fond et sur les berges du ruisseau; il est blanc, à grains assez fins, peu agrégé; il renferme beaucoup de mica et quelques traces charbonneuses qui appartiennent à des plantes indétermi-

nables. Il est associé, dans cette localité, à un pouddingue quartzifère à petites parties contenant de nombreux restes de poissons, et que nous avons déjà eu l'occasion de signaler plusieurs fois à ce niveau. Il est recouvert par les marnes rouges qui paraissent dans les talus d'un chemin creux qui se détache de la route au point de Saint-Julien et monte directement à Grimont. Au-dessus des marnes, on aperçoit le calcaire à gryphées; il forme les flancs assez roides de la vallée. Nous avons vu qu'il est activement exploité au nord de Vallières pour la fabrication de la chaux hydraulique; il se prolonge vers le nord jusqu'un peu au delà du Haut-Chemin, où il est brusquement interrompu par la faille.

En montant, au contraire, à Saint-Julien par la route de Kedange qui vient d'être rectifiée et qui présente par suite toutes les assises avec une grande netteté, on ne trouve que du lias moyen. Au bas de la côte, on exploite, pour une tuilerie, des marnes bleues qui se divisent en larges feuillets parallèles à la stratification. Les ovoïdes qu'elles renferment sont calcaires; ils sont très-rares ainsi que les fossiles. On y remarque cependant des bélemnites et quelques autres fossiles qui leur assignent un niveau géologique immédiatement supérieur au calcaire à bélemnites. On peut suivre, presque jusqu'aux premières maisons de Saint-Julien, ces marnes feuilletées qui, dans leur partie moyenne, renferment une assise de calcaire marnéux d'un bleu foncé.

Au-dessus d'elles paraissent les marnes à ovoïdes ferrugineux; ce sont les mêmes que nous avons déjà vues exploitées pour la tuilerie de Fey, et elles fournissent également des terres aux tuileries de Saint-Julien. Elles se montrent sur une grande hauteur jusque bien au-dessus du village. Les ovoïdes qu'elles contiennent et

très-grande quantité, ressemblent tout à fait à ceux de Fey, soit par leur structure, soit par les fossiles et les substances étrangères qu'ils renferment. Les marnes qui forment le sol de Saint-Julien, sont également très-gypseuses comme celles que l'on observe près de ce village. Elles contiennent de plus un banc de calcaire grisâtre, très-résistant, qui est criblé de bélemnites, et qui présente de nombreuses dendrites, dans quelque sens que l'on effectue la cassure; ce banc, qui n'est pas très-épais, ressemble beaucoup à certaines variétés du calcaire à bélemnites avec lesquelles il pourrait être confondu; il occupe la base de l'étage. Enfin, au sommet de la côte, la route est entaillée dans les assises du grès médioliasique qui repose ici, comme à Fey, sur les marnes à ovoïdes ferrugineux. Parvenu en ce point, on ne tarde pas, en suivant la route qui mène à Kedange, à descendre par une pente rapide sur le plateau de calcaire à bélemnites qui s'étend au nord de la faille du Haut-Chemin. Toutes ces assises étant à peu près horizontales, aussi bien que celles qui se montrent à l'est de la route, il en résulte qu'au pied de la côte, les marnes feuilletées qui reposent directement sur le calcaire à bélemnites, viennent butter contre le grès infraliasique et, en haut, le grès moyen contre un lambeau de calcaire qui se montre, comme nous l'avons vu, à la surface du plateau près du château de Grimont. L'amplitude de la faille a donc ici la hauteur exacte de la côte de Saint-Julien au-dessus du niveau de la Moselle, qui est d'environ 80 mètres.

Le côteau marneux de Saint-Julien est adossé au plateau de calcaire à gryphées qui s'étend entre Vallières et Grimont, de façon à interrompre la dépression qui le limite du côté du nord. Toutefois le raccordement ne se fait que suivant une très-petite étendue, et c'est pré-

cisement celle où le Haut-Chemin vient s'embrancher sur la route de Metz à Kedange. La dépression qui s'étend d'Avancy à Grimont, s'avance jusqu'au pied de ce passage étroit, et à une petite distance vers le sud, commence une vallée aux parois abruptes qui descend directement vers l'église et le pont de Saint-Julien, et qui n'est autre chose que la continuation de l'accident orographique signalé de l'autre côté de la route de Bouzonville.

A une petite distance de ce pont, dans une des galeries souterraines du fort Bellecroix, une source assez abondante prend naissance et déverse ses eaux dans le ruisseau de Saint-Julien. Cette source, qui est ferrugineuse et salée, a une température de  $11^{\circ},7$ , supérieure d'environ  $2^{\circ}$  à celle des autres sources des environs de Metz, et à la température moyenne de cette ville; son point d'émergence se trouve être très-vraisemblablement dans les marnes irisées inférieures auxquelles elle emprunte sa salure. Il est du reste facile de reconnaître qu'elle est en relation évidente avec la faille du Haut-Chemin et que ses eaux arrivent au jour par les fissures naturelles que celle-ci a déterminées; c'est une véritable fontaine artésienne provoquée par un grand accident géologique.

Quand on étudie avec soin les environs de Saint-Julien et de Vallières, on reconnaît bien vite que cet accident ne saurait être représenté uniquement par l'affaissement de toute la partie du terrain située au nord du Haut-Chemin; il est, en quelque sorte, complexe. Sans doute, c'est cet affaissement qui a joué le rôle principal dans l'accident; mais on voit aussi que la portion du plateau de calcaire à gryphées située au nord du ruisseau a été exhaussée par rapport à celle qui est placée au sud. S'il en était autrement, on de-

vrait trouver, sur la rive gauche de ce ruisseau, les marnes rouges et le grès infraliasique; ce qui n'a point lieu. Du reste, l'exhaussement de cette portion du terrain est assez nettement accusé dans le relief du sol, car, de la route de Boulay, par exemple, on la voit former un bourrelet très-prononcé en saillie et au-dessus de la surface du plateau sur laquelle la route chemine. Le ruisseau de Vallières qui limite, du côté du sud, la partie du plateau qui a été exhaussée, est sensiblement parallèle à la direction de la faille, qui est exactement E.  $30^{\circ} 1/2$  N.

Si, du sommet de la côte de Saint-Julien qui est un des jalons de cette faille, on jette les yeux sur le bassin de la Moselle qui se présente là sous un de ses plus magnifiques aspects, on remarque que cette rivière est très-sensiblement alignée jusqu'à Ars, suivant la direction que nous venons d'indiquer. Au-dessus de ce village, une échancrure assez prononcée dans l'horizon habituellement si uniforme du plateau jurassique, indique le passage, dans l'oolithe, de l'accident qui s'étend vers l'ouest bien au delà de la limite du département, et qui est surtout sensible dans les environs de Gorze. La ville de Metz, construite aux bords de la partie de la Moselle que l'on aperçoit de Saint-Julien et placée au premier plan du paysage que l'on embrasse de ce point, se trouve exactement située sur la trace de la faille du Haut-Chemin. Aussi n'est-on point surpris, en étudiant le sol sur lequel elle est bâtie, d'y retrouver les mêmes dérangements que dans la côte de Saint-Julien. En faisant, en effet, abstraction du diluvium qui couvre, comme nous le verrons bientôt, la plus grande partie de ce sol, on remarque que la partie culminante de la ville, le haut de Sainte-Croix, est constituée par le calcaire à gryphées en assises bien réglées

Situation  
topographique  
et géologique  
de Metz.

et presque horizontales, tandis que les marnes feuilletées occupent les pentes qui sont tournées du côté de la rivière. Le rapprochement des couches juxtaposées se fait suivant une ligne qui, partant de l'arsenal, se dirige sur la porte de la citadelle et traverse la partie de la ville où le sol est le plus ardu. C'est à cet accident géologique que Metz doit d'avoir un relief extrêmement tourmenté; quelques-unes de ses rues, notamment celles qui descendent des hauteurs de Sainte-Croix aux quais de la Moselle, ont des pentes tout à fait exceptionnelles pour le lias. L'ensemble de ce relief est exactement représenté par une colline abrupte, allongée suivant la direction E. 30° N. Cette colline aux revers escarpés, protégée par les deux rivières qui baignent ses pieds, a été une position fortifiée par la nature, longtemps avant que l'art s'en soit emparé pour en faire un des bouvelards de la France septentrionale.

Lias au nord  
de la faille  
du Haut-Chemin.

Au nord de la faille du Haut-Chemin, le lias couvre un plateau qui a une inclinaison très-marquée vers le sud-ouest, et la disposition des assises se trouve être en rapport avec cette inclinaison. On marche, en effet, sur des assises de plus en plus élevées à mesure qu'on s'avance dans cette direction. Le grès infraliasique paraît sur les flancs de la vallée de la Canner, à sa naissance près de Befey, et sur le revers du plateau qui regarde l'est. C'est dans cette dernière position qu'il est coupé, au-dessous de Gondreville, par la route directe de Bouzonville. Il est très-développé dans cette côte, et l'on peut en faire une étude complète le long des fossés de la route. Il est tantôt peu consistant, tantôt agglutiné par un ciment ferrugineux brun, dans tous les cas, composé de grains de quartz assez grossiers. On n'y trouve point de fossiles; seulement le poudingue à pe-

tits galets de quartz noir, qui est intercalé dans cet étage, renferme, comme cela est habituel, des dents et des écailles de poissons. Quelques assises contiennent beaucoup de paillettes de mica. Les bancs de grès sont assez épais, et séparés par de petits lits de marnes brunes ardoisées; on rencontre aussi, entre les lits, des assises minces de marnes bigarrées, qui paraissent provenir d'un remaniement de la formation inférieure; ces marnes existent aussi dans les couches gréseuses sous forme de nids. L'étage est couronné par un dépôt assez épais de marnes rouges, au-dessus duquel paraissent les premières couches du calcaire à gryphées arquées, d'abord sableuses et d'un gris bleuâtre, puis prenant une teinte bleue plus prononcée à mesure que l'on s'élève dans la côte.

De Gondreville, que l'on ne tarde pas à atteindre, le calcaire à gryphées s'étend vers Vigy, Bettlainville et Antilly. Il est exploité sur plusieurs points de ce plateau, notamment à Vry et à Mechy. Près de la ferme de Chelaincourt, les assises supérieures de cet étage sont pétries de petites encrines blanches et de pentacrinites qui donnent à la roche une texture lamellaire. Les marnes intercalées entre ces assises renferment de la pyrite en rognons.

Le calcaire à bélemnites est l'étage du lias qui occupe le plus d'étendue au nord de la faille du Haut-Chemin; il couvre presque entièrement le sol des communes de Flevy, Ennery, Rugy, Chailly, Argancy, Sanry, Charly et Chieulles. Il s'y montre avec sa composition habituelle, formée d'une assise assez puissante de marnes, laquelle est surmontée de quelques couches calcaires. Les marnes peuvent s'observer dans les petites vallées qui découpent le plateau; on les voit bien à la descente de Flevy à Chelaincourt et sur le chemin de Charly à

Antilly; elles sont criblées de petites lamelles de gypse, et renferment, en outre, des ovoïdes ferrugineux aplatis.

Les minces assises calcaires qui couronnent l'étage, sont exploitées au nord-est de Charly, sur les flancs de la vallée qui vient des bois d'Ennery; mais elles paraissent être là au-dessous de leur niveau réel, qui est le sommet du plateau. Elles sont composées d'un calcaire grisâtre, très-résistant, à cassure esquilleuse, présentant quelques facettes cristallines et des vides qui paraissent avoir été occupés par des fossiles. Nous avons aussi retrouvé, près du château de Buy, la variété de calcaire à oolithes brunes. Ces assises calcaires viennent, en plongeant vers le sud-est, former, près d'Ennery et d'Argancy, les coteaux déprimés et plats, au pied desquels coule la Moselle.

Mais un peu au sud de ce dernier village, à Olgy, les rives de cette rivière deviennent subitement accidentées par la superposition, sur le calcaire à bélemnites, d'un massif de marnes feuilletées, d'abord très-étroit, et qui va, en s'épatant vers le sud, se rattacher à celui sur lequel est bâti le village de Saint-Julien. Ces marnes sont surtout bien mises à jour auprès de Malroy, où elles forment un escarpement presque à pic d'une vingtaine de mètres de hauteur. Elles sont remarquables par l'absence presque complète d'ovoïdes; on y observe seulement quelques parties ferrugineuses mieux agglutinées que la masse qui est d'un gris bleuâtre et se divise en feuillets très-minces. Elles renferment quelques fossiles, pour la plupart transformés en sulfure de fer; nous citerons en particulier les espèces suivantes: *belemnites niger*, *belemnites abbreviatus*, *ammonites fimbriatus*, *ammonites margaritatus*, *cerithium armatum*, *arca elegans*, *mytilus scalprum*.

Dans l'étendue que notre carte embrasse, on peut estimer à 240 mètres l'épaisseur totale moyenne de la formation liasique. Ces 240 mètres se trouvent à peu près répartis de la manière suivante entre les divers étages :

Grès infraliasique et marnes rouges . . . . .	25 <sup>m</sup>
Calcaire à gryphées arquées. . . . .	40
Calcaire à bélemnites et marnes subordonnées. . . . .	30
Marnes à ovoïdes . . . . .	130
Grès supraliasique, hydroxyde oolithique et marnes micacées . . . . .	15
	240

Épaisseur  
de la formation  
liasique.

Toutefois nous devons ajouter que les chiffres que nous donnons ici, se rapportent aux divers étages de la formation liasique, lorsqu'ils ont leurs épaisseurs normales, et que, sur beaucoup de points, ils n'acquièrent pas un développement aussi considérable.

#### 4° Étage oolithique inférieur.

L'étage oolithique inférieur ne paraît, sur la carte géologique du pays Messin, qu'en deux points; il couronne les coteaux qui s'étendent entre la Moselle et la Seille, de Jouy-aux-Arches à Lorry-Mardigny, et il forme le sommet de la partie de la côte de Delme qui pénètre dans le département. Principalement composé d'assises calcaires très-résistantes et d'une désagrégation difficile, cet étage imprime, aux terrains dont il forme le sol, une physionomie qui leur est propre. Ceux-ci présentent habituellement des escarpements d'une grande roideur et très-pierreux, qui sont couverts tantôt de belles forêts, tantôt de pâturages dont la sécheresse et la maigreur contrastent avec la végétation des bois. Cet aspect un peu sauvage du sol occupé par l'oolithe est surtout propre à la partie inférieure de la formation lorsqu'elle se trouve en côte, et

Points occupés  
par l'oolithe  
inférieure.

c'est ainsi qu'elle paraît constamment dans l'étendue de notre carte. Le sommet de la côte de Delme, les hauteurs d'Arry, la côte de la Racque au-dessus de Marieulles, les pointes isolées de Sommy et de Saint-Blaise rappellent le facies habituel des coteaux de l'oolithe : ce sont des escarpements couverts d'un maigre gazon, d'une teinte grisâtre, qui s'élèvent, par des pentes brusques, au-dessus des cultures variées, des vignes et des vergers du terrain liasique. La séparation entre les deux étages se fait toujours d'une manière très-nette ; elle est accusée de fort loin par la différence des pentes et le contraste des cultures.

L'oolithe inférieure est le terrain qui atteint, dans l'espace que notre carte embrasse, les altitudes les plus élevées. La carte du dépôt de la guerre donne les cotes suivantes :

Au-dessus de Moncheux (partie de la côte Delme).	562 <sup>m</sup>
Entre Arry et Mardigny. . . . .	590
Hauteurs d'Arry. . . . .	595
Colline au-dessus de Voisage . . . . .	569
Sommet de la côte de la Racque, au-dessus de Marieulles. . . . .	569

Étage oolithique  
sur le flanc droit  
de la vallée  
de la Moselle.

Nous avons annoncé, au commencement de ce mémoire, que l'oolithe inférieure comprise dans l'étendue de notre carte n'allait pas au delà du calcaire saccharoïde qui est vulgairement connu en Lorraine sous le nom de calcaire à polypiers, et qui, à raison de sa constance, a pu servir de point de repère pour diviser cette formation en deux étages, l'un presque exclusivement calcaire, l'autre plus spécialement marneux. Nous ajouterons de suite, pour éviter toute équivoque, que le calcaire à polypiers dont il s'agit ici ne doit point être confondu avec celui qui a reçu plus anciennement le même nom dans le Calvados. Celui de la Moselle se

trouve immédiatement au-dessous d'une assise marno-sableuse criblée de fossiles, parmi lesquels l'*ostrea acuminata* se fait surtout remarquer par son abondance, et qui tient la place du *fullers-earth*, tandis que celui des bords de la Manche est intercalé dans la grande oolithe supérieure à cette assise. Cette explication préalable était nécessaire pour prévenir toute confusion.

Ceci posé, voici l'ordre dans lequel les assises qui composent le premier étage de l'oolithe inférieure, se succèdent dans les collines qui s'étendent sur la rive droite de la Moselle entre Jouy-aux-Arches et Arry.

Immédiatement au-dessus des marnes micacées qui terminent la série liasique, paraissent des assises minces d'un calcaire grenu d'un jaune brunâtre ; il est très-sableux et il alterne avec des marnes grises qui renferment aussi beaucoup de sable. Ce calcaire, auquel, à cause de sa couleur, on a donné le nom de calcaire ferrugineux, n'occupe pas ici une grande hauteur ; il est bien mis à jour sur le revers de la côte de Sommy qui regarde la Moselle, où il a été exploité. Dans quelques-unes des assises du calcaire ferrugineux on remarque de petites oolithes brunes qui sont analogues à celles qui entrent dans la composition de l'hydroxyde oolithique, mais qui sont toutefois moins riches et d'une nuance plus claire. Les couches à oolithes brunes sont assez développées près d'Arry et sur le versant opposé de la côte, au-dessus de Vezon et de Marieulles. Elles sont surmontées de bancs calcaires plus épais, dont le caractère principal est d'être grenus et même lamellaires, par suite de la grande quantité de débris d'entrouques ou d'autres fossiles qu'ils renferment. Il y en a qui sont grisâtres, d'autres bruns ; quelques-uns présentent à l'intérieur des taches bleuâtres ; ils sont tra-

versés par des veinules de couleur ocreuse, disposées concentriquement autour des taches. Ces bancs, qui ont jusqu'à 50 centimètres d'épaisseur, alternent, comme ceux sur lesquels ils reposent, avec des marnes sableuses, grisâtres. Ils sont exploités pour moellons sur le revers du mont Saint-Blaise, au-dessus de Sommy, de Marieulles et de Lorry; ils sont très-riches en fossiles. Nous citerons, parmi ceux que nous avons rencontrés dans les assises qui constituent la base de l'oolithe sur les collines de la rive droite de la Moselle, des bélemnites (*belemnites giganteus*), des nautilus (*nautilus obesus*), des ammonites (*ammonites humphresianus*, *ammonites sowerbyi*), des trigonies (*trigonia costata*), des pinnes (*pinna ampla*), des limes (*lima tenuistriata*), des serpules (*serpula socialis*). Les peignes (*pecten lens*, *pecten personatus*) et les gervilies (*gervilia aviculoïdes*) sont surtout abondants dans le gros banc de calcaire lamellaire à centre bleuâtre que l'on exploite au-dessous du châtel Saint-Blaise et à Marieulles. Ces bancs renferment également de la pyrite en petites amandes, radiées dans leur intérieur et couvertes de cristaux à leur surface. Une gryphée, la *gryphæa auriculata*, se trouve appliquée à la surface d'une assise placée un peu au-dessus de l'hydroxyde oolithique; on la retrouve au même niveau dans tous les coteaux jurassiques du département.

Le calcaire à polypiers qui succède aux assises du calcaire lamellaire, est en gros bancs massifs, assez mal stratifiés; on le trouve à l'état saccharoïde sur certains points, sur d'autres il est grenu, grisâtre, tout criblé de débris d'entrouques. Sous la première forme il n'est le plus souvent que le résultat de l'agglomération des madrépores, parmi lesquels dominent ceux du genre astrée. On y trouve en particulier les espèces suivantes:

*Isastræa Bernardana*, *Isastræa tenuistriata*, *Thamnastræa mettensis*, *Thamnastræa crenulata*, etc. Le calcaire à polypiers de la côte d'Arry renferme aussi beaucoup d'autres fossiles, parmi lesquels nous citerons des nérinées (*Nerinea triplicata*), des limes, des plagiostomes, des peignes, des trigonies (*Trigonia costata*), des térébratules (*Terebratula abovata*, *Terebratula perovalis*), des serpules, des pinnes, des cidarites.

Sur cette côte, la première division de l'étage oolithique inférieur est terminée par de gros bancs de calcaire oolithique qui sont fréquemment associés au calcaire à polypiers. Ils contiennent encore beaucoup d'entrouques; des lamelles de spath calcaire translucides sont disséminées dans la pâte de la roche, qui est de couleur grisâtre; celle-ci renferme beaucoup de grosses mélanies. Ces bancs, qui sont assez bien réglés, sont exploités pour pierres de taille sur plusieurs points du département.

Il est impossible de décrire l'oolithe des côtes qui s'étendent entre Arry et Lorry, sans faire mention de la rencontre qui y a été faite dernièrement de minerais de fer en grains analogues à ceux qui sont exploités sur de nombreux points du département de la Moselle. La formation de ces minerais est, sans contredit, indépendante de celle du terrain jurassique; elle paraît devoir être rapportée à l'existence de sources minérales qui ont pris naissance, à l'époque du dépôt du terrain tertiaire moyen, au fond de grandes anfractuosités préalablement ouvertes dans les assises du calcaire oolithique. Toutefois nous avons cru devoir placer ici une description sommaire de ces gîtes, afin de ne rien omettre de ce qui concerne la géologie du pays Messin.

Les minerais de la côte d'Arry sont fortement manganésifères; on les rencontre en petits grains arrondis

et qui paraissent avoir été roulés, au milieu d'argiles sableuses d'un brun rougeâtre ou agglutinés par un calcaire grenu, brun, qui ne saurait être confondu avec ceux de l'oolithe; ils sont eux-mêmes de couleur brune ou d'un brun noirâtre. Ils sont associés à de petits galets de quartz blanc laiteux, et cette circonstance, jointe à leur état roulé, prouve qu'ils ont été remaniés à une époque postérieure à leur dépôt, comme cela est du reste arrivé pour beaucoup de gîtes de cette espèce. On ne peut encore connaître d'une manière exacte leur gisement, car jusqu'ici ils n'ont pas été exploités; toutefois on reconnaît facilement qu'ils remplissent des cavités étroites et allongées dans le calcaire oolithique. C'est dans une semblable position qu'aux environs de Nancy, sur le plateau de Malzéville et dans le bois de Lay-Saint-Christophe, on rencontre des dépôts de minerais de fer en grains qui ont la plus grande analogie de composition avec ceux d'Arry et de Lorry; ils s'y rattachent probablement par ceux dont l'existence a été reconnue au-dessus de Custines. Le propre des minerais de toute cette région est d'être très-manganésifères; beaucoup de grains sont exclusivement composés de peroxyde de manganèse terreux et tachant les doigts.

Les gisements ferrifères des hauteurs d'Arry occupent, comme tous ceux de même nature dans la Moselle, le rebord du plateau oolithique. Les cavités dans lesquelles ils sont déposés, paraissent être orientées; nous avons trouvé, pour l'une d'elles, située entre Arry et Marieulles, la direction E. 50° N., qui est la plus fréquente pour ces sortes de gîtes, ainsi que nous l'avons établi dans notre mémoire sur les mines et les minières de fer de la Moselle (1).

(1) *Annales des mines.*

Nous avons annoncé que l'étage oolithique inférieur paraissait aussi sur la partie de la côte de Delme qui pénètre dans le département près de Moncheux; il ne recouvre là qu'une étendue de terrain presque insignifiante. Sa composition ne diffère pas du reste sensiblement de celle que nous venons de décrire: elle comprend des calcaires lamellaires très-riches en débris d'entrouques, et qui passent, vers la base, à des grès par l'intrusion d'une grande quantité de sable. Ces calcaires sont jaunâtres ou grisâtres; ils alternent avec des marnes sableuses et ils sont couronnés par un calcaire saccharoïde qui se présente en rognons plutôt qu'en couches suivies, forme sous laquelle apparaît d'habitude le calcaire à polypiers.

Dans l'étendue que notre carte embrasse, le premier étage de l'oolithe inférieure est peu développé; il atteint au plus une puissance de 50 mètres; c'est à peu près la moitié de l'épaisseur qu'il possède sur d'autres points du département. Partout où il paraît, il donne naissance à des sources abondantes, car les calcaires qui le composent sont extrêmement fissurés et fendillés. Les eaux qui s'y infiltrent, sont arrêtées à la partie tout à fait supérieure d'ulias par la couche de marnes micacées qui recouvre l'hydroxyde oolithique, de telle sorte que le contact des deux formations est constamment marqué par un niveau de belles sources. Les villages de Moncheux, Arry et Lorry sont alimentés par des fontaines qui appartiennent à ce niveau.

##### 5° *Diluvium et alluvions modernes.*

Le pays Messin étant traversé par plusieurs grands cours d'eau, le diluvium et les alluvions y occupent une place assez importante. Toutefois, par leur nature même et par la manière dont elles sont disposées, ces

Côte de Delme.

Epaisseur  
de  
l'étage oolithique  
inférieur.

Importance  
de ces formations  
dans l'étendue  
du pays Messin.

formations n'ont aucun rapport avec l'objet de ce mémoire; c'est pourquoi nous comptons ne nous en occuper que très-secondairement et pour compléter, en quelque sorte, la description géologique de la contrée que notre carte embrasse. Nous décrivons séparément le diluvium des bords des Niefs, celui qui couvre un espace considérable au sud de Metz, entre la Moselle et la Seille et les alluvions de ces divers cours d'eau.

Diluvium  
sur les  
bords des Niefs.

Le caractère le plus constant du diluvium qui recouvre la formation des marnes irisées ou celle du lias sur les bords des Niefs, est de se présenter sous la forme d'un limon argilo-sableux, jaune, jaspé de blanc, renfermant quelques galets épars et roulés de quartz ou de quartzite. C'est ainsi qu'il paraît dans la vaste forêt de Remilly, sur la rive gauche de la Nied française, entre Han et Courcelles, et, plus au nord, entre Guinkirchen et Gomelange. Il est souvent fort épais; il donne alors lieu à des sols très-froids, d'une culture très-difficile, et qui sont, pour la plupart, encore boisés. On trouve quelquefois, au-dessous du limon, du sable ou même un gravier assez grossier formé aux dépens des roches dures du voisinage; cela a lieu en particulier près de Gomelange et d'Aube. Dans les environs de Thimonville et de Courcelles-sur-Nied, le limon jaune renferme de gros grains de minerai de fer à surfaces émoussées, présentant dans leur intérieur une structure lamellaire, et empatant des grains arrondis de dimensions plus petites. La présence de minerais de cette espèce dans le limon diluvien est assez commune; elle est surtout fréquente dans le voisinage des marnes à ovoïdes; seulement les minerais y sont disséminés en trop petite quantité pour pouvoir être exploités. Nous avons souvent remarqué, en parcourant les bords des Niefs, que le diluvium n'est pas réparti indifféremment sur les ver-

sants des coteaux entre lesquels coule cette rivière; on le trouve plus fréquemment couvrant les revers des collines opposés à ceux qui contiennent les affleurements, et où les pentes sont en général plus douces. Cela est surtout très-sensible dans la vaste forêt de Remilly.

Le point où l'on peut le mieux observer le diluvium, dans le pays Messin, est sans contredit la vaste plaine qui s'étend au sud de Metz, entre la Seille et la Moselle, et dont la partie la plus rapprochée de cette ville porte le nom caractéristique de Sablon. Cette plaine est remarquablement unie et plate; son altitude est d'environ 200 mètres. Son sol est, pour la plus grande partie, composé d'un gravier dont les éléments sont assez volumineux et offrent divers degrés d'usure; ils sont empruntés tant aux formations du voisinage qu'aux roches qui constituent le noyau central des Vosges. Toutefois le gravier est recouvert, sur de nombreux points et principalement vers le sud, par un limon argilo-sableux jaunâtre, jaspé de blanc, qui ne diffère point de celui dont nous avons signalé la présence sur les rives des Niefs. La disposition par suite de laquelle ces deux natures de terrain sont placées en recouvrement l'une au-dessus de l'autre, est très-constante. On observe aussi une certaine symétrie dans le dépôt du gravier; ainsi on le trouve fréquemment disposé par bandes offrant divers degrés de trituration. Cela se voit bien dans les environs de Purnoy-la-Chétivé, où il y a quelques petites carrières; les tranchées du chemin de fer et les nombreuses sablonnières ouvertes dans le voisinage de Metz ont également mis ce fait en évidence. Le gravier diluvien de la plaine du Sablon se prolonge, vers le nord, sur une partie du territoire de cette ville. Dans les environs de Coin-les-Cuvry, on le trouve agglutiné par un ciment calcaire qui est identique à celui qui

Diluvium  
entre la Seille  
et la Moselle.

empâtée les minerais en grains des côtes d'Arry et de Lorry.

Le diluvium étendu au sud de Metz recouvre la partie moyenne du lias, qui est composée d'assises marneuses étanches; il forme, au-dessus de ces assises, un vaste remblai dont l'épaisseur moyenne peut être évaluée de 10 à 15 mètres, et qui est terminé de toutes parts par une petite terrasse. Les eaux circulant librement dans ce remblai, et étant arrêtées par les marnes du terrain liasique, il en résulte qu'il y a, au contact des deux terrains, une nappe aquifère se faisant jour sur toute la périphérie, et donnant lieu à un grand nombre de sources. Quelques-unes sont fort importantes par leur volume; telles sont celles qui alimentent en partie la ville de Metz et l'usine dite la Papeterie, près de Marly. Ces sources renferment deux sels de potasse, le silicate et le chlorure.

Le dépôt diluvien de la plaine du Sablon, aussi bien que celui des bords des Niefs, sont assez riches en débris organisés fossiles. On a trouvé à Louvigny des ossements et une tête de rhinocéros, à Gomelange une dent du même animal; on rencontre assez fréquemment des dents et des défenses d'éléphants dans les sablonnières exploitées près de Metz.

Nous rapportons, aux phénomènes diluviens, et nous avons coloriés comme tels sur notre carte, les glissements si remarquables des assises de l'oolithe qui ont été observés par M. Victor Simon sur les côtes qui dominent la Moselle entre Jouy-aux-Arches et Corny et dont il a donné une description dans le sixième bulletin de la Société d'histoire naturelle du département de la Moselle. Sur les versants de Sommy et de Châtel Saint-Blaise qui regardent cette rivière, on observe une longue traînée à peu près rectiligne formée par des

couches de l'oolithe inférieure qui se trouvent beaucoup au-dessous de leur niveau primitif; elles sont relevées sous un angle considérable et recouvertes d'un sable diluvien qui assigne, aux phénomènes par suite desquels ces couches ont été déplacées, leur véritable origine. Sur la côte de Fayé qui domine Corny, ces phénomènes ont exercé une action plus puissante encore; les bancs calcaires de l'oolithe s'y montrent déprimés en masse; ils ne forment des assises suivies sur aucun point de la côte; ils sont brisés et fracturés dans tous les sens. Tous ces dérangements ont été vraisemblablement produits par une cause identique à celle qui agit encore aujourd'hui et qui se manifeste toutes les fois que l'on opère des coupures ou des tranchées dans la base marneuse des coteaux oolithiques. Il arrive alors que des glissements s'effectuent, lesquels se propagent de proche en proche et atteignent jusqu'aux sommets de ces coteaux. C'est à des actions de cette espèce, ayant eu une intensité considérable, que nous rapportons les dérangements des côtes de Fayé et de Sommy.

Les alluvions sont en rapport avec la constitution géologique de la vallée du cours d'eau auquel elles appartiennent; leur composition est en conséquence très-variable. Celles de la Seille et des Niefs sont exclusivement formées de roches d'origine neptunienne empruntées à toutes les formations que ces rivières traversent; elles sont recouvertes d'un limon argileux qui s'accroît lors des crues. Seules, les alluvions de la Moselle ont quelque étendue sur notre carte; elles sont principalement composées de roches dures, arrondies par le frottement et qui sont empruntées à la partie centrale des Vosges. Au sud de Metz, elles occupent environ un kilomètre de largeur sur la rive droite de cette rivière.

Alluvions  
modernes.

## III. — CONCLUSIONS.

Lorraine  
et Pays Messin.

Les études auxquelles nous nous sommes livré sur la géologie du pays Messin et dont nous venons de rendre compte, ont eu surtout pour but de mettre en évidence les accidents qui sont particuliers à cette contrée. Ayant, par des raisons de convenance, borné notre travail au département de la Moselle, nous n'avons pu embrasser sur notre carte qu'une partie de ces accidents. Il importe cependant de les envisager dans leur ensemble, afin de motiver nos conclusions d'une manière plus rigoureuse.

Dans leur remarquable travail descriptif, les auteurs de la carte géologique de la France se sont attachés, avec beaucoup de soin, à définir les grands traits qui caractérisent la Lorraine, comme contrée géologique distincte. « L'expression de Lorraine, disent-ils, sera toujours commode pour désigner la contrée peu élevée et faiblement ondulée qui s'étend entre les bases des plateaux oolithiques et le pied des Vosges. Le sol de cette région est formé par une série de couches qui s'enfoncent au-dessous de celles dont se composent les plateaux oolithiques et qui s'appuient sur la base des Vosges; de là la position intermédiaire qu'elles occupent sur la surface du sol. Les plus élevées de ces couches qui constituent à l'est et au-dessous des grands plateaux une série de plateaux plus bas ou les couronnements de quelques proéminences, appartiennent encore à la base du système jurassique désignée sous le nom de lias. Celles qui suivent en descendant, viennent se montrer plus bas ou plus à l'est. On y distingue trois formations; le grès bigarré, le muschelkalk et les marnes irisées, composant, par leur réunion, la grande formation du trias. Elles sont

» remarquables par la constance de leur composition  
 » et par celle des rapports mutuels qu'elles offrent entre  
 » elles en Lorraine, de même qu'en Alsace et en Allemagne. C'est, pour ainsi dire, une portion du sol germanique qui fait incursion au milieu de nos départements. Au milieu des ondulations variées, et d'une apparence généralement irrégulière, que présente le terrain, le profil, l'inclinaison et la position étagée de ces grandes assises se prononcent cependant à l'horizon, lorsqu'on l'observe d'un point élevé et dans une position convenable..... Les affleurements de ces grandes assises traversent la Lorraine du nord au sud.»

Nous ne saurions rien ajouter à ces lignes dans lesquelles la configuration et la stratigraphie de la région étendue au pied occidental des Vosges, se trouvent esquissées d'une manière si complète. Nous devons seulement faire remarquer que la loi générale énoncée plus haut ne s'applique pas, d'une manière absolue, à la partie de cette région qui se trouve sur le prolongement du bassin houiller de la Sarre. Déjà nous avons eu occasion, au commencement de ce mémoire, de montrer que, dans la contrée voisine du bassin, les affleurements du lias se trouvaient orientés dans le sens des principaux accidents qui ont donné, au terrain houiller de Sarrebruck, sa configuration et son relief. C'est là, on se le rappelle, le caractère le plus saillant de toute la région comprise entre Deux-Ponts, Sarreguemines et Saint-Avold et de celle qui s'étend plus au nord de Sarrelouis à Boulay. Le lias présente, dans la bande qui fait suite au bassin de la Sarre, les mêmes allures. Si l'on jette en effet les yeux sur une carte générale, telle que la carte géologique de la France, on voit les affleurements de ce terrain former, au sud de Metz, deux appendices

qui se détachent du massif principal et qui figurent deux baies allongées assez exactement dans la direction N. E. S. O. L'une de ces baies s'avance, au milieu des marnes irisées, jusque dans les environs de Puttelange, l'autre jusqu'au delà de Dieuze; à la première appartient le lambeau de calcaire à gryphées arquées qui s'étend sur notre carte, entre Chemery et Landroff. Un peu au sud de cette dernière localité, près de Morhange, on voit le keuper s'élever, tout près du plateau de calcaire à gryphées, dans des collines dont le sommet vient araser ce plateau. Il semble qu'après le dépôt de la première formation, il s'y soit produit des dépressions allongées qui ont permis à la mer liasique de s'avancer vers l'est beaucoup au delà de la ligne naturelle de son rivage. Quelle que soit du reste l'explication que l'on adopte, toujours est-il que le parallélisme entre la direction de ces dépressions et celle des accidents du bassin houiller est un fait bien établi et très-remarquable. Il est à peine nécessaire de faire observer que les rivages de la mer dans laquelle s'est déposé le premier étage de l'oolithe ont reproduit, quoique d'une manière un peu moins marquée, les sinuosités de celle du lias. La côte de Delme n'est en effet que la partie la plus saillante d'un promontoire oolithique qui pénètre au milieu du terrain liasique, à la faveur d'accidents analogues et comparables à ceux que nous indiquons tout à l'heure dans les marnes irisées.

A n'envisager les choses que d'une façon générale (et les détails confirmeront bientôt pleinement cette manière de voir), il est donc hors de doute qu'il existe, sur le prolongement du bassin de la Sarre, une région qui offre, sous le rapport géologique, des différences tranchées avec le reste de la Lorraine. Ces différences tiennent bien plus, on l'a vu, à la stratigraphie qu'à la

composition, car celle-ci ne subit que des variations insignifiantes d'un point à un autre dans toute la région étendue au pied occidental des Vosges. Toutefois, par cela même qu'elles tiennent à la stratigraphie, qui joue un rôle si important dans le relief et la configuration du sol, elles sont destinées à être davantage remarquées, et il est impossible de parcourir la contrée qui fait suite au bassin de la Sarre du côté de l'ouest, sans être, à chaque instant, frappé de la tendance qu'ont les accidents du sol à se rapprocher de la direction N.-E.-S.-O. Toute cette contrée présente une suite de ridements souvent fort étendus dans cette direction, et c'est pourquoi les routes qui la traversent, en allant du nord vers le sud, comme celle de Saint-Avold à Dieuze, de Faulquemont à Morhange, de Metz à Château-Salvin ou à Nomeny, offrent une suite continue de montées et de descentes.

Metz, placée sur la Moselle au confluent de la Seille, qui, vers sa source, coule dans une dépression produite par une de ces rides, et à une petite distance des Niefs, qui en reproduisent si fidèlement la direction dans diverses parties de leurs cours, forme le centre naturel de cette région située au nord de la Lorraine, mais qui en est déjà distincte, et où tous les accidents géologiques et orographiques se rapprochent de l'orientation N.-E.-S.-O. Aussi est-ce avec une intention bien marquée que, dans le titre que portent ces études, nous l'avons désignée sous le nom de pays Messin, qui a, comme on le voit, sa signification, tout aussi bien que le nom de Lorraine à la sienne, en tant qu'elle s'applique à la région plus méridionale, où les ridements se rapprochent de la direction N. 21° E., qui est celle de soulèvement de la chaîne des Vosges. La différence entre les deux contrées, sous le rapport des al-

lures des terrains qui s'y sont déposés, est d'une netteté remarquable; elle se produit non-seulement dans l'ensemble de la disposition des grandes masses minérales, mais encore dans les détails de leur structure. C'est ce que nous allons montrer, en résumant ce que nous avons dit dans le cours de ce travail, et en faisant voir les relations qui rattachent les terrains des environs de Metz aux dislocations principales du bassin de la Sarre.

Les accidents  
du pays Messin  
sont orientés  
comme  
ceux du bassin  
de la Sarre.

Nous avons établi, au commencement de ce mémoire, que le bassin de la Sarre était traversé, sur la rive droite de cette rivière, par une série de grands accidents qui s'étendaient, pour la plupart, suivant toute sa longueur, et qui se rapprochaient de l'orientation E. 35° N., qui est celle de l'axe de soulèvement du terrain. La faille qui sépare, au midi, la partie de ce terrain qui a été redressée de celle qui est restée à peu près horizontale, la dépression à travers laquelle passe la route de Paris à Mayence entre Sarrebruck et le pied du Mont-Tonnerre, les groupes porphyriques dans le nord, à la base des croupes boisées du Hundsrück, constituent les principaux de ces accidents. Il y en a beaucoup d'autres d'une moindre étendue qui sont formés par les dykes de mélaphyre. Bien que, sur la rive gauche de la Sarre, le terrain houiller ne conserve pas l'allure si simple qu'il a sur la rive droite de cette rivière, il est cependant probable que les accidents dont il vient d'être question se poursuivent de ce côté. A l'égard de quelques-uns d'entre eux, on peut même remarquer qu'il y a plus que des conjectures. Ainsi, pour la faille terminale du bassin, du côté sud par exemple, les recherches de la plaine de Creutzwald ont appris qu'elle se prolongeait dans toute la partie méridionale de cette plaine; elle y est assez bien reconnue pour

qu'il soit facile de la tracer, au moins dans une partie de son parcours.

Il est extrêmement remarquable de voir, dans toute l'étendue du pays Messin, les formations plus modernes dont ce pays est recouvert, sillonnées par des failles qui sont orientées comme les accidents dont il vient d'être question. A une petite distance au nord de Metz, nous en avons signalé une qui traverse le sol de cette ville et qui s'étend même fort loin vers l'ouest dans les coteaux oolithiques de la rive gauche de la Moselle. Cette faille, que nous avons désignée sous le nom de faille du Haut-Chemin de celui du lieu où elle est le mieux accusée, se dirige, entre Metz et Avancy, vers l'E. 50° 1/2 N. En s'avancant vers l'est, à partir de cette dernière localité, elle s'efface d'une manière insensible à la surface du plateau de calcaire à gryphées arquées; mais on en retrouve des traces évidentes dans les coteaux keupériens situés entre Rurange et Piblange, et elle vient, près de là, rejoindre la vallée de la Nied dans les environs de Bouzouville.

La côte de Meclèves constitue, comme on l'a vu, à 11 kilomètres au sud de Metz, un accident du même ordre et tout aussi prononcé que celui du Haut-Chemin; l'arête qui la termine est exactement dirigée E. 24° 1/2 N. Du côté de l'est, la faille de Meclèves s'avance vers Domangeville, où on voit le grès médio-keupérien venir butter contre le calcaire à gryphées arquées; elle s'étend tout le long de la vallée de la Nied française jusqu'à Courcelles-Chaussy, et elle vient aboutir à Vaudoncourt à l'extrémité de notre carte, en suivant une dépression profonde qui sépare les marnes irisées du muschelkalk.

Plus au sud encore, nous avons signalé un accident partant de Sailly, village placé sur la limite du départ-

tement de la Meurthe, et s'étendant, au pied de la côte de Delme, le long du ruisseau de ce nom; il est orienté à peu près, comme la faille de Mecleuves, suivant la ligne E. 24° N. Il est difficile de le suivre au nord de la Nied française au milieu des marnes irisées; mais il semble, d'après sa direction, devoir aboutir à Faulquemont, et suivre ensuite, à partir de là, la dépression qui, sur les bords de la Nied allemande, marque la limite du keuper et du calcaire conchylien.

Entre ces trois grands accidents qui sillonnent tout le pays messin, il en existe un grand nombre d'autres qui sont moins profonds, moins étendus, mais qui sont alignés comme eux. Nous en avons signalé plusieurs dans le canton de Verny.

Comment  
ils s'y rattachent.

En prolongeant ces accidents du côté de l'est plus que ne permettent de le faire les limites de notre carte, on n'est pas peu surpris de voir qu'ils viennent se raccorder et en quelque sorte se souder avec ceux du bassin de la Sarre; de telle sorte qu'ils leur sont non-seulement parallèles, mais qu'ils en forment encore la continuation.

La faille du Haut-Chemin, que nous avons suivie jusque dans les environs de Bouzouville, se relève un peu vers le nord à partir de là; elle descend la vallée de la Nied, tout le long de laquelle nous avons signalé des dérangements considérables, dans nos études géologiques sur le bassin de la Sarre. Elle passe à travers la colline de Siersberg, si nettement divisée en deux compartiments de composition différente, et dont nous avons donné la coupe dans les planches qui sont jointes à ces études. De l'autre côté de la Sarre, elle vient se rattacher, d'une manière manifeste, à l'affaissement qui a permis au grès vosgien et au grès bigarré de s'avancer, sous forme de golfe, dans la plaine de Wa-

dern, et qui paraît avoir été la conséquence du surgissement des mélaphyres du Dagsthul, dont le dyke est aligné suivant la ligne E. 55° N.

Nous avons quitté à Varize, sur la Nied allemande, la faille de la côte de Mecleuves. Elle suit à partir de là, en se rapprochant du nord, la ligne de contact du muschelkalk et des marnes irisées, et vient aboutir à Teterchen au sud de Boulay, où l'on peut voir ce dernier terrain adossé au grès bigarré. Plus loin, elle rencontre la base de l'escarpement triasique entre Dalheim et Berus, dont nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer l'alignement parallèle au soulèvement du bassin, et plus loin encore, la plaine de Sarrelouis, où le grès vosgien se montre fréquemment au pied de collines élevées formées par le terrain houiller. Les mélaphyres des environs de Saint-Wendel se trouvent sur le prolongement de la ligne qui réunit tous ces accidents; les éruptions de ces roches paraissent avoir été la cause première à laquelle il faut les rapporter.

L'accident qui longe le pied septentrional de la côte de Delme, et qui de là s'étend vers Faulquemont, n'est autre chose que le prolongement vers l'ouest de la ligne de contact du muschelkalk et des marnes irisées dans la région située au sud-ouest du bassin. On sait comment ces deux formations sont disposées dans la région dont il s'agit: le Keuper s'appuie sur le revers des plateaux formés par le calcaire conchylien, suivant une ligne à peu près parallèle à l'escarpement qui termine ce plateau du côté du nord. Or, comme cet escarpement se relie, par la vallée du Scheidterbach, à la dépression signalée entre Hombourg et Kaiserslautern, l'accident qui nous occupe se rattache, d'une manière indirecte, à celui qui a produit cette dépression.

Comment  
on les explique.

On ne manquera pas de remarquer que les accidents qui sillonnent le bassin de la Sarre, sont tous antérieurs au dépôt de la plus grande partie des formations qui lui sont superposées. Nous avons, en effet, établi dans notre mémoire sur le terrain houiller de Sarrebruck, que ce terrain avait été soulevé par les porphyres quartzifères, immédiatement après son dépôt. C'est de cette époque que date la dislocation qui a séparé le bassin en deux parties, l'une qui a été soulevée et redressée le long d'une ligne s'étendant entre Sarrebruck et le Mont-Tonnerre; l'autre qui est restée à un niveau plus bas, que le grès vosgien a ensuite recouvert, et dont nous ne connaissons ni l'étendue, ni les limites. Cette dislocation a été de beaucoup l'accident le plus considérable qui ait affecté la contrée comprise entre le Rhin et la Moselle; aussi a-t-elle imprimé sa direction aux dérangements qui ont suivi, notamment à ceux par lesquels les roches mélaphyriques sont venues un jour et qui paraissent être contemporains du dépôt du grès rouge. Au résumé toutes les dislocations du bassin, résultats de l'apparition des porphyres quartzifères ou des mélaphyres ne paraissent pas descendre, dans l'ordre des temps, au delà de la formation de ce dernier terrain; elles sont certainement antérieures à celle du grès bigarré.

La circonstance que non-seulement ce grès, mais encore des formations plus modernes, telles que le muschelchak, les marnes irisées, le lias et l'oolithe, se montrent dérangées sur de nombreux points du pays Messin, dans le prolongement des lignes que les accidents du bassin déterminent, ne peut s'expliquer sans admettre que les parties de l'écorce terrestre qu'ils ont fracturées, se sont ouvertes de nouveau, longtemps après avoir été désunies, et qu'il en est résulté de nom-

breux affaissements dans les terrains superposés. Déjà, dans nos études sur le bassin de la Sarre, nous avons été conduit à montrer que telle était vraisemblablement la cause des dérangements que l'on remarque le long de l'escarpement triasique qui s'étend entre Forbach et Saint-Avold. Comme ces dérangements sont très-nombreux dans l'étendue du pays Messin que notre carte embrasse, et qu'ils se rattachent par des liens évidents aux dislocations du bassin, on ne saurait guère douter qu'ils n'aient en réalité l'origine que nous leur assignons.

La manière dont nous expliquons l'espèce de réaction que les fractures de l'écorce terrestre ont exercée sur des terrains qui n'étaient pas encore déposés à l'époque où elles se sont produites, peut être appuyée par quelques motifs puissants. Il est difficile, en effet, de concevoir une dislocation aussi profonde et aussi étendue que la faille qui termine la partie apparente du bassin de la Sarre du côté du sud, par exemple, sans admettre qu'elle a dû plusieurs fois s'ouvrir sous l'influence des commotions des premiers âges, alors que l'enveloppe solide du globe était loin d'avoir l'épaisseur qu'elle possède aujourd'hui. On serait presque tenté de comparer une pareille dislocation à une cicatrice imparfaitement fermée, dont les bords, en se séparant, déchirent l'appareil qui la recouvre. Quoi qu'il en soit, le fait de la réaction exercée par des failles sur des dépôts postérieurs à leur apparition me paraît être établie, dans le pays Messin, avec une évidence irrécusable; on en trouve à chaque pas des exemples qui ne peuvent laisser aucune place au doute.

Quand on étudie de près l'influence que les dislocations originaires du bassin ont exercée sur les dérangements que l'on remarque dans les formations plus mo-

Les accidents  
n'ont point  
été simultanés.

dernes, on reconnaît bien vite qu'elle s'est fait sentir à différentes reprises. L'escarpement qui existe entre Forbach et Saint-Avoid, sur le prolongement de la dépression de Hombourg, paraît être le fait du soulèvement des Vosges; au moins le grès vosgien et le trias y présentent-ils, mais suivant une ligne orientée E. 50° N., les accidents qui ont depuis longtemps déjà été remarqués au pied de cette chaîne. Une seconde action doit avoir suivi de près le dépôt du trias, et avoir déterminé, dans les marnes irisées, ces sillons que l'on remarque près de Puttelange et de Dieuze, et dans lesquels la mer liasique a pénétré sous forme de golfes allongés vers le nord-est. Ce qui rend, du reste, très-probable l'ouverture des dislocations du bassin ou de dérangements parallèles à cette époque géologique, c'est que l'on observe entre Saint-Avoid et Sierck un ridement aligné dans la direction du Thuringerwald, comme nous l'avons fait voir dans notre mémoire sur le bassin de la Sarre. Enfin il faut bien admettre que ces dislocations se sont ouvertes à une époque plus récente, puisque le lias et même l'oolithe gardent, dans leur prolongement, des traces de bouleversements nombreux. Il est difficile, sinon impossible, d'indiquer la date de cette dernière action. Si l'on n'avait égard qu'au relief accidenté et parfaitement conservé des failles des environs de Metz, on serait tenté de lui assigner une origine peu reculée.

Dans le cours de ce travail, nous avons déjà plusieurs fois eu l'occasion de faire remarquer que l'amplitude de ces failles est très-variable suivant les points sur lesquels on la mesure, ou autrement que les assises correspondantes ont été dénivelées de quantités fort inégales le long de l'accident. Des exemples de ces inégalités se présentent à chaque pas dans le pays messin; ils se révèlent généralement par des différences

Leur amplitude  
est  
très-variable.

correspondantes dans le relief du sol. Ainsi la faille du Haut-Chemin est certainement plus profonde et plus nettement accusée dans le voisinage de Metz qu'elle ne l'est du côté d'Avancy où, en s'avancant un peu à l'est, on finit par la perdre à la surface du plateau de calcaire à gryphées arquées. Celle de la côte de Meclèves est plus considérable dans les environs du village de ce nom que sur les bords de la Seille, et la côte qui a une inclinaison marquée vers cette rivière, ne s'y présente plus, en effet, avec un relief aussi accidenté que dans la première localité. Toutefois, quand on examine de près les variations que subissent les amplitudes de ces accidents, on reconnaît qu'il y a entre elles un certain ordre, et que les parties de l'écorce terrestre une fois séparées, l'une d'elles ne s'est point affaissée, comme si elle était composée de segments divisés latéralement par des sutures, et complètement indépendants l'un de l'autre. En général, des portions plus ou moins étendues de terrain se sont effondrées en tournant autour d'une charnière qui est restée fixe. Cette dernière correspond aux points où le dérangement est nul et la faille indistincte; il y en a d'autres où elle atteint son maximum d'amplitude; entre les deux, l'écartement des assises correspondantes reste proportionnel à la distance qui sépare, de la charnière, le point où l'observateur est placé. Dans tous les cas, l'écartement n'est jamais qu'une fraction très-faible de cette distance.

La conséquence que nous avons voulu faire ressortir, en insistant sur la disposition habituelle des failles dans le pays Messin, est que cette disposition ne peut se comprendre sans des accidents latéraux. Si l'on considère, en effet, deux portions de terrain ayant joué, chacune séparément, autour d'une charnière restée fixe, il arrivera que, quelque faible que soit l'écartement au point

Accidents  
latéraux  
qui en résultent.

où elles se rencontrent, les assises correspondantes ne pourront se raccorder; c'est la conséquence nécessaire de ce qu'elles auront dû conserver chacune leur longueur. De là des accidents qui se produiront habituellement là où la faille atteindra son maximum d'amplitude, et qui s'étendront latéralement à une distance plus ou moins considérable de la ligne qu'elle détermine. En parcourant le pays Messin, nous avons souvent observé de semblables accidents latéraux aux grandes failles qui le traversent. On en rencontre à chaque pas autour de la côte de Delme et au sud-ouest de Boulay; mais l'un des plus nets est celui qui se détache près de Pange de la faille de Mecleuves, et qui remonte le long de la petite vallée de Maizery. En général, ces accidents sont perpendiculaires aux failles dont ils ne sont que des ramifications, et c'est pourquoi l'on retrouve si fréquemment aux environs de Metz, dans le relief du sol où la direction des vallées, une orientation qui se rapproche du N. 30° O. La côte de Delme, les Niefs dans diverses parties de leur cours, beaucoup d'autres vallées secondaires la reproduisent; elle forme, au résumé, un des traits caractéristiques de la contrée que notre carte embrasse, bien qu'elle s'applique à une série d'accidents moins étendus et moins profonds que les grandes failles que nous avons dû d'abord étudier.

Au milieu de ces failles qui sillonnent le pays Messin, dans une direction voisine du nord-est au sud-ouest, le lambeau triangulaire de muschelkalk, compris sur notre carte entre les deux Niefs, présente une disposition bien remarquable et sur laquelle nous croyons devoir insister. C'est certainement une anomalie de rencontrer cette formation dans le voisinage immédiat du calcaire à gryphées et à 15 kilomètres à peine de Metz, lors-

Disposition remarquable du muschelkalk entre Vaudoncourt et Raville.

qu'un peu au sud de cette ville il en faudrait faire 80, en marchant dans la direction de l'est, pour l'atteindre. Elle résulte, comme on l'a vu, de ce que la bande formée par le trias, qui est orientée dans la partie méridionale de la Lorraine suivant la direction du soulèvement des Vosges, s'infléchit brusquement, à partir de Deux-Ponts, en prenant une direction parallèle aux accidents du bassin de la Sarre. Le lambeau de muschelkalk compris entre Vaudoncourt, Raville et Vaucremont représente l'extrémité la plus occidentale de cette bande, car on la voit s'infléchir de nouveau près de cette dernière localité, pour reprendre une direction qui est en rapport avec les accidents de la partie septentrionale du bassin.

En résumant, dans la première partie de ce travail, la géologie de la contrée étendue sur le versant méridional du Hundsrück, nous nous sommes attaché à montrer les relations qui existent entre la configuration générale du bassin de la Sarre et la disposition des terrains qui lui sont superposés du côté de l'ouest. Ces relations sont surtout évidentes pour la formation du trias. Ainsi, en ne prenant que l'un des membres de cette formation, celui qui, à raison de sa puissance et de sa composition, donne lieu aux accidents orographiques les plus considérables et les mieux accusés, le muschelkalk, on voit de suite que les plateaux formés par ce terrain reproduisent très-fidèlement l'allure du terrain houiller sur la rive gauche de la Sarre, que nous avons comparée à un dos d'âne ou à une selle dont l'arête serait dirigée du nord-est vers le sud-ouest. Les plateaux dont il est question plongent, en effet, les uns vers le sud-est, les autres vers le nord-ouest, et ils viennent se rencontrer suivant une ligne de faite exactement située au-dessus de l'arête du bassin.

Il est d'un grand intérêt, pour l'objet qui nous occupe, de voir cette disposition se maintenir dans la pointe la plus occidentale du plateau de muschelkalk comprise entre les deux Niefs, et qui est figurée sur notre carte. Sans vouloir reproduire ici les détails que nous avons donnés en décrivant ce lambeau de terrain, il convient cependant de rappeler que les assises y sont ployées en forme de voûte, et que c'est à la faveur de cette allure que les marnes de l'étage inférieur paraissent sur le flanc gauche de la Nied allemande, entre Vaudoncourt et Raville. La structure de ce petit lambeau de terrain reproduit, en quelque sorte, en miniature, l'ensemble de la disposition des assises du muschelkalk dans la bande qui entoure, du côté de l'ouest, le bassin de la Sarre; elle est très-nettement accusée par le relief du sol qui présente deux pentes opposées, dirigées, l'une vers le sud-est, l'autre vers le nord-ouest.

Elle se retrouve  
dans  
les formations  
plus modernes.

En poursuivant cette étude comparative dans les formations plus modernes, on voit que les marnes irisées, disposées sur les culées de la voûte dont il vient d'être question, y forment deux bourrelets qui sont orientés dans le sens des accidents du bassin. L'un de ces bourrelets, celui qui forme la côte du ban Saint-Pierre, est surtout remarquable, parce qu'il se prolonge suivant une ligne droite dirigée E. 51° N. sur une longueur de 5 à 6 kilomètres.

Enfin, il n'échappera à aucun observateur que c'est près de Pontoy, en face de Vauremont, que le plateau de calcaire à gryphées arquées qui domine la vallée de la Nied française, atteint sa plus grande hauteur. Il semble qu'il soit légèrement convexe dans le sens de l'arête de la voûte formée par les assises du muschelkalk, et que le calcaire à bélemnites ait été rejeté de part et d'autre sur ses flancs. C'est également sur le

prolongement des accidents du trias que nous venons de résumer que l'on remarque, dans le plateau, ces vallées rectilignes que nous avons fait connaître, en décrivant le canton de Verny. Elles sont à peu près parallèles, et elles tendent toutes à se rapprocher de la direction E. 30° N.

La disposition du trias et du terrain liasique dans l'étendue du pays Messin est donc remarquablement conforme à ce que l'on sait de l'allure du terrain houiller sur la rive gauche de la Sarre, soit qu'on envisage cette disposition dans son ensemble, soit qu'on l'étudie dans ses détails. Cette conformité d'allure, les relations qui existent entre les accidents qui traversent cette région et ceux qui sillonnent le bassin de la Sarre, la circonstance qu'ils y sont beaucoup plus nombreux que cela n'est habituel aux pays de plaine et qu'ils ne se rencontrent que sur le prolongement du bassin ou dans le voisinage de ce prolongement, qu'ils disparaissent enfin complètement dans la partie méridionale de la Lorraine, nous paraissent être autant de preuves irrécusables de l'existence du terrain houiller de la Sarre jusqu'à la limite extrême de la contrée que notre carte embrasse, c'est-à-dire jusqu'à la Moselle. En parcourant cette contrée, en étudiant avec détail les terrains qui le recouvrent, et dont la composition bien connue est très-propre à décèler le moindre accident géologique, nous avons été, à chaque instant, frappé des rapports qui existent entre sa stratigraphie et celle du bassin sur la rive gauche de la Sarre, aujourd'hui bien reconnue non-seulement dans ses limites apparentes, mais encore dans la plaine de Creutzwald. Ces rapports sont tels que les formations dont le pays Messin est composé semblent reproduire la structure intérieure du terrain houiller, tout comme un corps mou con-

Preuves  
de l'existence  
du terrain  
houiller  
entre la Nied  
et la Moselle.

serve, à sa surface extérieure, l'empreinte de l'objet sur lequel on l'a appliqué. Nous avons expliqué plus haut comment les terrains superposés au terrain houiller ont pu se mouler en quelque sorte à sa superficie; c'est la conséquence de la réouverture des accidents de ce dernier à différentes reprises et des mouvements qui en sont résultés chaque fois dans la partie superficielle de l'écorce terrestre.

A ces preuves de l'existence du terrain houiller, au-dessous de la partie centrale du département de la Moselle, qui nous paraissent être concluantes, nous ajouterons une considération qui vient à l'appui de notre opinion et qui mérite d'être très-sérieusement pesée; elle est tirée de l'épaisseur de ce terrain. Cette épaisseur est énorme: d'après le relevé que l'on a fait des couches entre Sarrebruck et le Hundsrück, on ne peut l'estimer à moins de 6.000 ou de 7.000 mètres. Or quelque étendue que soit déjà la partie apparente du bassin de la Sarre, il nous paraît assez naturel d'admettre qu'elle n'est point en rapport avec la puissance d'un pareil dépôt. A cet égard, du reste, on n'est plus réduit à de simples conjectures, car l'on sait que des recherches entreprises dans le grès des Vosges, au-dessus de la faille terminale du bassin, ont rencontré le terrain houiller sous une épaisseur d'environ 200 mètres de ce grès. Il est donc établi aujourd'hui qu'il s'est étendu originairement vers le sud bien au delà de l'accident qui le limite de ce côté, et si les recherches ont malheureusement montré qu'il était là sans valeur industrielle, elles n'en ont pas moins mis en lumière un fait scientifique important. Il n'échappera à personne que les recherches de la plaine de Creutzwald ont également prouvé l'extension vers l'ouest des limites du bassin dans lequel le terrain de la Sarre s'est déposé. Nous

croyons qu'elles vont de ce côté bien au delà des points où s'arrêtent les travaux actuels les plus avancés, et nous donnons pour preuve de cette manière de voir, la disposition des formations qui recouvrent le terrain houiller dans toute l'étendue du pays messin.

Il importe, avant d'aller plus loin, de rechercher la profondeur probable à laquelle on pourrait atteindre le terrain houiller, en se plaçant dans les conditions les plus avantageuses, afin de savoir si cette profondeur est assez peu considérable pour laisser, aux recherches à entreprendre, quelques chances de réussite. Cette question est fort complexe; elle dépend de beaucoup d'éléments, et l'un de ces éléments échappe malheureusement à toute espèce d'approximation. Néanmoins nous allons tâcher d'en donner une solution, autant au moins qu'on peut le faire en l'état où elle se présente. Si l'on n'avait à traverser que des terrains d'une composition connue, offrant, par la nature variée de leurs assises, des points de repère bien déterminés, tels que les marnes irisées, le muschelkalk ou même le grès bigarré, le problème serait bien simplifié; on pourrait assigner d'avance, pour un point donné, au moins d'une manière approximative, l'épaisseur de chacune de ces formations que la sonde aurait à traverser. Il n'en est plus de même pour le grès vosgien qui, dans sa composition uniforme, n'offre aucun point de reconnaissance, et dont la puissance est, par cela même, extrêmement difficile à évaluer. A l'encontre de ce qui se passe pour le muschelkalk et pour les autres membres du trias, ce grès possède une épaisseur variable dans des limites fort étendues. Il est très-développé dans la partie centrale de la chaîne des Vosges, où il possède une puissance de plus de 500 mètres, tandis qu'un approfondissement de 250 et même de 200 mètres suffit à le traverser en en-

Profondeur probable à laquelle on atteindra le terrain houiller.

tier dans la plaine de Creutzwald, et rien n'indique que vers l'ouest il ne s'amincit pas encore d'une manière considérable; il y a pour cela beaucoup de probabilité. Il ne faut point, du reste, perdre de vue que le grès vosgien n'a fait que combler la surface assez accidentée du terrain houiller, de telle sorte qu'il peut se réduire à peu de chose sur les parties de cette surface qui se trouvent en saillie. Dans le premier sondage de la plaine de Creutzwald, on n'a rencontré que 114 mètres de ce terrain, et 172 mètres au forage de Porcelette, situé à 6 kilomètres à l'ouest du premier; mais il est juste d'ajouter que, ni dans l'une ni dans l'autre de ces recherches, on n'a traversé la formation entière. Nous croyons qu'en tenant compte des résultats obtenus dans cette plaine, et de l'espoir qui nous paraît assez fondé de voir le grès vosgien diminuer d'épaisseur vers l'ouest; on peut estimer de 100 à 150 mètres la hauteur de ce terrain, qu'un forage entrepris dans le voisinage des Niefs aurait à recouper avant d'atteindre la formation houillère. D'un autre côté, nous avons évalué, dans le cours de ce mémoire, la puissance du grès bigarré dans la Moselle à 50 mètres; celle du muschelkalk peut être estimée à 150 mètres pour le point dont il s'agit. Le grès rouge ne doit point, suivant nous, être compté, car il est très-vraisemblable qu'on n'aurait pas à traverser ce dépôt toujours circonscrit, et, en quelque sorte, localisé. Il en résulte que l'on devrait s'attendre à recouper de 500 à 550 mètres de terrain, en parlant des assises les plus élevées du calcaire conchylien, avant d'arriver sur le dépôt houiller. On pourrait dès lors concevoir l'espoir d'atteindre, avant 500 mètres, des couches de combustible exploitables, car l'allure du terrain houiller sur la rive gauche de la Sarre et dans la plaine de Creutzwald est très-favorable à la réussite

de recherches poussées vers l'ouest, comme l'a suffisamment prouvé le sondage du moulin de Porcelette. Cette profondeur de 500 mètres, toute grande qu'elle est, ne nous paraît pas l'être trop pour que des recherches puissent être encore tentées avec quelques chances de succès, surtout si l'on considère que les chiffres qui ont servi à la former, ont été plutôt exagérés qu'amoindris, et qu'à l'égard de l'un d'eux, celui qui représente l'épaisseur du grès des Vosges, on peut concevoir le légitime espoir d'obtenir une réduction notable, par suite de l'amoindrissement du grès vers l'ouest. Nous montrerons, du reste, tout à l'heure, que le chiffre de 500 mètres n'a rien de bien absolu, parce qu'on peut profiter de la disposition accidentée des assises pour placer les orifices des forages de recherches beaucoup au-dessous de la partie supérieure du muschelkalk.

On a foré, dans ces derniers temps, entre Remilly et Woimhaut, un sondage qui, parvenu à une profondeur assez considérable, allait fournir d'utiles indications sur un élément très-important pour la réussite des recherches, à savoir: l'épaisseur du grès vosgien sur les bords de la Nied française, lorsqu'il a dû être suspendu par suite du décès de la personne qui le dirigeait. Originellement entrepris dans le but de mettre à jour des gisements de sel gemme dont il y a des indices aux environs de Remilly, comme nous l'avons montré en décrivant le Keuper de cette localité, il avait depuis longtemps déjà dépassé le point où on avait eu chance de le rencontrer. On n'en avait pas moins continué les travaux, contrairement aux conseils des ingénieurs, et on les avait poussés tellement loin que ce forage allait devenir d'un grand intérêt, mais pour un autre but que celui que l'on poursuivait. Nous n'avons jamais pu connaître d'une manière exacte la coupe de

Sondage  
de Remilly.

cette recherche qui était enveloppée d'un certain mystère. Cependant, à la fin du mois d'août 1856, nous avons pu obtenir quelques renseignements. Le forage était alors parvenu à 362 mètres de profondeur, et il était entré dans des assises formées d'un grès à grains de quartz très-grossiers, renfermant des galets de quartz et de quartzite que la cuiller ramenait brisés, et de la pyrite de fer en petites lamelles cristallines. Ce grès devait être rangé dans le grès des Vosges, bien qu'il n'en présentât pas le facies le plus ordinaire, surtout pour la portion supérieure de la formation dans laquelle on était obligé de le ranger, les terrains forés auparavant étant gréseux, à petits grains, très-micacés, bigarrés, de gris et d'amarante, et représentant incontestablement les couches inférieures du grès bigarré. Nous serions disposé, d'après ce que nous connaissons du forage de Remilly, à assigner les épaisseurs suivantes aux terrains qu'il a traversés :

Marnes irisées inférieures. . . . .	120 <sup>m</sup>
Muschelkalk. . . . .	180
Grès bigarré. . . . .	60
Grès vosgien. . . . .	2
	362

Il est très-remarquable que la faible épaisseur de ce dernier terrain qui a été traversée, reproduit plutôt le facies de la partie inférieure de la formation que celui de la partie supérieure. Les galets quartzeux en effet, et le sable à gros grains, sont en général propres à la base du terrain; la pyrite est également dans ce cas; dans tous les forages de la plaine de Creutzwald on ne l'a rencontrée qu'à la partie tout à fait inférieure de la formation. N'est-on point en droit d'en inférer que le grès vosgien est bien loin d'avoir, sur les bords des Niefs, la puissance qu'il possède plus à l'est.

Ce que nous avons dit plus haut de la disposition du trias entre les deux Niefs, fait voir que le sondage de Remilly, disposé sur les culées de l'espèce de voûte qu'elles forment dans cette région, n'était pas favorablement placé pour les recherches. En effet, en parlant des marnes irisées, on court, sans aucun avantage, le risque de traverser une plus grande épaisseur de terrains stériles, et cet inconvénient est encore accru par la circonstance que, les assises étant assez fortement inclinées, elles se montrent toutes dans le forage sur une hauteur plus grande que leur puissance réelle. Pour mettre de son côté toutes les chances de réussite dans les recherches à entreprendre, nous croyons que c'est sur l'arête même de la voûte qu'il faut les placer. Cette ligne offre de nombreux avantages: on peut y trouver des points orographiquement peu élevés et dont l'altitude, comprise entre 220 et 240 mètres, ne soit guère supérieure à celle du sondage de Remilly; on est certain de n'y traverser les assises que suivant leur épaisseur réelle, et on peut concevoir l'espoir de les y rencontrer amincies, surtout pour le grès vosgien, qui, comme nous l'avons expliqué tout à l'heure, s'est étendu à la façon d'un remblai sur la surface passablement accidentée du terrain houiller. Mais la considération déterminante pour disposer les forages d'exploration le long de l'arête de la voûte que le muschelkalk forme entre les deux Niefs, est que cette arête se trouve exactement au-dessus de celle que forme le prolongement du terrain houiller et le long de laquelle on peut concevoir l'espoir de rencontrer le plus tôt des couches de combustible. Une raison semblable a déjà déterminé le placement, dans la plaine de Creutzwald, du sondage du moulin de Porcelette qui a si bien réussi. Or une ligne passant par ce moulin et dirigée E. 30° N. vient

Points  
qui paraissent  
être les plus  
favorables  
pour  
les recherches.

exactement aboutir sur la Nied française au-dessus du hameau de Vaucremont ; elle figure l'arête de l'espèce de selle formée par le terrain houiller et se confond avec celle de la voûte que déterrinent les assises du calcaire conchylien.

C'est à proximité de cette ligne que nous pensons que les recherches doivent être placées pour offrir le plus de chances de réussite. La position de l'une d'elles se trouve naturellement indiquée dans la vallée de la Nied allemande, au point où paraissent les marnes de l'étage inférieur du muschelkalk, c'est-à-dire entre Vaudoncourt et la route de Bionville. Un forage disposé dans cette localité n'aurait à traverser qu'une faible épaisseur de ce dernier terrain ; il pourrait atteindre entre 200 et 250 mètres la formation houillère ; il offre, suivant nous, beaucoup de chances de réussite. Nous considérons également qu'une recherche tentée dans le petit vallon qui s'ouvre à l'est de Vaucremont présente de sérieux éléments de succès. On serait là à 240 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, par conséquent un peu plus élevé qu'à Vaudoncourt ; on aurait aussi à traverser une plus grande épaisseur de muschelkalk ; mais, en dehors de ces légers inconvénients, cet emplacement réunirait les mêmes conditions favorables que le premier. En décrivant le lambeau de muschelkalk compris entre les deux Niefs, nous avons fait voir que le ravin de Vaucremont, placé sur l'arête de la voûte formée par ce terrain, semblait correspondre à l'enlèvement de la clef qui la fermait. On y rencontre déjà les couches de l'étage moyen que l'on n'aurait à traverser qu'en partie ; nous pensons qu'on pourrait y atteindre le terrain houiller entre 270 et 320 mètres.

Nous nous contentons d'indiquer pour le moment ces deux points de Vaudoncourt et de Vaucremont que nous

Conséquences  
de la découverte  
du

croyons être ceux où les recherches du terrain houiller de la Sarre présentent le plus de chances de réussite, à l'ouest de l'escarpement qui limite la plaine de Creutzwald. Nous conseillons de les pousser activement jusqu'à une profondeur de 500 ou 600 mètres que les forages atteignent aujourd'hui avec facilité. Cette profondeur inspirera peut-être quelques craintes pour le succès des recherches et surtout pour celui des travaux d'exploitation qui devraient être entrepris ultérieurement ; mais on n'oubliera point qu'elle a été plutôt exagérée qu'amoindrie, et que leur succès dépend en définitive de l'amincissement vers l'ouest du grès des Vosges, amincissement sur lequel on peut raisonnablement compter, et qui, s'il était une fois prouvé, supprimerait les plus grandes difficultés dans la construction des puits.

Du reste, il ne faut point perdre de vue, et c'est la réflexion par laquelle nous voulons terminer ce mémoire, que, si l'effort à tenter est considérable, le but à atteindre a une importance capitale. La découverte du terrain houiller à Vaudoncourt et à Vaucremont, découverte qui, d'après la disposition des assises, serait inévitablement suivie de celle de la houille, ajouterait immédiatement près de 200 kilomètres carrés de territoire houiller à ce qui est aujourd'hui reconnu dans le département de la Moselle et elle rapprocherait de plus de moitié les lieux de production des grands centres de consommation. La richesse du département se trouverait donc, par le fait d'une seule recherche heureuse, plus que doublée. Le résultat vaut certes bien la peine qu'on y songe.

terrain houiller  
sur les bords  
des Niefs.

## NOTE

SUR UN NOUVEAU PROCÉDÉ DE BOISAGE APPLIQUÉ DANS LES MINES  
DE HOUILLE DE LA COMPAGNIE D'ANZIN, PRÈS VALENCIENNES.

Par M. DORMOY, ingénieur des mines.

Les gisements houillers du bassin de Valenciennes se composent de veines affectant toutes les inclinaisons, et dont l'épaisseur varie depuis quelques centimètres jusqu'à 1 mètre ou 1<sup>m</sup>,20. L'exploitation se fait par grandes tailles de 10 à 20 mètres de *relevée*, c'est-à-dire de hauteur mesurée suivant l'inclinaison de la couche, se succédant en gradins renversés sur toute la hauteur qui sépare deux niveaux d'exploitation, soit ordinairement sur 25 à 30 mètres de hauteur verticale.

Dans le mode de boisage communément employé, on soutient le toit de la veine au moyen de *rallongues* dirigées suivant les lignes de plus grande pente, qui reposent sur des *bois de taille* placés perpendiculairement au toit et au mur, et prenant leur point d'appui sur le mur de la veine. Les *rallongues* sont des perches de bois de 3 mètres de longueur sur 0<sup>m</sup>,08 à 0<sup>m</sup>,10 de diamètre; sur cette longueur de 3 mètres, il existe, suivant le degré de solidité des terrains, trois, quatre ou cinq bois de taille, dont la hauteur est égale à l'épaisseur de la veine, et dont le diamètre est environ de 0<sup>m</sup>,10; les lignes formées par les *rallongues* sont espacées entre elles, en direction, de 1 mètre; et de l'une à l'autre on place encore, en les serrant entre les *rallongues* et le toit, de nouveaux bois appelés *esclimbes*, pa-

Nature  
des veines.

Ancien mode  
de boisage.

rallèles à la direction de la veine. Leur longueur est de 1<sup>m</sup>,20, leur diamètre est le même que celui des rallonges, et leur espacement varie de 0<sup>m</sup>,30 à 1 mètre, suivant le degré de solidité des terrains.

Rôle utile  
du boisage.

L'abatage des charbons se fait ordinairement dans la matinée; à midi, le *fond de taille*, c'est-à-dire la partie de la veine non encore attaquée est arrivée à 3 mètres environ de distance des remblais placés la veille, distance comptée en direction; la pose des remblais se fait dans l'après-midi, et, le soir, les remblais ayant à leur tour avancé de 1 mètre sur toute la hauteur de la taille, cette distance se trouve réduite à 2 mètres. C'est donc sur cette largeur de 2 à 3 mètres que le boisage doit soutenir les terrains pendant le temps qui s'écoule entre le moment où le charbon est enlevé et celui où les remblais viennent le remplacer, c'est-à-dire pendant environ vingt-quatre heures. Là se borne le rôle du boisage; car, une fois les remblais posés, tous les bois deviennent inutiles, et cependant on est obligé de les laisser dans l'exploitation. Si donc on parvenait à soutenir artificiellement le toit de la veine pendant ces vingt-quatre heures, et à enlever ensuite les engins qui auraient été employés dans ce but, on pourrait reporter ceux-ci sur une autre partie de l'exploitation et économiser, en définitive, au moyen d'une dépense d'outillage une fois faite, une consommation de bois permanente et chaque jour renouvelée.

Description  
du nouveau mode  
de boisage.

C'est là le but que s'est proposé M. Dernoncourt, sous-directeur des travaux de la division de Vieux-Condé, et, pour y parvenir, il a imaginé le système de boisage que nous allons décrire.

Appareil  
employé.

L'appareil employé se compose de trois parties :

1° *La botte* (Pl. IX, fig. 8). C'est un cylindre un peu conique en bois d'orme, ayant 0<sup>m</sup>,18 de diamètre à la

partie supérieure, et 0<sup>m</sup>,20 à la base, et une hauteur inférieure de 0<sup>m</sup>,30 environ à la puissance de la veine où l'on doit le faire fonctionner : cette hauteur varie, par conséquent, de 0<sup>m</sup>,30 à 1<sup>m</sup>,40 (car dans certains renflements assez prolongés, l'épaisseur des veines s'élève jusqu'à 1<sup>m</sup>,70); il présente suivant son axe une ouverture cylindrique de 0<sup>m</sup>,060 de diamètre; il est cerclé de fer, surmonté d'une rondelle de fer ouverte en son centre, et terminé à la partie inférieure par une rondelle pleine en bois tendre, de 0<sup>m</sup>,20 de diamètre, et de 0<sup>m</sup>,06 d'épaisseur.

2° *La vis* (fig. 9). C'est une vis à filet carré, destinée à entrer dans l'ouverture cylindrique ménagée au centre de la botte. Elle a 0<sup>m</sup>,055 de diamètre, et 0<sup>m</sup>,30 de longueur; le pas de vis est de 0<sup>m</sup>,012. Cette vis porte un écrou carré de 0<sup>m</sup>,07 de hauteur, et est surmontée d'une tête en bois blanc de 0<sup>m</sup>,30 sur 0<sup>m</sup>,20, et de 0<sup>m</sup>,06 d'épaisseur, nommée *applique*.

3° Un madrier en bois d'orme; il est destiné à être placé sur l'applique; il a 0<sup>m</sup>,25 de largeur, 0<sup>m</sup>,06 d'épaisseur, et 1<sup>m</sup>,80 de longueur.

Pour soutenir le toit d'une veine en cours d'exploitation, on place un certain nombre de ces appareils dans la veine; le madrier s'applique contre le toit; la vis se place dans l'intérieur de la botte, dans une position à peu près verticale, et reçoit sur sa tête le madrier qu'elle est destinée à supporter : en tournant plus ou moins l'écrou, on peut faire varier la hauteur totale de l'appareil; on doit le tourner assez pour serrer fortement tout le système entre le toit, sur lequel s'applique le madrier, et le mur, sur lequel la rondelle de bois qui termine la botte vient prendre son point d'appui.

Voici comment le travail se conduit : nous prenons pour exemple l'exploitation de la veine Saint-Pierre,

Conduite  
du travail.

dans la fosse Sophie, concession de Vieux-Condé, au niveau de 74 mètres, où la compagnie d'Anzin fait faire en ce moment l'essai de ce nouveau système de boisage. L'inclinaison de la veine est de  $20^\circ$ ; son épaisseur  $0^m,65$ ; le toit est peu solide, et se fissure facilement lorsqu'on le laisse quelque temps sans appui. La taille a  $9^m,50$  de relevée, y compris  $1^m,50$  pour la voie supérieure, soit 8 mètres de longueur réelle. On place sur cette longueur dix-huit bottes qui sont ainsi espacées d'axe en axe de  $0^m,45$ ; les madriers ayant  $0^m,25$  de largeur, il reste d'un bord à l'autre une largeur de toit non soutenue de  $0^m,20$  seulement. Au commencement de la journée, les dix-huit bottes sont en ligne droite depuis la voie de fond jusqu'au haut de la taille; elles sont placées au milieu de la largeur de la taille; les madriers avancent d'un côté jusqu'au front de taille, et de l'autre pénètrent de  $0^m,10$  dans les remblais placés la veille. La tâche des ouvriers est réglée de telle manière que l'avancement en direction doit être de  $1^m,50$  dans la journée. A mesure que l'abatage du charbon avance, on met à découvert une largeur de toit de plus en plus grande. Lorsque cette largeur est arrivée à  $0^m,75$  environ, les ouvriers placent de distance en distance, pour soutenir le toit, des bois de taille provisoires surmontés de petites pièces de bois destinées à répartir la pression. Lorsque, sur un point, l'avancement du travail est arrivé à sa limite de  $1^m,50$ , on avance les madriers qui sont en regard; un seul ouvrier suffit pour faire cette manœuvre: il soutient d'abord l'extrémité libre du madrier par une fourche en bois, présentant à sa partie supérieure une ouverture en forme de tiroir, dans laquelle celle-ci entre à frottement doux; puis il desserre l'écrou et fait glisser le madrier de la quantité convenable; il retire alors la botte et la reporte

à  $1^m,50$  plus loin, c'est-à-dire encore au milieu de la nouvelle position du madrier; alors il resserre l'écrou de la vis, de manière à rétablir la pression, il enlève la fourche, et le madrier se trouve ainsi supporter le toit de la veine qui vient d'être mis à découvert. Les ouvriers de la taille ont soin de n'avancer ainsi qu'un madrier sur deux, et de laisser l'autre dans la position primitive, de sorte qu'à la fin de la journée d'abatage, le toit se trouve encore suffisamment soutenu sur la largeur de  $3^m,20$  qu'il présente. L'après-midi, un autre poste d'ouvriers est chargé de faire les remblais: à mesure qu'ils font ce travail, ils avancent de la même manière les madriers qui sont restés de deux en deux à la position qu'ils occupaient la veille; la réaction qu'ils exerçaient sur le toit se trouve remplacée par la résistance des blocs de schiste formant le remblai; et, le lendemain matin, lorsque les ouvriers mineurs reviennent à leur travail, ils trouvent, comme la veille, toutes les bottes en ligne droite, et les madriers espacés d'axe en axe de  $0^m,45$ ; seulement tout le système a avancé de  $1^m,50$  dans le sens de la direction. On s'est aperçu que pour diminuer leur travail, les remblayeurs desserraient d'abord les écrous des vis, ce qui permettait au toit de suivre ce mouvement et de s'affaisser presque aussitôt de  $0^m,20$ : ils remblayaient ensuite le vide laissé, qui avait diminué d'un tiers; mais cette manière de procéder a le double inconvénient de briser tous les terrains supérieurs, et de laisser non employés une grande quantité de remblais, qu'il faut ensuite transporter à grands frais dans d'autres parties de la mine; il faut, au contraire, remblayer d'abord jusqu'au toit, et c'est seulement alors qu'un ouvrier chargé spécialement de ce travail doit desserrer les écrous et avancer les madriers.

Espacement  
des bottes.

Dans les veines dont le toit présente plus de solidité, on laisse plus d'intervalle entre deux bottes consécutives; ainsi dans la veine Élisabeth, exploitée par la même fosse au niveau de 127 mètres, elles sont espacées d'axe en axe de 0<sup>m</sup>,55; dans les bons terrains, cet espacement pourra s'élever jusqu'à 0<sup>m</sup>,80; on doit au contraire, dans les terrains très-fissurés et très-secs, le réduire jusqu'à 0<sup>m</sup>,20, c'est-à-dire placer les madriers tout à fait jointifs.

Longueur  
des madriers.

La longueur des madriers avait d'abord été fixée à 3 mètres; comme le vide de la taille n'a ordinairement que 2 mètres de largeur au plus, on les laissait pénétrer de 1 mètre dans les remblais; mais il était alors difficile de les enlever, à cause des frottements; de plus, il restait ainsi dans les remblais des vides que les ouvriers négligeaient de combler; pour obvier à ces inconvénients, la longueur des madriers a été réduite d'abord à 2<sup>m</sup>,50, puis à 1<sup>m</sup>,80, ainsi que nous l'avons dit. Dans les bons terrains on se dispense de les faire pénétrer de 0<sup>m</sup>,10 dans les remblais; on place leur extrémité à l'endroit où ceux-ci s'arrêtent.

On avait d'abord employé des madriers en chêne, mais ils se cassaient facilement: il vaut mieux employer l'orme de choix, qui plie sans se rompre sous la pression.

Précautions  
à prendre dans  
l'avancement  
des madriers.

Nous avons dit que l'ouvrier mineur n'avancait la botte qu'une fois par jour, et que, pour ne pas laisser, pendant son travail, le toit sans soutien sur toute la largeur de veine qu'il abat, il plaçait, quand il le jugeait nécessaire, des bois de taille et de petites esclimbes; cette largeur d'avancement journalier, qui est de 1<sup>m</sup>,50 dans l'exemple que nous avons choisi, n'est pas ordinairement aussi considérable; elle n'est guère en moyenne que de 1<sup>m</sup>,30. Cependant il pourrait

y avoir danger à n'avancer ainsi les madriers qu'une fois par poste, et à laisser à l'appréciation de l'ouvrier le moment où la prudence exige que l'on place des bois de taille provisoires; il serait préférable de poser en principe que l'on avancera toujours les bottes au moins deux fois par poste, et, en règle générale, toutes les fois qu'il y aura 0<sup>m</sup>,50 d'avancement effectué (1). On doit toujours laisser immobiles les madriers de deux en deux; seulement, à la fin de la journée, pour mieux répartir la réaction, on pourra reporter à leur extrémité, c'est-à-dire à 1<sup>m</sup>,50 du nouveau front de taille, les bottes qui étaient placées en leur milieu, soit à 2<sup>m</sup>,35 de ce même front. Cette manœuvre a l'avantage de ne jamais laisser de grandes parties de toit sans soutien; on jugera plus tard si ces précautions sont indispensables.

Avec cette modification, le nouveau mode de boisage nous paraît présenter plus de sécurité que l'ancien, en ce sens que l'espacement des bottes, qui est le seul élément variable, sera toujours déterminé à l'avance par les chefs ouvriers, et que les mineurs n'auront plus qu'à exécuter ponctuellement ce qui leur sera prescrit: toute infraction serait constatée au premier examen; tandis que, dans le système actuellement en usage, l'espacement des bois de taille et des rallongues en hauteur et en largeur, l'espacement et le nombre des esclimbes, ne peuvent pas être strictement déterminés d'avance, et sont laissés en grande partie à l'appréciation des ouvriers; or, comme ils travaillent à la tâche, ils sont souvent sur ce point d'une assez grande négli-

Sécurité  
du nouveau  
système.

(1) Cette largeur d'avancement est réglée d'avance par les chefs ouvriers d'après la quantité de charbon que l'on veut extraire dans la taille, et d'après le travail que désirent faire chaque jour les trois ou quatre ouvriers qui y sont occupés.

gence. De plus, ils ne peuvent placer pendant leur travail que des esclimbés, et ce n'est qu'à la fin de leur journée qu'ils placent à front de taille les rallongues et les bois de taille, de sorte que le toit reste pendant toute la durée de leur travail sans soutien bien solide; ici, au contraire, le toit sera soutenu à mesure qu'il sera mis à découvert.

Veines  
très-inclinées.

Ce mode de boisage ne pourra peut-être pas s'appliquer partout; ainsi, dans les parties de veines très-inclinées, il devient d'une application difficile; car les bottes cessant d'être à peu près verticales, la pression des terrains ne s'exerce plus suivant leur axe, et elles ne les soutiennent plus aussi bien. La plus grande inclinaison sur laquelle le système ait été essayé jusqu'ici est celle de 35°.

Dans les endroits où les veines sont très-irrégulières et brisées par des failles ou des rejets, on diminue la longueur des madriers autant que cela est nécessaire, ou encore on a recours à l'ancien mode de soutènement par rallongues et bois de taille. Enfin, l'ancien système doit toujours être conservé pour les voies de fond et pour les autres galeries dans lesquelles les bois doivent être établis à demeure.

Consommation  
actuelle de bois.

Le grand avantage de ce système, c'est de supprimer la consommation du bois; cette consommation est actuellement très-considérable dans les mines de houille du bassin du Nord; on voit s'épuiser peu à peu les forêts qui produisaient les perches de mine, et l'on est forcé de les faire venir chaque année de contrées de plus en plus éloignées. Dans les mauvais terrains, comme ceux de la fosse Sainte-Sophie, une taille de 9<sup>m</sup>,50 n'exige pas moins de 57 mètres courants de bois, coûtant 5<sup>f</sup>,30 par mètre courant d'avancement, savoir :

8 mètres de taille.

3 rallongues de 3 <sup>m</sup> .00 =	9 <sup>m</sup> .00 . . . .	coûtant	0 <sup>f</sup> .90
15 bois de taille de 0 <sup>m</sup> ,65 =	9 <sup>m</sup> ,75 . . . .		1 <sup>f</sup> ,00
24 esclimbés de 1 <sup>m</sup> ,20 =	28 <sup>m</sup> ,90 . . . .		2 <sup>f</sup> ,00
	<u>47<sup>m</sup>,55</u>		<u>3<sup>f</sup>.90</u>
			3 <sup>f</sup> ,90

1,50 de bois.

2 fermes par mètre courant.

Pour chacune :

2 montants de 1 <sup>m</sup> ,50 =	3 <sup>m</sup> ,00	coûtant	0 <sup>f</sup> ,50
1 chapeau de 2 <sup>m</sup> ,00 =	2 <sup>m</sup> ,00		0 <sup>f</sup> ,20
	<u>5<sup>m</sup>,00</u>		<u>0<sup>f</sup>,70</u>
			1 <sup>f</sup> ,40
	<u>57<sup>m</sup>,55</u>		<u>5<sup>f</sup>,30</u>

Et comme on en retire 61 hectolitres de charbon (9<sup>m</sup>,50 × 0<sup>m</sup>,65 × 1<sup>m</sup>,00), cette consommation s'élève par hectolitre de charbon à 0<sup>m</sup>,90 de bois, coûtant 0<sup>f</sup>,086 (1).

La main-d'œuvre, pour une taille de cette étendue, revient environ à 2<sup>f</sup>,65, savoir :

1/2 journée d'ouvriers boiseur à 2 <sup>f</sup> ,75 . . .	1 <sup>f</sup> ,375
1/2 journée de <i>galibot</i> ou aide à 2,55 . . .	<u>1<sup>f</sup>,275</u>
	2,65

Ce qui porte le prix complet du boisage à 8 francs environ.

En ce qui concerne la main-d'œuvre, le nouveau mode de boisage en exige environ moitié moins que l'ancien, dans lequel les ouvriers sont obligés de tailler sur place tous les bois à la longueur convenable; aussi a-t-il été adopté par eux avec grande faveur.

Quant à la dépense qu'il entraîne, on ne peut pas encore la déterminer actuellement, car il faut pour

Prix de revient.

(1) Pendant l'année 1855, la consommation en perches faite par la compagnie d'Anzin a coûté 838.000 fr. pour 12 millions d'hectolitres extraits.

cela que l'on connaisse quelle sera la durée moyenne des bottes, et que l'on sache si l'outillage devra être souvent renouvelé. Le prix de revient de chaque botte est d'environ 22 francs, savoir :

Vis, 14 kil. de fer à 1',35 . . . . .	19,00
Madrier de 1 <sup>m</sup> ,80 × 0,20 × 0,06 . . . . .	1,40
Bottes, 1 <sup>m</sup> ,02 à 55 fr. . . . .	1,10
Main-d'œuvre . . . . .	0,30
Deux cercles en fer. . . . .	1,50
	23,30

## NOTE

SUR UN ACCIDENT SURVENU DANS UNE MARNIÈRE DE LA COMMUNE DE LINTOT, CANTON DE BOLBEC, DÉPARTEMENT DE LA SEINE-INFÉRIEURE.

Par M. CALLON, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

Le 5 novembre 1856, vers six heures de l'après-midi, un puits de marnière établi depuis l'année précédente dans la commune de Lintot (Seine-Inférieure), s'est éboulé partiellement au moment où trois ouvriers étaient au fond de ce puits occupés à abattre de la marne dans une chambre (Pl. IX, fig. 10).

Les ouvriers du treuil et le maître marneur Lamotte, dont le fils était au nombre des ouvriers pris sous l'éboulement, firent jusqu'au soir de vains efforts pour entamer les décombres, et ne réussirent qu'à déterminer de nouveaux mouvements du terrain.

On prit donc le parti de creuser un puits de secours destiné à déboucher sur la chambre dans laquelle les ouvriers s'étaient mis à l'abri; on se mit immédiatement à l'œuvre.

Le lendemain 6 novembre, à une heure de l'après-dîner, M. le préfet du département arriva sur les lieux avec M. Fayard, ingénieur ordinaire des mines en résidence à Rouen. Le puits de sauvetage, exécuté sous la direction de M. Bouniceau, ingénieur en chef des ponts et chaussées, était déjà à 6 mètres de profondeur, et était poussé avec toute l'activité possible.

M. Fayard, après s'être fait descendre dans le puits éboulé, et avoir examiné attentivement l'état des lieux,

crut devoir tenter une voie plus dangereuse, sans doute, mais probablement beaucoup plus courte, en reprenant les tentatives du sieur Lamotte.

Il annonça donc l'intention, tout en poursuivant avec activité l'approfondissement du puits de sauvetage, de faire de sérieux efforts pour arriver plus rapidement par l'ancien puits au but que l'on se proposait.

Secondé d'abord par deux ouvriers de bonne volonté, les sieurs Dorange et Cornier, et quelques heures après par le sieur Hazard, ouvrier connu dans tout le pays par son intelligence et par la rare énergie dont il avait déjà fait preuve en pareilles circonstances, M. Fayard commença par consolider avec soin toute la partie supérieure de la colonne du puits, de manière à assurer une retraite certaine dans le cas où des mouvements se feraient sentir au voisinage de la masse à déblayer.

Ce travail préliminaire fait, le sieur Hazard se fit suspendre à un câble de secours pour débarrasser le puits des terres éboulées qui l'obstruaient. Après avoir déblayé sur une hauteur de 2 mètres environ, on consolida le terrain mis ainsi à découvert au moyen d'un cadre horizontal en sapin enfoncé à grands coups de masse, relié au moyen de madriers au revêtement supérieur, et pouvant servir de base solide pour les opérations ultérieures d'approfondissement. Ces opérations consistèrent encore à creuser avec précaution, dans les pierres et l'argile qui encombraient l'intérieur du puits, en établissant, au fur et à mesure, une série d'anneaux de clichage doublés extérieurement avec de la paille et des fagots.

Après quatre heures d'un travail assidu, le sieur Hazard et le sieur Fessard, autre ouvrier, d'une habileté et d'un courage également éprouvés, eurent enlevé tous les débris et purent guider successivement l'ascension

au jour des trois malheureux ensevelis depuis près de quarante-huit heures.

A ce moment, le puits de sauvetage n'avait guère qu'une quinzaine de mètres; il en restait 17 à faire dans des terrains mouvants, où l'on devait compter trois à quatre heures par mètre d'avancement, boisage compris.

On peut donc dire que l'idée hardie conçue par les ouvriers du treuil et le sieur Lamotte, reprise par M. Fayard, contre l'avis de presque toutes les personnes présentes sur les lieux, et exécutée avec autant d'habileté que de résolution par les quatre ouvriers nommés plus haut, et au premier rang desquels il faut compter le sieur Hazard, a eu pour résultat d'abrèger de plus de moitié les opérations du sauvetage.

COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR.

RAPPORTS, ET AVIS DE LA COMMISSION

SUR L'EXPLOSION D'UN TAMBOUR SÈCHEUR,
DANS LA FABRIQUE DE TISSUS IMPRIMÉS DE M. FRIES-REBER
A KINGERSHEIM, PRÈS MULHOUSE.

1° Rapport de M. Dürrbach, garde-mines.

Appareils
vapeur.

Dans la soirée du 9 septembre 1856, le garde-mines
soussigné a été informé de l'explosion d'un tambour
sècheur de la fabrique de tissus imprimés du sieur
Fries-Reber sise à Kingersheim.

Il s'est rendu le lendemain sur le lieu de l'accident
pour examiner la pièce rompue et les dégâts occa-
sionnés.

Description
de l'appareil.

Cet appareil est composé d'une partie cylindrique en
cuivre rouge étamé extérieurement, de deux fonds cir-
culaires en tôle avec pièces centrales en fonte; les fonds
sont reliés entre eux par neufs tirants cylindriques
en fer.

Les dimensions du tambour sont les suivantes :

- Longueur. . . . . 1,10 mètres.
Diamètre. . . . . 1,18 mètres.
Capacité. . . . . 1,202 mètr. cub.
Épaisseur des parois cylindriques en cuivre. 3 millimètres.
Épaisseur des fonds en tôle. . . . . 11 millimètres.
Diamètre des tirants en fer. . . . . 21 millimètres.

La paroi cylindrique était formée d'une seule feuille
de cuivre dont les extrémités étaient reliées par de la
soudure forte appliquée sur la partie concave du cy-
lindre; cette partie était reliée aux fonds en tôle par
l'intermédiaire de cornières en fer sur lesquelles elle

était fixée au moyen de petits rivets en cuivre; les cor-
nières elles-mêmes étaient fixées aux fonds au moyen
de boulons.

Le cylindre est porté à ses extrémités par des pièces
creuses laissant passer la vapeur, et il prend pendant
le travail un mouvement de rotation autour de son axe,
avec une vitesse de deux à trois tours par minute. Ce
mouvement lui est donné par deux roues d'engrenage
placées du côté de l'entrée de la vapeur.

La chaudière qui fournit la vapeur à cet appareil est
timbrée pour 5 1/2 atmosphères, et elle fonctionne or-
dinairement à 5; d'après la déclaration du chauffeur,
c'était cette dernière pression qu'accusait son mano-
mètre au moment de l'accident.

La vapeur est amenée au tambour par un tuyau de
0m,031 de diamètre, qui porte avant son entrée dans
le cylindre, un robinet et un embranchement (Pl. IX,
fig. 11), sur lequel est adaptée une petite soupape de
sûreté dont les dimensions suivent :

- Diamètre . . . . . 2 centimètres.
Largeur de la zone de contact . . . . . 1 millimètre.
Rapport des bras du levier. . . . . 44/282 = 0,156
Poids de la soupape . . . . . 0,125 kilog.
Pression due au poids du levier sur la soupape. 1,1 kilog.

Le poids suspendu à l'extrémité du levier pèse 0<sup>t</sup>,9;
il correspond à 3<sup>atm</sup>,15.

Le tuyau de sortie de la vapeur, adapté au fond
opposé, a 0m,020 de diamètre; il n'est muni d'aucun
robinet, et débouche dans un puits placé à 20 mètres
du tambour; nous avons constaté que ce tuyau n'était
pas obstrué, en y faisant verser de l'eau par l'extrémité
adaptée au cylindre et en observant l'extrémité débou-
chant dans le puits.

Le tambour a été construit par M. Beutler, chaudronnier à Mulhouse, en 1850, et l'usage en a été autorisé par un arrêté préfectoral du 27 avril 1855; il n'avait pas été éprouvé ni timbré.

Conformément aux prescriptions dudit arrêté, la soupape de sûreté dont son tuyau d'entrée est munie ne devait être chargée que d'un poids correspondant à  $1\frac{1}{2}$  atmosphères; mais le tuyau de sortie de la vapeur n'étant muni d'aucun robinet, l'appareil aurait satisfait aux conditions de sûreté ordinairement prescrites par l'administration, alors même qu'il n'y aurait eu aucune soupape.

Effets  
de l'explosion.

L'explosion a eu lieu le 9 septembre 1856, à 8 heures du matin; le cylindre était en repos et les ouvriers se disposaient à lui faire prendre son mouvement de rotation.

La rupture s'est faite sur une longueur de  $0^m,54$  suivant la génératrice passant par le milieu de la soudure; cette génératrice occupait, au moment de l'accident, à peu près sa position culminante. Les deux parties ainsi séparées ont été repliées en sens inverse de leur première courbure, des deux côtés du cylindre, et lancées avec violence jusqu'à ce que leurs extrémités fussent arrivées au sol.

La rupture s'est faite dans le sens transversal, d'un côté suivant la circonférence de cercle passant par les centres des rivets qui reliaient la feuille à la cornière, et de l'autre suivant une courbe irrégulière, passant en moyenne à  $0^m,25$  ou  $0^m,30$  de l'extrémité du cylindre; la partie qui est restée adhérente au fond de ce côté a été relevée en pointe (*fig. 12 et 13*).

La rupture a commencé évidemment à la place de la soudure, le cuivre y était aminci et son épaisseur était presque nulle en plusieurs points de cette ligne, par

exemple au point P, qui est le correspondant du point P'; il était oxydé en d'autres; la cassure était complètement noire sur une longueur de  $0^m,065$  de M en N et présentait quelques taches vertes de carbonate de cuivre.

Les deux parties de la feuille de cuivre rabattues ont été lancées avec assez de violence pour briser d'un côté: 1° un ventilateur formé de deux ailes en bois, porté au centre par une pièce carrée en fer de  $0^m,020$  de côté, et 2° une traverse en bois de  $0^m,167$  de hauteur sur  $0^m,16$  de largeur.

De l'autre côté, une pièce en fonte dite élargisseur, dont l'axe circulaire, également en fonte, a  $0^m,035$  de diamètre.

Les vitres, non-seulement du local où est placé l'appareil, mais de plusieurs des ateliers voisins et même d'un autre bâtiment ont été brisées.

Les ouvriers occupés auprès de cet appareil étaient au nombre de deux; heureusement ils ne se trouvaient pas devant le cylindre, à la place qu'ils occupent ordinairement pendant la rotation de cet appareil; aucun n'a été atteint, mais l'un d'eux, un jeune garçon, a été renversé par la commotion, et en a été quitte pour quelques légères contusions à la tête, occasionnées par sa chute.

Il résulte de leur déclaration, que la soupape de sûreté adaptée au tuyau d'entrée s'était soulevée quelques instants avant l'accident.

Fait à Mulhouse, le 20 septembre 1856.

Le garde-mines, Signé DÜRRBACH.

Vu: L'ingénieur des mines,  
Signé D. JUTIER.

Vu: L'ingénieur en chef des mines,  
Signé A. DAUBRÉE.

2<sup>o</sup> Extrait des procès-verbaux de la commission centrale.

Dans sa séance du 15 mars 1857, à laquelle assistaient MM. Cordier, Combes, Lorieux, Cros, Dupuis, Lechatelier, Couche, Fournel, Gallon, la commission, sur le renvoi de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 11 novembre 1856, a pris connaissance des pièces concernant l'explosion d'un tambour sécheur dans une fabrique de tissus imprimés, à Kingersheim (Haut-Rhin), et elle a entendu la lecture du rapport suivant, rédigé par son secrétaire adjoint.

*Rapport du secrétaire adjoint de la commission.*

Un rapport, en date du 20 septembre 1856, de M. Dürrbach, garde-mines à la résidence de Colmar, rend compte de la rupture d'un cylindre, ou tambour sécheur, survenue le 9 du même mois dans la fabrique de tissus imprimés du sieur Fries-Reber, à Kingersheim, près Mulhouse (Haut-Rhin).

Ce tambour avait les dimensions suivantes :

Épaisseur de la paroi cylindrique en cuivre.	0 <sup>m</sup> ,003
Longueur . . . . .	1 <sup>m</sup> ,10
Diamètre . . . . .	1 <sup>m</sup> ,18

Cette paroi était formée d'une feuille de cuivre courbée cylindriquement, soudée à la soudure forte, et fixée à deux cornières circulaires par de petits rivets en cuivre.

Le tambour était chauffé au moyen d'une prise de vapeur établie sur une chaudière timbrée à 5 1/2 atmosphères.

Il n'avait point été timbré, parce que, mis en com-

munication avec l'air atmosphérique par un tuyau d'échappement de 0<sup>m</sup>,020, ouvert en grand, sans robinet, il était censé fonctionner à une pression réduite.

La prise de vapeur de 0<sup>m</sup>,031 était d'ailleurs pourvue d'une soupape de 0<sup>m</sup>,02, chargée pour une pression un peu supérieure à 3 atmosphères, et qui, aux termes de l'arrêté d'autorisation, n'aurait dû être chargée que pour 1 1/2 atmosphère.

L'explosion a eu lieu avec une grande violence, sans cependant occasionner aucun accident aux ouvriers.

Le rapport se borne à une description des faits, sans aucune conclusion; M. l'ingénieur ordinaire et M. l'ingénieur en chef n'ajoutent de leur côté aucune observation.

Cette explosion est une nouvelle preuve de l'erreur dans laquelle se placent plusieurs industriels lorsqu'ils supposent qu'un tuyau de dégagement, souvent d'une section restreinte, et toujours plus ou moins sujet à s'obstruer, suffit toujours pour empêcher une pression plus ou moins considérable de s'établir dans l'intérieur d'une capacité fermée. La section d'un semblable tuyau doit être en rapport moins avec l'importance de l'appareil à chauffer, qu'avec celle du générateur qui l'alimente.

A ce point de vue, je pense qu'il pourrait y avoir quelque intérêt à faire connaître les circonstances dans lesquelles s'est produit l'accident dont il s'agit, en insérant dans les *Annales des mines* et dans les *Annales des ponts-et-chaussées*, avec les présentes observations, le rapport de M. le garde-mines Dürrbach.

*Le secrétaire adjoint,*  
Signé J. GALLON.

La commission, après en avoir délibéré, approuvant

les observations contenues dans ce rapport, en adopte les conclusions.

*Le secrétaire adjoint,*  
Signé L. CALLON.

*Le président de la commission,*  
Signé L. CORDIER.

## RÉSULTATS PRINCIPAUX

DES EXPÉRIENCES FAITES DANS LE LABORATOIRE DE CHIMIE  
D'ALGER, PENDANT L'ANNÉE 1854.

Par M. F. DE MARIGNY,  
(sous la direction de M. VILLE, ingénieur des mines).

*Analyses de calcaires.*

Ces calcaires proviennent de la province d'Alger et de celle d'Oran.

Le tableau suivant donne la composition chimique complète des deux premiers échantillons. L'essai des deux autres a eu seulement pour but de déterminer la quantité d'argile.

MATIÈRES.	1	2	3	4
Chaux . . . . .	0,4956	0,4749	»	»
Magnésie . . . . .	0,0058	0,0212	»	»
Oxyde de fer. . . . .	0,0230	0,0060	»	»
Acide carbonique. . . . .	0,3955	6,3706	»	»
Argile. { Silice. . . . .	0,0510	0,0710	»	»
{ Alumine . . . . .		»	0,2900	0,5140
Sable quartzeux. . . . .	0,0050	0,0130	»	»
Eau . . . . .	0,6080	0,0024	»	»
Perte. . . . .	0,0011	0,0008	»	»
	1,0000	1,0000	»	»
Argile totale. . . . .	0,0510	0,0860	0,2900	0,5140

Pour analyser ces calcaires j'ai employé la méthode suivante :

1° La quantité de silice à l'état de sable est déterminée mécaniquement par un lavage fait sur 10 grammes de calcaire pilé et traité d'abord par l'acide chlorhydrique.

2° L'argile et le sable sont recueillis collectivement en traitant 5 grammes de calcaire par l'acide acétique. Cette argile et ce sable quartzeux sont fondus avec du carbonate de soude. On reprend la masse fondue par de l'acide chlorhydrique, et la liqueur acide est évaporée doucement à sec, afin de retirer la silice gélatineuse. A cet effet, on humecte la masse sèche par un peu d'acide chlorhydrique et on étend d'eau. Tous les corps sont redissous à l'exception d'une substance blanche pulvérulente qui est formée de toute la silice provenant de l'argile et du quartz. En retranchant de ce poids total celui du quartz dosé directement par le lavage, on a la proportion de silice qui entre dans la composition de l'argile.

3° Dans la liqueur acide où se trouvent le fer et l'alumine, on ajoute de l'ammoniaque pour précipiter ces deux oxydes qui sont ensuite séparés au moyen de la potasse caustique.

4° Quant à la chaux et à la magnésie qui ont été dissoutes au moyen de l'acide acétique, on sépare la première par l'oxalate d'ammoniaque, et la seconde par le phosphate d'ammoniaque.

Jetons maintenant un coup d'œil sur la composition des quatre calcaires, afin de désigner ceux qui peuvent rendre des services à l'industrie, soit en fournissant de la chaux grasse, soit en donnant des chaux hydrauliques.

Le n° 1 est un calcaire qui a la couleur de la brique cuite; sa surface est légèrement délitée; l'intérieur, au contraire, est formé d'une pâte dure et compacte. Il a été recueilli dans les environs d'Arzew (province d'Oran). La proportion d'argile qu'il contient ne s'élève qu'à 5,10 p. 100; il ne doit donc donner qu'une *chaux grasse*.

Le n° 2 est un calcaire blanc formé de sédiments fins et serrés; il a été recueilli à Aïn-Temouchen (province d'Oran). La quantité d'argile qu'il renferme s'élève à 8,60 p. 100. Sa cuisson, dans les fours à chaux, produira par conséquent une chaux moyennement *hydraulique*.

Le n° 3 est un calcaire noir à sédiments fins, formant une pâte dure et compacte; il provient des environs de Soumah (province d'Alger). La quantité d'argile qu'il renferme s'élève à 29 p. 100. Cette proportion des matières argileuses peut donc donner à la chaux, provenant de la cuisson de ce calcaire, les qualités des ciments naturels.

Le n° 4 est un calcaire compacte à sédiments fins; sa couleur est jaune; comme le précédent, il a été recueilli dans les environs de Soumah. Il contient 51,40 p. 100 de matières argileuses. Cette proportion est beaucoup trop élevée pour qu'il puisse se former, par la cuisson de la roche, des silicates susceptibles d'absorber l'eau et de durcir.

— Je passe maintenant à l'examen de plusieurs autres calcaires et de quelques chaux qui ont été analysés par une méthode indiquée par M. Rivot.

Cethabile ingénieur s'est assuré, par une série d'expériences, que l'argile renfermée dans un calcaire est d'autant plus aisément attaquée par les acides et les alcalis en solution que ce calcaire présente davantage les qualités hydrauliques; mais, si les acides et les alcalis séparent une proportion de silice et

d'alumine d'autant plus considérable que le calcaire est plus hydraulique, cette séparation aura lieu d'une manière plus complète dès que ce calcaire aura subi la cuisson des fours à chaux; car la chaux, ayant perdu son acide carbonique, agira alors sur l'argile de la même manière que de la potasse ou de la soude employées à l'attaque d'une argile dans un creuset; seulement, dans ces derniers cas, l'argile fondue avec les alcalis caustiques éprouve une décomposition complète.

A la suite de ces données générales, je vais faire connaître la composition chimique des calcaires et des chaux analysés par la méthode de M. Rivot, indiquée dans les *Annales des mines* (tome II, 6<sup>e</sup> livraison de 1852, p. 547).

On pourra ensuite apprécier d'un simple coup d'œil quelles sont les roches pouvant donner lieu à des chaux grasses ou à des chaux plus ou moins hydrauliques.

MATIÈRES.		1	2	3	4	5	6	7
Matières solubles par voie humide dans les acides et alcalis.	Silice . . . . .	0,0083	0,0016	0,0200	0,0060	0,0150	0,0066	0,0330
	Alumine . . . . .	0,0010	0,0060	0,0093	0,0006	0,0013	0,0066	0,0020
	Oxyde de fer . . . . .	0,0150	0,0133	0,0050	0,0087	0,0180	0,0188	0,0080
	Chaux . . . . .	0,8067	0,2985	0,5163	0,5143	0,7749	0,4917	6,4872
Mat. insolubles par voie humide dans les acides et alcalis.	Magnésie . . . . .	0,1963	0,1923	0,0175	0,0047	0,0066	0,0037	0,0084
	Silice . . . . .	"	"	"	0,0410	0,0460	0,0476	"
	Argile . . . . .	0,0243	0,0276	0,0076	"	"	"	0,0680
	Alumine . . . . .	"	"	"	0,0183	0,0150	0,0214	"
Acide carbonique Eau Perte . . . . .	Acide carbonique . . . . .	0,4487	0,4479	0,4234	0,4067	0,3801	0,3913	0,3918
	Eau . . . . .	0,0053	0,0071	0,0006	0,0033	0,0349	0,0137	0,0180
	Perte . . . . .	0,0004	0,0065	0,0003	0,0004	0,0082	0,0036	0,0016
	Totaux . . . . .	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Matières argileuses . . . . .	0,0286	0,0382	0,0369	0,0646	0,0773	0,0824	0,0850	

MATIÈRES.		8	9	10	11	12	13	14
Matières solubles par voie humide dans les acides et alcalis.	Silice . . . . .	0,0200	0,0200	0,1380	0,0084	0,1200	0,0410	0,2210
	Alumine . . . . .	0,0150	0,0180	0,0400	0,0077	0,0600	0,0700	0,1000
	Oxyde de fer . . . . .	0,0180	0,0300	0,0330	0,0133	0,0230	0,1080	0,0250
	Chaux . . . . .	0,6749	0,4161	0,6347	0,4105	0,7100	0,3307	0,5049
Mat. insolubles par voie humide dans les acides et alcalis.	Magnésie . . . . .	0,0020	0,0047	0,0066	0,0073	0,0084	0,0066	0,0036
	Silice . . . . .	"	"	"	0,1100	"	0,0998	"
	Argile . . . . .	0,0600	0,1330	0,0050	"	0,0130	"	0,0080
	Alumine . . . . .	"	"	"	0,0590	"	0,0130	"
Acide carbonique Eau Perte . . . . .	Acide carbonique . . . . .	0,3780	0,3320	0,1300	0,3300	"	0,1953	0,1000
	Eau . . . . .	0,0240	0,0380	0,0150	0,0400	0,0600	0,0193	0,0100
	Perte . . . . .	0,0092	0,0152	0,0007	0,0077	0,0056	0,0081	0,0245
	Totaux . . . . .	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Matières argileuses . . . . .	0,0950	0,1700	0,1830	0,1351	0,1930	0,2630	0,3290	

Le n° 1 est une roche provenant des environs de Laghouat. Il a été remis au laboratoire par les soins du génie militaire. Sa couleur est jaune blanchâtre, sa pâte est formée de sédiments très-fins et très-serrés. Les acides et alcalis en solution ne dissolvent que 0,430 p. 100 de silice et d'alumine de l'argile totale dont le poids ne s'élève qu'à 2,86 p. 100. Cette roche étant une dolomie donnera par la cuisson une *chaux maigre*.

Le n° 2 est une roche compacte et formée d'une pâte à sédiments très-fins; il est jaune, il a été, comme le précédent, recueilli dans les environs de Laghouat (province d'Alger). Les acides et les alcalis en solution ne séparent que 0,76 p. 100 de silice et de d'alumine faisant partie des matières argileuses totales dont le poids s'élève à 3,52 p. 100. Cette roche, de même que la précédente, est une dolomie et ne peut donner par la cuisson que de la *chaux maigre*.

Le n° 3 est un calcaire compacte et à sédiments très-fins. Sa couleur est noir grisâtre. Il a été recueilli à Guelt-Stell, localité située entre Boghar et Djelfa, sur la route de Laghouat. Les acides et les alcalis séparent 3 p. 100 de silice et d'alumine; mais, la quantité totale de matières argileuses ne s'élevant qu'à 3,69 p. 100, cette roche ne peut donner qu'une *chaux grasse*.

Le n° 4 est un calcaire à grains fins, formant une pâte dure et compacte. Sa couleur est celle du gris blanchâtre. Les acides et les alcalis en solution ne séparent que 0,56 p. 100 de silice et d'alumine appartenant aux matières argileuses, dont le poids total s'élève à 6,46 p. 100. On n'obtiendra donc, par la cuisson de cette roche, qu'une *chaux grasse*. Il provient des environs d'Aumale (province d'Alger).

Le n° 5 est un calcaire dont la pâte est, également comme le précédent, composée de grains fins et serrés. Sa couleur est noir grisâtre. Les acides et les alcalis en solution séparent 1,63 p. 100 de silice et d'alumine sur le poids total de l'argile qui est de 7,75 p. 100. Ce chiffre est à peu près la limite à laquelle les calcaires commencent à donner les chaux moyennement hydrauliques. Il provient d'Aumale.

Le n° 6 est un calcaire compacte et formé d'une pâte à sédiments très-fins. Sa couleur est le gris foncé. Il a été recueilli dans les environs d'Aumale. Les acides et les alcalis en solution ne séparent que 1,52 p. 100 de silice et d'alumine de l'argile

totale qui, dans cette roche, s'élève à 8,24 p. 100. La cuisson de ce calcaire dans les fours à chaux donnera donc lieu à une *chaux moyennement hydraulique*.

Le n° 7 est un calcaire noir formé d'une pâte dure et compacte. Il a été remis au laboratoire avec l'étiquette (Roche à ciment de Roquefort); mais l'analyse donne des résultats qui font croire que ce calcaire ne provient point de cette localité. En effet, les acides et les alcalis en solution ne séparent que 2,50 p. 100 de silice et d'alumine sur la totalité des matières argileuses qui s'élèvent seulement à 8,50 p. 100. Ce chiffre est donc bien loin d'atteindre celui exigé pour avoir des ciments naturels, il ne peut donner lieu qu'à une *chaux moyennement hydraulique*.

Le n° 8 est un calcaire à sédiments fins qui forment une pâte dure et compacte. Sa couleur est grise. Il provient des environs de Blidah. Les acides et les alcalis en solution séparent 3,50 p. 100 de silice et d'alumine sur la quantité totale d'argile qui s'élève à 8,50 p. 100. On doit donc obtenir, par la cuisson, une *chaux moyennement hydraulique*.

Le n° 9 est un calcaire compacte, gris bleuâtre des environs de Rovigo (province d'Alger). Les acides et les alcalis en solution ont séparé 4 p. 100 de silice et d'alumine sur la totalité des matières argileuses s'élevant à 17,40 p. 100. On doit donc obtenir par la cuisson de ce calcaire une *chaux hydraulique*.

Le n° 10 est une chaux qui provient de la cuisson dans les fours à chaux du calcaire gris blanc de Blidah (n° 8). Les acides et les alcalis séparent 17,80 p. 100 de silice et d'alumine sur lesquels il y a 13,80 p. 100 de silice. L'argile totale, dans cette chaux cuite, s'élève à 18,50 p. 100. L'immersion de cette chaux doit donc produire des hydro-silicates qui lui donneront les qualités des *chaux hydrauliques*.

N. B. L'échantillon de calcaire n° 8 n'est point conforme à celui dont on s'est servi pour produire la chaux cuite n° 10; en effet, sur 100 parties, le calcaire ne renferme que 9,50 d'argile et ne peut donner lieu qu'à une chaux moyennement hydraulique, tandis que la chaux cuite, ramenée par le calcul à 100 de carbonate, renferme 13,75 p. 100 de matières argileuses, et peut par conséquent fournir de la *chaux hydraulique*.

Le n° 11 est un calcaire compacte d'une couleur noire, qui a été recueilli à Aumale (province d'Alger). Il contient 18,51 p. 100 de matières argileuses dont les acides et alcalis

en solution ne séparent que 1,60 p. 100 de silice et d'alumine. Quoique les acides et alcalis ne dissolvent que 1,60 p. 100 de silice et d'alumine; cependant ce calcaire doit produire une chaux hydraulique, puisqu'il renferme 18,51 d'argile, et que cette argile, par la cuisson dans les fours à chaux, passe presque complètement à l'état de silicate de chaux et d'alumine; c'est ce que démontre l'analyse du n° 12.

Le n° 12 est une chaux qui provient de la cuisson du calcaire d'Aumale n° 11. Après cette cuisson, les acides et alcalis séparent 12 p. 160 de silice et 6 p. 100 d'alumine sur la totalité des matières argileuses qui s'élève à 19,30 p. 100. Cette chaux doit donc donner naissance à des silicates susceptibles d'absorber l'eau et de produire de la *chaux hydraulique*, ce qui est du reste conforme aux résultats que donne le calcaire n° 11.

Le numéro 13 est un calcaire compacte de couleur noire, qui a été recueilli près de Rovigo (province d'Alger). Les acides et les alcalis en solution dissolvent 4,10 de silice et 7 d'alumine, sur le poids total de l'argile qui s'élève dans ce calcaire à 26,30 p. 100. Cette proportion d'argile doit donner, par la cuisson de ce calcaire, de la chaux jouissant des propriétés des ciments naturels. C'est, du reste, ce qu'on verra dans l'analyse de la chaux n° 14.

Le n° 14 est de la chaux qui provient de la cuisson du calcaire noir de Rovigo n° 13. Elle a donné, avec les acides et les alcalis en solution, 23 de silice et 10 d'alumine sur la totalité de l'argile s'élevant à 52,90 p. 100. Cette chaux cuite, ramenée par le calcul à 100 parties de carbonate, ne contiendrait donc que 27 p. 100 de matières argileuses, ce qui donnerait, comme le calcaire n° 13, du ciment naturel.

En jetant un coup d'œil sur cette série d'analyses et en ayant égard à l'argile totale que renferme chaque calcaire, il devient facile, en s'appuyant sur les données de M. Vicat, de classer chacun de ces calcaires dans une des six catégories suivantes: 1° calcaire à chaux grasse; 2° à chaux maigre; 3° à chaux moyennement hydraulique; 4° à chaux hydraulique; 5° à chaux éminemment hydraulique; 6° enfin à chaux donnant des ciments naturels; mais on ne peut admettre comme règle générale que la quantité de silice et d'alumine séparée par voie humide, soit d'autant plus considérable que le calcaire tend à jouir de qualités de plus en plus hydrauliques; ainsi, le n° 3 devant fournir de la chaux grasse, donne beaucoup plus de

silice et d'alumine par voie humide que le n° 11, par exemple, qui doit être hydraulique.

Je citerai encore le n° 11 qui ne donne que 1,61 p. 100 de silice et d'alumine solubles dans les acides et alcalis. Il devrait donc produire une chaux moins hydraulique que les n° 7, 8, 9, etc., tandis que c'est l'inverse qui arrive.

Je ferai observer encore que le même calcaire soumis à la cuisson laisse, au contraire, séparer par les acides et alcalis la presque totalité de la silice et de l'alumine dont se compose l'argile; et, si on devait juger par la silice et l'alumine solubles du n° 11 que le calcaire n'est pas hydraulique, le n° 12, qui est la *chaux cuite* de ce calcaire, donnerait un démenti à cette assertion.

Ce n'est donc qu'en se livrant à une série de nouvelles et nombreuses analyses sur les calcaires et les chaux qui en proviennent que l'on pourra se convaincre si l'on doit adopter comme règle générale les données émises par M. Rivot, ou si on devra admettre de nombreuses exceptions à cette règle.

#### Analyses d'eaux.

Parmi les eaux analysées en 1854, quelques-unes sont thermales et minérales, d'autres sont douces et destinées à alimenter les fontaines que l'on se propose de construire dans divers centres de populations nouvellement créés ou que l'on se propose de créer en Algérie. Mais avant de faire connaître les résultats que m'ont donnés chacune de ces eaux, je vais indiquer très-succinctement la méthode d'analyse qui a été suivie.

1° Je fais la recherche de toutes les bases sur 500 grammes ou 1.000 grammes d'eau, suivant que cette eau se trouve plus ou moins chargée de sels. J'évapore lentement à siccité et je reprends la masse sèche par de l'eau distillée pour redissoudre les corps solubles dans ce liquide, tels que *sulfates*, *chlorures*, *nitrate*.

2° Les corps insolubles *silice*, *oxyde de fer*, *carbonates*, etc., sont recueillis et traités par l'acide chlorhydrique; la liqueur acide est évaporée à sec. On reprend la masse sèche par de l'eau acidifiée d'acide chlorhydrique et l'on sépare la silice. Quant au fer, à la chaux et à la magnésie qui se trouvent dans la liqueur acide, on les obtient en les dosant par les réactifs ordinairement usités pour la séparation de ces bases. Le peroxyde de fer est toujours en très-minime proportion et peut ren-

fermer des traces de phosphates terreux que je n'ai pas recherchés à cause de la faible quantité d'eau mise à ma disposition.

3° Les corps redissous dans l'eau distillée (*sulfates, chlorures, nitrates*) sont traités par l'acide chlorhydrique en excès, et la liqueur étant rendue ammoniacale, j'en sépare la chaux totale appartenant aux sels solubles en employant l'oxalate d'ammoniaque. Les sels de magnésie sont ensuite dosés par le phosphate d'ammoniaque.

Pour faire la recherche des alcalis, je prends une nouvelle quantité d'eau et j'opère de la manière suivante :

4° J'évapore à sec 250 à 500 grammes d'eau dans laquelle je verse de l'acide sulfurique de manière à ramener tous les sels à l'état de sulfates. Je reprends la masse sèche par de l'eau distillée pour redissoudre les sulfates ; je verse ensuite dans la liqueur du carbonate de baryte, et j'y fais passer un courant d'acide carbonique ; on forme ainsi du bicarbonate de baryte soluble dans l'eau et on précipite tout l'acide sulfurique à l'état de sulfate de baryte. Il reste dans la liqueur des bicarbonates de baryte, chaux, magnésie, potasse et soude. On filtre. La liqueur filtrée est évaporée à siccité, ce qui transforme les bicarbonates en carbonates neutres, puis on reprend par une petite quantité d'eau bouillante qui ne redissout que les carbonates alcalins. Ces derniers sont évaporés à siccité et fondus pour déterminer d'après leurs poids celui des alcalis. Si ces alcalis sont de la soude et de la potasse, ils sont séparés par le chlorure de platine ou par l'oxy-chlorate de baryte.

5° Je fais une prise d'eau de 250 à 500 grammes d'eau pour déterminer au moyen du chlorure de barium la quantité totale d'acide sulfurique.

6° Le chlore des chlorures est dosé à l'état de chlorure d'argent sur une nouvelle quantité d'eau dont le poids varie de 250 à 500 grammes.

7° Enfin, s'il se trouve de l'acide nitrique dans l'eau, j'en fais directement la recherche en employant la méthode suivante :

Je prends 250 grammes d'eau dans laquelle je verse une solution de sulfate d'argent neutre afin d'enlever tout le chlore des chlorures qui se trouvent dans cette eau ; je filtre et je place la liqueur dans une petite cornue de verre qui, au moyen d'un tube recourbé, est mise en communication avec un ballon contenant de l'eau de baryte. Je verse de l'acide sulfurique dans la cornue et la liqueur est soumise à l'ébullition. Elle se volatilise et

va se condenser dans le ballon où est l'eau de baryte. A la fin de l'opération, l'acide sulfurique décompose les nitrates dont l'acide passe également dans le ballon où il va former un sel de nitrate de baryte. Lorsque l'acide sulfurique de la cornue commence à montrer quelques vapeurs blanches, on arrête la distillation.

La liqueur contenant le nitrate de baryte et l'excès d'eau de baryte, est traitée par un courant de gaz acide carbonique, afin de convertir en carbonate toutes la baryte caustique. Il se forme en même temps du bicarbonate de baryte qu'il faut ramener à l'état de carbonate neutre par l'ébullition. On sépare alors tout le carbonate de baryte d'avec la liqueur qui contient le nitrate de baryte. Je verse dans cette dernière quelques gouttes d'acide sulfurique pour précipiter à l'état de sulfate de baryte toute la baryte qui était combinée à cette base.

Ayant obtenu, d'une part, toutes les bases, et, d'autre part, tous les acides, je détermine par le calcul les combinaisons les plus probables qui peuvent s'effectuer entre ces bases et ces acides, ainsi je forme :

1° Le sulfate de chaux ; 1° Le sulfate de magnésie ; 3° Le sulfate de soude ou de potasse ; 4° Le chlorure de calcium ; 5° Le chlorure de magnésium ; 6° Le chlorure de sodium ; 7° Le chlorure de potassium ; 8° Les nitrates de soude ou de potasse.

Si l'acide est en excès, je reporte cet excès sur la base suivante, et si au contraire la base est en excès, je la combine avec un *nouvel acide*, en suivant l'ordre indiqué ci-dessus.

A la suite de ces détails généraux, je vais indiquer dans le tableau suivant la nature des sels en solution dans les différentes eaux que j'ai eues à analyser. Sur 1.000 grammes d'eau.

MATIÈRES.	1	2	3	4	5	6
Densité . . . . .	1,0225	1,0204	1,0018	1,0005	1,0004	1,00047
Silice . . . . .	0,0150	0,0100	0,0160	0,0180	0,0230	»
Alumine . . . . .	»	»	»	»	»	»
Oxyde de fer . . . . .	0,0200	0,0200	0,0100	0,0070	0,0130	»
Carbonate de chaux . . . . .	0,1000	0,1500	0,3000	0,1430	0,1830	»
Carbonate de magnésie . . . . .	0,0756	0,0823	0,0151	0,0174	0,0401	»
Sulfate de chaux . . . . .	2,8281	2,4474	0,0272	0,0638	0,0419	»
Sulfate de magnésie . . . . .	0,1876	0,4228	0,1189	0,2931	»	»
Sulfate de soude . . . . .	»	»	»	»	»	»
Chlorure de calcium . . . . .	»	»	»	»	0,0047	»
Chlorure de magnésium . . . . .	0,3262	0,0699	0,0423	0,0209	0,0621	»
Chlorure de sodium . . . . .	26,5000	24,1581	0,1302	0,4472	0,0418	»
Nitrate de soude . . . . .	»	»	»	»	0,0437	exist.
Poids total des sels sur 1000 gr.	30,0525	27,3615	0,6597	1,0104	0,4533	0,2800

Le n° 1 provient des sources connues sous le nom de Hammam-el-Louan (bains des couleurs). Les Arabes ont ainsi désigné cette localité, parce que le sol se trouve imprégné par des traces ferrugineuses dont la couleur est plus ou moins rouge.

Ces eaux sont situées à quelques kilomètres du village de Rovigo, dans les gorges de l'Harrach (province d'Alger); elles sont minérales et possèdent en même temps une haute température. Celles du n° 1, sortant du point nommé le *Marabout*, ont 42° de chaleur; aussi, d'après l'avis des hommes compétents, ces eaux peuvent agir très-énergiquement contre les maladies de la peau, les rhumatismes, les obstructions.

Elles sont limpides, incolores, sans odeur désagréable; la proportion du sel marin qui s'y trouve en solution est considérable, puisqu'elle s'élève à 26<sup>g</sup>,50; elle est presque égale à celle de la Méditerranée qui est de 30<sup>g</sup>,182.

Cette eau renferme des traces d'iode.

Le n° 2 provient également de Hammam-el-Louan, mais d'une source différente connue sous le nom du Bassin. Sa température est un peu moins élevée que la précédente; elle n'atteint que 39°. La quantité de sel marin y est aussi moins considérable; elle ne s'élève qu'à 24<sup>g</sup>,158.

Le n° 3 est une eau douce sortant du frais vallon situé derrière le fort l'Empereur, à Alger. On pensait qu'elle renfermait des sels nuisibles à l'économie domestique; mais l'analyse démontre au contraire que cette eau est fort bonne pour la boisson.

Le n° 4 est de l'eau qui a été recueillie dans la rivière de la Mina (province d'Oran). Le génie militaire la destine à alimenter les fontaines d'un nouveau centre de population. Bien que la proportion de sels qu'elle renferme soit assez considérable et s'élève à 1<sup>g</sup>,0104, comme le sel marin domine, ces eaux peuvent être employées sans inconvénient pour les besoins de l'économie domestique.

Le n° 5 est de l'eau qui a été recueillie dans la rivière de l'Oued-Anceur (province d'Oran); comme la précédente, le génie militaire la destine à fournir d'eau les fontaines qui doivent servir au même centre de population. Cette eau est meilleure que celle de la Mina.

Le n° 6 est de l'eau dont le génie militaire veut encore fournir les fontaines d'un centre de population que l'on se propose

d'établir dans la province d'Alger. Cette eau sort de l'oued Telaisly.

Il ne s'est agi, pour cette dernière eau, que de déterminer le poids total des sels qu'elle tient en dissolution et qui s'élève à 0,2000 par litre. Cette eau est donc très-pure et très-convenable à la boisson. J'y ai dénoté la présence de l'acide nitrique.

*Analyse de l'eau des laveries du minerai de cuivre pyriteux de l'oued Allelah, à Ténès.*

L'analyse de cette eau a été faite une première fois au mois d'avril 1854 dans le but de constater si elle ne renfermait pas quelques sels de cuivre, mais les résultats obtenus à cet égard ont été négatifs.

Une deuxième analyse a été faite sur de l'eau sortant des mêmes ateliers de préparation mécanique et qui a été recueillie dans le courant de décembre 1854.

J'y ai constaté la présence d'une assez forte proportion d'acide arsénique qui probablement provient de la décomposition de quelques pyrites arsénicales longtemps exposées à l'air dans les tas de minerai destinés au lavage.

1° L'acide arsénique a été d'abord séparé à l'état de sulfure et dosé ensuite à l'état d'acide arsénique en employant, suivant la méthode indiquée par M. Berthier, une dissolution de fer dans l'acide nitrique qui a été ensuite précipité par l'ammoniaque à l'état d'oxyde et d'arséniate de fer.

2° La soude se trouvant en excès (après la combinaison de tous les acides avec les bases), j'ai admis que cette soude existait dans l'eau à l'état de carbonate (dont une portion, décomposée par l'acide arsénique, a dû donner naissance à l'arséniate de soude).

Voici la composition des sels contenus dans cette eau. Sur 1.000 grammes.

Silice . . . . .	0,0080	Sulfate de chaux . . . . .	0,0692
Oxyde de fer . . . . .	0,0060	Sulfate de magnésie . . . . .	0,1572
Carbonate de chaux . . . . .	0,2600	Sulfate de soude . . . . .	0,1169
Carbonate de magnésie . . . . .	0,0450	Arséniate de soude . . . . .	0,1589
Carbonate de soude . . . . .	0,1572	Chlorure de sodium . . . . .	0,1140
			1,0874

*Analyse d'un minerai de zinc des Ouled-Mariz,  
près de Tlemcen (province d'Oran).*

Ce minerai se présente en masse compacte. Sa couleur est blanche légèrement jaunâtre, il possède en outre un éclat vif et miroitant. Voici sa composition :

Carbonate de zinc . . . . .	0,9010	Acide arsénique . . . . .	0,0330
Carbonate de plomb . . . . .	0,0044	Oxyde de fer . . . . .	0,0150
Carbonate de chaux . . . . .	0,0230	Quartz . . . . .	0,0030
Carbonate de magnésie . . . . .	0,0174		0,9968

Ce minerai contient 46,87 p. 100 de zinc métallique.

*Analyse d'un minerai de cuivre.*

Ce minerai provient d'un gîte qui se trouve à Tensalmet dans la province d'Oran. Il est formé d'un mélange de carbonate vert en aiguilles avec de la pyrite de cuivre et de l'oxyde cuivrique. Ce dernier est brun et se trouve doué d'un léger éclat métallique.

Il renferme, sur 1 gramme :

Silice . . . . .	0,0680
Alumine . . . . .	0,0120
Oxyde de fer . . . . .	0,3407
Carbonate de chaux . . . . .	0,0230
Carbonate de magnésie . . . . .	0,0060
Carbonate vert de cuivre . . . . .	0,0530 (2CuC + Aq)
Sulfate de cuivre . . . . .	0,0106 (CuO, So <sup>3</sup> 5Aq)
Pyrite de cuivre . . . . .	0,0510 (Fes + Cus)
Oxyde de cuivre . . . . .	0,2098 (CuO)
Eau . . . . .	0,1867
Perte . . . . .	0,0092
	1,0000

La quantité totale de cuivre métallique est de 22,75 p. 100.

*Analyse de nitrate de soude du commerce.*

Ce nitrate avait été remis aux ponts et chaussées, à Alger, comme poudre de mine, mais ce n'était qu'une substance frauduleuse composée d'une certaine quantité de nitrate de soude du commerce, mélangée avec de la poussière de charbon et du sable quartzueux et micacé.

Voici les corps dont je l'ai trouvée composée :

Eau hygrométrique . . . . .	0,0246	Chlorure de potassium . . . . .	0,0151
Sable quartzueux et micacé . . . . .	0,0296	Chlorure de sodium . . . . .	0,00448
Charbon . . . . .	0,0878	Nitrate de soude . . . . .	0,8275
Sulfate de potass . . . . .	0,01092		1,0000

*Analyses d'un combustible fossile.*

Les combustibles ont été analysés par la méthode exposée par M. Berthier, dans son *Traité des essais par la voie sèche*. Leur composition est indiquée dans le tableau suivant :

MATIÈRES	LIGNITE	COMBUSTIBLE	COMBUSTIBLE	HOUILLE
	n° 1	minéral n° 2	minéral n° 3	n° 4
Eau hygrométrique . . . . .	0,185			
Matières volatiles . . . . .	0,375	0,5225	0,352	0,080
Charbon fixe . . . . .	0,315	0,4625	0,588	0,335
Cendres . . . . .	0,125	0,0150	0,060	0,585
	1,000	1,0000	1,000	1,000
<i>Composition des cendres.</i>				
Silice . . . . .	0,0309	"	0,0400	"
Alumine . . . . .	0,0190	"	0,0103	"
Oxyde de fer . . . . .	0,0130	"	0,0060	"
Chaux . . . . .	0,0036	"	0,0024	"
Sulfate de chaux . . . . .	0,0566	"	"	"
Magnésie . . . . .	"	"	0,0013	"
	0,1222	"	0,0600	"
<i>Composition du combustible.</i>				
Eau hygrométrique . . . . .	0,1850	"	"	"
Silice . . . . .	0,0300	"	0,0400	"
Alumine . . . . .	0,0190	"	0,0103	"
Oxyde de fer . . . . .	0,0130	"	0,0060	"
Carbonate de chaux . . . . .	0,0064	"	0,0043	"
Sulfate de chaux . . . . .	0,0666	"	"	"
Carbonate de magnésie . . . . .	"	"	0,0026	"
Matières volatiles bitumineuses . . . . .	0,3722	"	0,3483	"
Charbon fixe . . . . .	0,3150	"	0,5380	"
	0,9972	"	1,0000	"
<i>Essai par la litharge.</i>				
	gr.	gr.	gr.	gr.
Plomb obtenu . . . . .	15,48	25,85	27,035	13,000
Charbon total . . . . .	0,455	0,7602	0,795	0,382
Charbon correspondant aux ma- tières volatiles . . . . .	0,140	0,2977	0,207	0,047
Pouvoir calorifique . . . . .	3560	5945	6218	2990

Le n° 1 est un lignite qui provient de l'Isser. Il a été recueilli près d'Hadjar-Roum (province d'Oran), sur un affleurement qui se trouve dans le terrain tertiaire moyen. Il est compacte, mais sa surface s'écaille comme du bois exposé aux rayons du soleil. Au centre de quelques échantillons, on distingue de légères veinules de combustible d'un beau noir brillant comme le jayet.

Ce lignite brûle difficilement et répand en même temps une odeur âcre et pénétrante, comme celle qui distingue presque tous les lignites.

Par la distillation, il donne lieu, sans se boursouffler, à une huile qui est légèrement alcaline.

Le n° 2 est un lignite recueilli dans les environs de Djigelly (province de Constantine). Il a été remis au laboratoire par le chef du bureau arabe d'Alger. Il est d'un beau noir, brillant comme la résine; sa cassure est conchoïde; mais, comme il est pris à la surface du sol, il est très-friable. Il laisse dégager par la combustion une grande quantité de matières volatiles qui s'enflamment avec facilité. L'odeur qui se dégage pendant la combustion n'est point désagréable comme celle qui distingue les lignites ordinaires, mais elle se rapproche au contraire de celle que produit le benjoin en brûlant. Ce combustible appartient probablement à la classe des bitumes minéraux solides.

Soumis à la dissolution, il se ramollit et s'agglutine en se boursoufflant considérablement, il donne alors naissance à un coke très-léger à éclat métallique d'acier.

Le n° 3 est un échantillon de combustible minéral provenant de Boghar. Les fragments sont tous exempts de gangue; ils ont un éclat vif et brillant comme la résine. Ils brûlent facilement en produisant une flamme blanche et allongée; il se dégage en même temps une fumée noire et une odeur qui rappellent celle de la houille. A la distillation, les fragments se ramollissent, s'agglutinent et se boursoufflent en produisant un coke gris perlé très-tenace. Cette matière combustible se trouve dans les fentes irrégulières que présentent les marnes schisteuses de Boghar. Comme ces fentes n'ont aucun rapport avec la stratification des marnes, il est probable qu'elles ont été remplies par des fumarolles bitumineuses dues à l'action d'une roche éruptive, ainsi qu'on l'observe à Teniest-el-Haad.

Le n° 4 est une houille qui a été recueillie par un Arabe dans un oasis, à 250 lieues sud d'Alger; elle a été remise au laboratoire par M. le colonel d'état-major, chef du bureau arabe d'Alger.

Cette houille est d'un beau noir et possède l'éclat brillant de la résine; elle brûle avec facilité, se ramollit et s'agglutine en donnant naissance à un coke dur et perlé qui a une couleur gris d'acier. Ses cendres sont mêlées d'argile et de quartz.

*Essai d'une pyrite de fer pour argent.*

Cette pyrite, qui a été recueillie dans les environs de Boghar (province d'Alger), est formée d'une réunion de cristaux cu-

briques qui se détachent facilement sous la pression des doigts. Sa couleur est celle du jaune laiton.

Je l'ai essayée pour argent en la fondant avec du nitre et de la litharge dont je suis arrivé à déterminer les proportions en répétant plusieurs fois l'opération.

Le plomb obtenu a été passé ensuite à la coupelle et a laissé un bouton d'argent dont le poids s'est élevé à 0,004 pour 20 grammes de pyrite employés à l'essai; c'est donc une richesse de 20 grammes d'argent pour 100 kilogrammes de cette pyrite qui d'autre part n'est point aurifère.

*Essai d'une galène pour argent.*

Cette galène provient de Bou-Chemma dans la concession des mines de cuivre pyritueux de l'Oued-Allah, près de Ténès. Elle est à larges facettes brillantes.

Je l'ai débarrassée de sa gangue par le lavage, afin d'opérer sur du schlick pur et déterminer d'une manière précise la teneur en argent du sulfure de plomb.

L'essai a été fait sur 30 grammes de schlick mélangés à 9 grammes de limaille de fer et 5 grammes de bôrax.

Le culot de plomb que j'ai retiré de cet essai pesait 19<sup>g</sup>,50; c'est donc un rendement de 65 p. 100 de schlick.

Ce même culot de plomb, passé à la coupelle, a laissé un bouton d'argent pesant 0,014 ou de 46<sup>g</sup>,66 d'argent pour 100 kilogrammes de schlick.

## APPENDICE.

AU MÉMOIRE INTITULÉ : ESSAI DE PÉTROLOGIE COMPARÉE (1).

Par M. DUROCHER.

Dans mes recherches sur les roches ignées, j'ai omis par mégarde de mentionner les études de M. Bunsen sur les roches et les phénomènes volcaniques de l'Islande (2) ; mon attention ayant été nouvellement appelée sur ce beau travail, qui n'a, du reste, qu'un rapport très-indirect avec le mien, je vais ajouter quelques lignes pour indiquer en quoi consiste la relation entre nos mémoires. Je puis affirmer tout d'abord que les points essentiels de mes recherches sur les roches, tels qu'ils sont indiqués par les titres des cinq parties de mon mémoire, n'ont rien de commun avec les études dont l'habile chimiste de Heidelberg a publié les résultats dans les *Annales de chimie et de physique* (3<sup>e</sup> série, t. XXXVIII, p. 215), et qui ne s'appliquent qu'à un ordre particulier de roches, savoir aux formations volcaniques de l'Islande, et par extension à celles de la haute Arménie. M. Bunsen ayant analysé divers frag-

(1) Voir page 217 de ce volume.

(2) Pour ne pas élargir le cadre de mon mémoire, qui n'offre qu'un tableau sommaire de mes études, j'ai dû m'abstenir de mentionner bien des travaux minéralogiques exécutés en Allemagne, et qui n'ont pas de rapport direct avec le sujet dont je me suis occupé : telles sont, par exemple, les recherches si variées de M. Scheerer sur les minéraux norwégiens et notamment sur ceux contenus dans la syénite zirconienne, recherches qui l'ont conduit à attribuer un rôle important à l'action de l'eau dans la solidification du granite.

ments de roches trachytiques et de roches pyroxéniques de l'Islande a choisi ; parmi les compositions qu'il a obtenues, deux types qui lui ont servi de termes de comparaison ; et tous les échantillons qui lui ont offert des compositions différentes ont été envisagés par lui comme provenant de mélanges, dans des proportions diverses, de la masse trachytique et de la masse pyroxénique (1) ; il a même formé un tableau dont il s'est servi pour comparer les compositions déterminées par le calcul de celles que lui a fournies l'analyse de diverses roches volcaniques, et il est arrivé à constater des similitudes remarquables.

J'admets sans difficulté que dans les formations ignées il peut se trouver des mélanges de types différents, et la production de ces mélanges se conçoit aisément d'après les vues que j'ai exposées sur l'émission des roches ; néanmoins je pense que M. Bunsen a donné à son hypothèse des mélanges de roches une extension trop générale ; en effet, parmi les variétés de roches pyrogènes qui s'écartent des types normaux, et forment des sortes de dégradations, beaucoup me paraissent, comme je l'ai montré dans mon mémoire, être les produits de phénomènes de liquation qui se sont opérés au sein de la masse liquide ou pâteuse, et l'ont partagée en des composés différents. Cette manière de voir résulte d'observations effectuées, non pas seulement par moi, mais par divers savants ; je citerai MM. Abisch, Delesse et Ch. Deville comme ayant publié des faits qui viennent à l'appui. Je rappellerai de plus que, entre les roches acides et les roches basiques, il y a des in-

(1) Quant à la réunion de toutes les roches volcaniques en deux groupes, le *groupe trachytique* et le *groupe pyroxénique*, je l'ai indiqué il y a déjà longtemps. (Voir les *Annales des mines*, 1841, 2<sup>e</sup> série, t. XIX, p. 574.)

termédiaires que j'ai attribués à la zone de contact des deux nappes fluides existant au-dessous de la croûte terrestre.

D'ailleurs, M. Bunsen me paraît avoir pris pour type normal des masses trachytiques, non pas la roche principale, mais une variété extrême, que l'on pourrait nommer *ultrasiliceuse* : il lui assigne, en effet, une teneur en silice égale à 76,67, c'est-à-dire supérieure à celle de l'immense majorité, non-seulement des grandes masses trachytiques, mais des granites eux-mêmes ; ce qu'il choisit pour type ne me paraît pas se rapporter aux trachytes mêmes, mais se rapprocher des porphyres trachytiques, des perlites et des obsidiennes, c'est-à-dire des variétés aphaniques ou compacto-vitreuses de la famille trachytique, variétés qui se distinguent, comme on peut le voir dans mon tableau de la composition élémentaire des roches, par leur richesse exceptiennelle en silice. Les caractères minéralogiques eux-mêmes me semblent confirmer ce rapprochement, car M. Bunsen dit au commencement de son mémoire (p. 216), que « ces roches sont, en général, amorphes, ou présentent du moins tous les caractères d'une parfaite homogénéité. » M. Bunsen cite, du reste, des échantillons qui lui ont offert des teneurs en silice notablement moindres, et qui me paraîtraient se rapprocher davantage du trachyte normal ; mais il les envisage comme des mélanges de masses trachytiques et de masses pyroxéniques.

Bien que les formations trachytiques de l'Islande paraissent être, en général, plus siliceuses que celles d'autres contrées, il m'eût semblé plus rationnel de prendre pour type de composition du trachyte normal, non une variété extrême, mais une composition moins différente de celle des roches trachytiques les plus

répandues dans la plupart des régions volcaniques. Alors, à la vérité, il n'y aurait plus eu lieu de supposer tous ces mélanges de roches trachytiques et de roches pyroxéniques dans les proportions les plus variées.

Du reste, la manière d'interpréter les inégalités de composition des roches ignées de la même famille ne constitue qu'un simple détail de mon mémoire ; ces inégalités ont pu être le résultat de différentes causes, soit de phénomènes de liquation, soit de mélanges ; et ce dernier cas paraît avoir lieu plus particulièrement dans les formations modernes, qui sont fort souvent le produit du remaniement ou de la refonte de roches ignées préexistantes, comme je l'ai fait observer dans mon mémoire, en citant des faits sur lesquels M. Abisch a été l'un des premiers à appeler l'attention.

Bref, j'admets la possibilité du mélange de diverses masses pyrogènes, mais sans attribuer à cet ordre de faits le caractère d'universalité qui forme le trait spécial du mémoire de M. Bunsen. Quant aux expériences ingénieuses qu'il a exécutées pour expliquer la composition des fumarolles et les effets des geysers de l'Islande, ainsi que l'origine des minéraux hydrosilicatés, elles me paraissent jeter un grand jour sur ces phénomènes et sur le mode de formation des roches amygdaloïdes zéolithiques. Toutefois, je suis porté à croire par mes propres observations sur le gisement des zéolithes que ces substances, de même que d'autres groupes de minéraux, ont pris naissance dans des conditions très-diverses ; mais ce n'est pas ici le lieu de discuter cette question.

En résumé, les points essentiels de mon travail sur les roches d'origine ignée sont tout à fait distincts et indépendants des recherches, du reste fort intéres-

santes, de M. de Bunsen sur les formations volcaniques de l'Islande : d'ailleurs, je dois faire observer que, malgré ma position dans un centre de facultés, je me trouve privé des publications périodiques allemandes concernant la minéralogie et la géologie ; aussi je me réserve de répondre ultérieurement aux observations qui pourraient m'être adressées personnellement, ou être insérées dans des recueils français au sujet de mon dernier travail sur les roches.

---



---

### NOTICE

SUR UNE MACHINE SOUFFLANTE A PISTONS PLONGEANTS,  
POUR L'USAGE DES FOYERS MÉTALLURGIQUES ET L'AÉRAGE DES MINES,  
CONSTRUITE A L'USINE DE HARAUCOURT (ARDENNES),

Par M. FURIET, ingénieur des mines.

Cette machine, quoiqu'elle ne présente pas d'éléments mécaniques nouveaux, offre une combinaison heureuse, comme on va voir, pour les usages des usines métallurgiques et l'airage des mines (1).

Indépendamment de la machine qui fonctionne depuis un an à Haraucourt, et qui donne le vent à deux hauts fourneaux et à un cubilot, sans aucun embarras ou arrêt, quatre autres machines ont été successivement établies, qui toutes fonctionnent convenablement :

Une à l'usine de Lavaure près Mussidan (Dordogne), pour un haut fourneau et plusieurs feux de forge ;

Une à l'usine de Maucourt (Meuse), pour un haut fourneau ;

Une à l'usine de Stenay (Meuse), pour deux hauts fourneaux ;

Enfin une à l'usine du Hurtault (Ardennes), pour un haut fourneau.

Cette machine ayant réalisé dans ces diverses usines tous les avantages qu'on en espérait, il est intéressant d'en exposer les détails. Ils feront comprendre les facilités d'établissement et d'entretien qu'elle présente.

---

(1) Elle est brevetée pour quinze ans, du 5<sup>o</sup> octobre 1855.

Principe  
de la machine.

Le principe essentiel de l'appareil consiste dans l'emploi, pour machine soufflante, d'un piston plongeant, analogue au plunger-pump des pompes anglaises.

Conditions  
des machines  
en fonte  
ordinaires.

Les machines soufflantes en fonte ordinaires ont pour organe essentiel un grand cylindre alésé en fonte, dans lequel un piston construit comme celui des machines à vapeur, produit successivement l'aspiration et le refoulement de l'air. Ces cylindres fonctionnent à double effet; la tige du piston est fixée à l'extrémité d'un balancier dont l'autre extrémité est commandée par le mouvement d'une roue hydraulique ou par celui du piston d'une machine à vapeur.

Ce système, déjà un peu ancien, est remplacé dans des constructions récentes par l'emploi d'un cylindre horizontal dont la tige est commandée directement par une roue hydraulique à l'aide d'une bielle et d'une manivelle, ou porte sur son prolongement même le piston à vapeur, si c'est la vapeur qui sert de moteur.

Dans l'un et l'autre cas, une machine soufflante un peu puissante exige l'emploi d'un cylindre en fonte d'un grand volume, coulé sur trois ou quatre centimètres d'épaisseur, et dont l'alésage est très-coûteux et exige un outillage spécial qui ne se rencontre que dans de grands ateliers de construction. Ceux-ci sont souvent fort éloignés des établissements métallurgiques auxquels les appareils soufflants sont destinés, et c'est un inconvénient à plusieurs égards.

Une machine soufflante ordinaire à balancier a deux garnitures : celle du piston dont on ne peut vérifier l'état sans démontage, et pour laquelle il est difficile par suite d'obtenir toujours une jointure exacte; et celle de la boîte à étoupes que traverse la tige du piston, laquelle est mieux placée pour sa vérification et son entretien.

Une machine dont le cylindre est placé horizontalement, dispense du balancier et de ses accessoires, et supprime les frottements inhérents aux mouvements de ces diverses pièces; mais pour que le cylindre ne se déforme pas sous le poids du piston, on est amené le plus souvent à en prolonger la tige en dehors du cylindre et à la soutenir à sa sortie par une seconde boîte à étoupes.

Ce système emploie donc trois garnitures, au lieu de deux qui suffisent quand la tige est guidée en avant, ce qui occasionne un nouveau frottement qui vient en déduction des avantages qu'il présente d'ailleurs sur les machines à balancier.

Les avantages qu'on a cherchés et réalisés dans la nouvelle machine sont les suivants :

Avantages  
de la nouvelle  
machine.

1° De supprimer l'alésage des cylindre, ce qui amène une grande facilité et de l'économie dans la construction;

2° De n'employer qu'une garniture comme dans les pompes à piston plongeant, au lieu des deux garnitures des machines à balancier, et des trois qu'exige la machine horizontale. Cette circonstance est plus avantageuse encore pour une pompe à fouler l'air que pour une pompe à fouler l'eau, l'air étant plus difficile que l'eau à maintenir par les garnitures; de plus, le cylindre-piston en descendant rend l'accès de l'air sur la garniture moins facile, et celle-ci a d'autant moins besoin d'être serrée;

3° De mettre la garniture très à portée pour en vérifier l'état, la serrer à propos et la graisser;

4° Par suite de l'emploi d'une seule garniture moins serrée que celle des pistons ordinaires, de fouler l'air avec moins de frottements, ce qui est avantageux pour

l'effet utile de la machine, et sous le rapport de l'entretien des pièces frottantes.

Description.

L'appareil, quant à ses détails, est extrêmement simple.

Un cylindre en fonte tourné extérieurement, fermé en bas par un fond plein, est successivement élevé et abaissé dans un second dont le diamètre intérieur excède un peu le diamètre extérieur du premier.

Le contour du cylindre tourné, qui naturellement est creux, frotte contre un large anneau de cuir bourré d'étoupes serré contre le rebord du cylindre-enveloppe et un anneau de fonte posé dessus.

Douze boulons à écrous permettent de régler à volonté le serrage.

Le cylindre extérieur est fixé sur une plaque de fonte qui porte deux soupapes, l'une s'ouvrant de bas en haut pour l'aspiration de l'air extérieur, l'autre de haut en bas pour le refoulement de l'air dans la conduite.

On doit employer, comme on le verra, plusieurs cylindres semblables; leur mouvement est commandé par l'arbre de l'usine, ou par un arbre tournant spécialement disposé à cet effet; il doit faire autant de tours qu'on veut obtenir de coups de piston par minute.

Les cylindres lancent l'air dans une conduite commune fermée à une extrémité par une plaque, et ouverte à l'autre extrémité vers la buse de sortie. Si la machine sert à un haut fourneau à air chaud, il faut faire circuler la conduite du côté où l'air se dégage dans un appareil à air chaud.

La machine fonctionne à simple effet, c'est-à-dire que le cylindre-piston ne foule l'air qu'en descendant.

Excentrique.

Le va-et-vient du piston s'obtient, pour chaque cylindre, par un excentrique fixé sur l'arbre. Entre les divers moyens de l'obtenir, on a choisi l'excentrique,

parce qu'il peut facilement se fixer sur l'arbre à telle place qu'on veut et aussi s'en détacher commodément. Cette disposition d'excentrique a d'ailleurs sur l'emploi des manivelles l'avantage d'éviter de couder l'arbre, ce qui diminue les chances de rupture de la seule pièce dont le bris peut entraîner l'arrêt de la machine.

La roue excentrique est engagée entre deux plaques de fonte latérales, tandis que deux autres plaques contre lesquelles elle frotte en haut et en bas, réunissant les deux autres et complétant la cage, sont disposées à la distance du diamètre de la poulie excentrique. La tige du piston interrompue au bas de la cage est prolongée au-dessus; elle glisse dans un guide placé sur la charpente, et maintient le mouvement de la tige et de la cage.

Pour que la cage puisse s'élever et s'abaisser sans difficulté, il faut qu'elle porte de chaque côté une coulisse allongée qui, embrassant l'arbre dans sa largeur, descende et monte successivement avec la cage suivant le mouvement du piston.

Un second principe de la machine, presque aussi essentiel et avantageux que l'emploi des pistons plongeurs, consiste à réduire les cylindres à des dimensions commodes et peu coûteuses pour une fabrication courante, sur un modèle uniforme, et à employer plusieurs cylindres pour obtenir dans chaque cas la quantité d'air nécessaire, avec un vent constant sans récipient d'air.

Quand, avec les machines ordinaires, où on emploie un seul cylindre à double effet, on veut obtenir un vent régulier, il faut joindre un réservoir d'air qui efface, à la tuyère, l'effet des coups de piston. Ces réservoirs sont établis sur différents systèmes. Dans les Ardennes, ils ont habituellement la forme d'une chaudière à va-

Multiplication  
des cylindres.

peur. Ce récipient, pour sa construction, sa pose et à raison de l'excédant de tuyaux que son emploi réclame, entraîne d'ordinaire une dépense de 2.000 fr. environ. Avec trois et mieux avec quatre cylindres, on obtient un vent régulier par le simple croisement des mouvements des excentriques, sans établir de réservoir d'air.

Il est sensible, en effet, que si chaque cylindre donne un coup de piston par seconde, et qu'on ait quatre cylindres, les pulsations ayant lieu à chaque quart de seconde ne se sentiront pas.

C'est ce qui a été complètement vérifié par l'expérience. Ainsi, à Haraucourt, un manomètre placé près des cylindres, entre ceux-ci et l'appareil à air chaud, n'éprouvait que des variations presque insaisissables dans la hauteur du mercure. A cet égard, les prévisions ont été dépassées, d'autant plus que le passage ultérieur de l'air à travers l'appareil à air chaud achevait encore la régulation du vent.

Le croisement des excentriques produit une régularité des efforts autour de l'arbre qui dispense de l'emploi d'un volant; et le poids de chaque piston étant directement utilisé au refoulement de l'air, le jeu d'un cylindre considéré isolément résiste à peu près uniformément au mouvement de l'arbre dans les différentes positions du piston.

Le volume d'air foulé dans chaque cylindre pour un diamètre extérieur du cylindre plongeant un peu supérieur à 0<sup>m</sup>,64 et une course de 0<sup>m</sup>,50 est de 10 mètres cubes par minute, volume engendré avec un seul coup de piston par seconde.

Pour obtenir, dans la même condition de vitesse de l'arbre moteur, 20, 30, 40 mètres cubes à la minute, on emploie 2, 3, 4 cylindres.

Si l'on ne fait donner que 40 coups de piston par minute, il faudra 3 cylindres pour obtenir 20 mètres cubes, etc.

Il résulte un autre grand avantage de la multiplicité des cylindres. Supposons, pour en rendre compte, que la machine soufflante soit appliquée à un haut fourneau. Avec une machine soufflante ordinaire, on est obligé, en cas d'accident à la machine, de retirer le vent au grand détriment du haut fourneau, et au risque d'y produire un accident ou un arrêt, à moins qu'on n'ait une machine de rechange prête à fonctionner convenablement, ce qui est quelquefois difficile et toujours coûteux.

Avec plusieurs cylindres à pistons plongeants, l'accident, qui est le plus souvent partiel, n'affecte qu'un cylindre, ne prive le fourneau que de 10 mètres cubes d'air par minute, perte qu'on peut encore atténuer en activant le mouvement des cylindres qui sont restés en état de service. Ainsi le roulement du haut fourneau ne sera pas compromis, d'autant plus que chaque cylindre, occupant peu de place et étant d'un prix peu élevé, on en pourra toujours avoir facilement un de rechange qu'on fera entrer immédiatement en action.

La réparation d'un cylindre sera toujours très-facile et de courte durée; en effet, tous ces cylindres étant les mêmes, avec quelques pièces de rechange on pourra pourvoir aux avaries de l'un ou de l'autre.

Chacun des appareils qui composent une machine soufflante à pistons plongeants étant susceptible de se décomposer en pièces identiques, en cas d'avaries à un cylindre, les pièces non avariées serviront de rechange pour les autres. Le mode de division a d'ailleurs été étudié pour la plus grande facilité, et par conséquent

Facilité  
des réparations.

l'économie de la construction, comme en vue de la commodité du démontage et de l'entretien.

La fondation est aussi très-simple. On peut employer celle que représente le dessin (Pl. IX, fig. 14). La conduite commune est engagée dans une rainure; elle repose sur son fond. Cette rainure est garnie de pierres de taille au fond et sur les bords. Ces bords supportent les fonds des cylindres extérieurs qui y sont solidement fixés.

Si un certain nombre de cylindres disposés l'un contre l'autre sous l'axe qui les commande convient pour une machine soufflante de haut fourneau, il convient aussi pour des feux d'affinerie ou pour des cubilots, naturellement dans ce cas, en disposant l'appareil pour n'avoir que la faible pression de vent que réclame l'usage des cubilots.

Cette même machine peut être utilisée pour activer tous les foyers métallurgiques dans lesquels il est utile de projeter de l'air.

Un seul cylindre avec une conduite un peu longue sera particulièrement d'un bon usage pour la maréchalerie. Au lieu d'un seul cylindre, il sera mieux, toutefois, pour la régulation, d'en employer deux au moins de plus petite dimension et susceptibles simultanément du même effet. Il faut ajouter que ce système de machine soufflante, dont les éléments sont mis en mouvement par un arbre de rotation, peut être commandé par toute espèce de machine à vapeur primitivement destinée ou non à cet usage, ce qui est quelquefois commode.

Les cinq machines qui ont été successivement établies, et qui donnent le vent à sept hauts fourneaux, présentent, dans l'usage constant qu'on en fait, les résultats qu'on en a attendus. Mais, en particulier,

l'installation de la machine à six cylindres pour deux hauts fourneaux à Stenay, a présenté des avantages saillants. L'un des deux hauts fourneaux n'a pas été mis hors feu pendant le déplacement de l'ancienne machine et la pose de la nouvelle, qui devait être établie à la même place. Cette opération n'a duré que onze jours, après lesquels on a donné le vent. Le roulement du fourneau a recommencé, et la machine n'a jamais eu aucun dérangement depuis.

On aurait désiré mesurer exactement à Haraucourt, par exemple, le rendement de cette machine; mais la nécessité où l'on se trouve de l'y faire marcher constamment n'est guère compatible avec une mesure exacte. La machine, qui se composait d'abord de quatre cylindres, a été portée à six, qui fonctionnent à quarante coups par minute. Elle est mise en mouvement par une machine à vapeur.

Pour donner à l'arbre la vitesse nécessaire, on doit maintenir la vapeur dans la chaudière à  $3 \frac{1}{2}$  atmosphères de pression effective. Le maximum fixé pour cette pression est de  $4 \frac{1}{2}$  atmosphères.

La machine est à détente variable par degrés fixes. On ignore à quelle fraction de course ces degrés de détente correspondent. On a dû, pour faire faire à l'arbre quarante tours à la minute, employer le degré de détente indiqué par le constructeur pour huit chevaux-vapeur (pression maximum).

Ainsi la force que la machine communiquait à l'arbre

$$\text{était : } 8 \text{ ch.-v. } \times \frac{3 \frac{1}{2}}{4 \frac{1}{2}} = 6,22 \text{ ch.-v.}$$

La machine donnait alors le vent à un haut fourneau où l'air entrant à  $300^\circ$  par deux buses de  $0^m,04$  de

Rendement  
de la machine.

diamètre et sous une pression de 0<sup>m</sup>,05 de mercure. Elle donnait aussi le vent à un cubilot, à la température ordinaire, 12° environ, sous la même pression et par deux orifices également circulaires de 0<sup>m</sup>,055 de diamètre.

On a employé, pour mesurer le travail utile correspondant à la sortie de l'air par ces quatre orifices, la formule indiquée dans le *Traité d'hydraulique* de M. d'Aubuisson, 2<sup>e</sup> édition, page 601, pour mesurer le travail utile d'un jet d'air par une tuyère.

Supposant que l'air n'est pas chauffé et que la température est de 12°, M. d'Aubuisson indique pour le travail moteur la formule  $4.546.800 d^2 h \sqrt{h}$ , qui exprime le nombre de kilogrammes déplacés d'un mètre en une seconde, le diamètre  $d$  de l'orifice de sortie étant exprimé en mètres, ainsi que la hauteur manométrique  $h$  du mercure.

L'air entrant à 500° dans le haut fourneau et se dilatant, comme on sait, de 0,004 par degré de température, approximativement, il fallait introduire sous le

radical le coefficient de correction  $\frac{1 + 0,004 \times 500}{1 + 0,004 \times 12}$

soit sensiblement  $1 + 0,004 \times 288$ .

Pour simplifier le calcul au lieu de mesurer  $d$  et  $h$  en mètres, on les a mesurés en centimètres.

Le nombre de kilogrammes déplacés d'un mètre correspondant à l'écoulement par chaque orifice a été évalué approximativement, par la formule

$$0^k,45 d^2 h \sqrt{h (1 + 0,004 \times 288)},$$

pour les deux orifices du haut fourneau, et par celle-ci :

$$0^k,45 d^2 h \sqrt{h}.$$

pour les deux orifices du cubilot,

On est ainsi arrivé à estimer le travail utile à 4,70 chevaux-vapeur, et le rendement de la machine à 0,75; chiffre considérable, puisqu'on n'admet guère, pour les meilleures machines soufflantes ordinaires en fonte, qu'un rendement de 0,50 et souvent moins.

En donnant ce rendement nous indiquons les éléments dont nous disposons pour l'évaluer; ils laissent quelque incertitude; mais d'après la simplicité de l'appareil et le peu de parcours des tuyaux, ce résultat reste vraisemblable.

Cet appareil soufflant, en outre de ses usages dans la métallurgie, pourra être utilisé pour l'airage des mines. Pour cet emploi, il importe, si la mine a deux ouvertures et que la machine soufflante serve en supplément de l'aérage naturel, de pouvoir modifier facilement la quantité d'air injectée, puisque les conditions de l'airage d'une mine se modifient presque constamment d'après les circonstances de la température extérieure.

Avec les machines ordinaires, on est ainsi souvent amené, pour lancer peu d'air, à mettre en mouvement un mécanisme compliqué et puissant; on dépense beaucoup de force pour produire peu d'effet.

On tirera un très-bon parti de plusieurs cylindres à pistons plongeants dont on pourra mettre en mouvement, suivant le besoin, un nombre plus ou moins considérable. Alors, les résistances passives et les pertes de force qu'elles entraînent, resteront en proportion de l'effet produit, au grand avantage de la force dépensée et du combustible brûlé, si cette force est donnée par une machine à vapeur.

S'il s'agit d'aérer des travaux très-profonds établis en plaine, ce qui est le cas des houillères du nord de

Airage  
des mines.

la France et de la Belgique, il convient d'introduire toujours autant d'air que possible dans les travaux. Dans ce cas il sera avantageux d'avoir à disposition un genre de machine d'une installation rapide, facile et peu coûteuse.

---



---

## BULLETIN.

---

PREMIER SEMESTRE 1857.

### Mines de fer, de zinc, de plomb et de cuivre du Guipuzcoa (Espagne).

L'industrie commence à se préoccuper sérieusement de l'exploitation des richesses métallurgiques, qui existent dans la province du Guipuzcoa.

Déjà plusieurs sociétés Belges et Françaises ont envoyé sur les lieux des ingénieurs habiles, pour reconnaître les mines exploitées jusqu'à ce jour par les habitants du pays; ordre leur a été donné de traiter de divers gisements avec les propriétaires et d'agir auprès de l'administration supérieure afin de poursuivre la concession des mines qu'ils pourraient découvrir. Jusqu'à ce moment l'exploitation avait été conduite sans intelligence et sans esprit de suite.

*Fer.* — Le minerai de fer est abondant en Guipuzcoa et d'une extraction facile; bien que très-commun, ce minerai n'est guère exploité que dans le voisinage des hauts-fourneaux, permettant de le conduire facilement aux fonderies. On l'emploie mélangé avec un minerai très-riche, venant de Somorostro, petit port de la Biscaye.

*Zinc.* — On trouve en grande quantité le minerai de zinc. Le sulfure de zinc ou blende abonde dans nos montagnes; il contient souvent un peu d'argent. Plusieurs mines de blende sont exploitées du côté d'Oyarzun. La calamine ou carbonate de zinc se rencontre principalement dans le district de Tolosa. Ces minerais ne peuvent être exploités partout avec bénéfice. Nous n'avons pas de fourneaux pour le traitement du zinc dans les provinces Basques. Il faut donc expédier à l'étranger, en Belgique et en Angleterre, les minerais recueillis. Le défaut de charbon de terre de bonne qualité a empêché, jusqu'à ce jour, l'établissement de ces fourneaux en Guipuzcoa. Le mauvais

état des routes fait négliger les blendes ne produisant pas 40 p. 100 et la calamine rendant moins de 25 p. 100. Les frais d'extraction et de transport de ces minerais absorberaient leur valeur et au delà sur les marchés étrangers. Généralement la blende donne de 40 à 60 p. 100 et la calamine de 30 à 45 p. 100.

Une compagnie Belge représentée ici par deux ingénieurs espagnols, a établi un dépôt de minerai de zinc au Passage. Cette société possède plusieurs mines. Elle traite aussi avec les propriétaires à qui elle achète le minerai vendu au Passage. La blende est payée de 35 à 40 francs la tonne et la calamine de 40 à 52 francs. La même compagnie a fait construire des hauts fourneaux à Aviles dans les Asturies, où elle est propriétaire d'un riche gisement de charbon de terre, lui permettant d'utiliser avantageusement une portion de ces minerais. La compagnie Belge a expédié l'an dernier à Anvers, 2.100.000 kil. de minerai presque tout par navire français, et à Aviles, par bâtiments Espagnols, 600.000 kil. Elle paye le fret pour Anvers de 23 à 24 fr. par tonneau et pour Aviles 9<sup>f</sup>,50.

*Plomb.* — Il y a aussi dans la province des mines de plomb dont plusieurs produisent en même temps de l'argent. Un droit de 3 réaux (20 centimes) par quintal frappe le minerai de plomb à la sortie, s'il contient moins d'une once d'argent par quintal; dans le cas contraire l'exportation en est prohibée. Le minerai de plomb se présente ici le plus souvent en bourses et rarement en filons, ce qui en rend l'extraction assez difficile et assez coûteuse.

*Cuivre.* — L'existence du cuivre a été constatée sur plusieurs points. Quelques mines sont exploitées, mais le minerai en est trop pauvre pour donner des résultats satisfaisants.

— Si l'exploitation des mines continue à prendre de l'importance, nos navires trouveront ici de nombreux chargements pour le Nord. L'industrie métallurgique manque de capitaux pour prospérer. Les propriétaires de mines ne disposent en général que de faibles ressources et n'exécutent le plus souvent que les travaux indispensables, afin de ne pas perdre leurs droits de concession.

(Extrait d'une lettre adressée à M. le Ministre des affaires étrangères par M. E. VIGENT, consul de France à Saint-Sébastien, 6 mai 1857.)

### Mine de plomb argentifère du Bottino.

Un des principaux intéressés à la mine de plomb argentifère du Bottino, a bien voulu me communiquer les renseignements suivants sur son exploitation qui est en voie de progrès.

Cette mine est située à 5 milles environ nord-est de Pietra-Santa, sur la montagne qui lui a donné son nom et qui appartient à la chaîne isolée des Alpi.

Le minerai est d'abord soumis à un triage, pulvérisé sous des cylindres; puis isolé des corps étrangers par un lavage, exposé à un feu ardent et placé enfin dans les fours de fusion d'où l'on retire le plomb d'œuvre que l'on coupelle pour en séparer l'argent. Ces divers travaux n'offrent en eux-mêmes rien de particulier.

Les proportions du plomb dans le minerai, sont de 25 p. 100, et celles de l'argent par rapport au plomb de 4 p. 1.000. Le rendement général de la dernière année, s'est élevé à 500.000 livres pesant de plomb et à 2.000 livres d'argent.

La mine de Bottino est la seule de son espèce en exploitation dans le Grand-Duché de Toscane, mais des terrains de même formation font présumer qu'il en existe encore d'autres semblables, qui n'attendent pour être mises en rapport que des capitaux.

(Extrait d'une lettre adressée à M. le Ministre des affaires étrangères par M. SENEVIER, consul de France à Livourne, 16 avril 1857.)

### Mines de cuivre de Cobija en Bolivie.

Le département de Lamar, qui comprend dans son immense territoire tout le littoral de la Bolivie, est fermé, dans une longueur d'environ 50 lieues, par un fort chaînon de montagnes, appartenant à la Cordillère des Andes. Les bases de ces montagnes situées entre les bouches de Rio de Loa, vers le Pérou, et celles du Rio Salada, vers le Chili, se prolongent dans toute leur étendue, à une très-faible distance des grèves du Pacifique, près duquel elles décrivent une ligne parallèle. La hauteur de leurs pitons varie de 2 à 3.000 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces montagnes sont formées de roches primitives à travers lesquelles on rencontre des filons très-puissants de pro-

toxyde et de deutoxyde de cuivre, de cuivre gris, d'arsénite et de cuivre sulfuré pyriteux.

Depuis 25 ans, l'extraction du minerai de cuivre a occupé successivement en Bolivie, l'attention de plusieurs spéculateurs du Chili. Ces hommes plus entreprenants, plus industriels que les Boliviens, vinrent explorer en 1852 les points de Gatico et d'Huanillo, situés, le premier à une lieue, le second à deux lieues de Cobija. L'établissement de Gatico prit une certaine importance pendant quelques années; mais les Chiliens voulurent embrasser, en même temps que l'extraction, le grillage des minerais; ils disposaient de capitaux insuffisants; le grillage était imparfait; les mattes obtenues furent bientôt dépréciées, les établissements se trouvèrent abandonnés, et jusqu'en 1847, la Bolivie ne compta plus, sauf ses *barilla d'oruro*, parmi les pays producteurs. En 1847, un français, M. Latrille, consacra quelques fonds à reconnaître les pitons de Duendes. Une compagnie Anglaise explora Tocopilla. M. Le Maitre, autre français venu d'Iquique (Pérou), reprit les travaux anciens d'Huanillo. Le succès couronna les efforts de nos compatriotes, et bientôt, plusieurs habitants de Cobija, divers citoyens de la République Argentine et du Chili demandèrent des concessions. Le midi fut exploré comme le nord, et de nouveaux établissements créèrent ainsi dans ces pays déserts, une industrie qui s'étend, avec les chances certaines d'un heureux avenir, depuis Cerro dans le sud, jusqu'à Tocopilla dans le nord.

Plus tard, un Anglais fit opérer quelques fouilles dans l'intérieur du même département; il découvrit sur un point nommé San Bartholo, le cuivre à l'état natif. Le gisement de ces cuivres, exploités déjà du temps des Incas, est très-abondant, mais son éloignement du littoral (60 lieues à travers des déserts inhabités, privés de communications praticables pour des attelages), rendra toujours les produits de cet établissement peu profitables aux industriels anglais qui l'exploitent.

Aujourd'hui, les principaux établissements pour l'extraction des minerais sont, au nord de Cobija, vers le Pérou: Tocopilla, Duendes, Villa Vista, Punta Blanca, Huanillo, Banduria, Gatico, Higuera. Au centre, derrière Cobija, Las Tanas et Silota. Au sud, vers le Chili, Cerro, Mexillones, Gualaguala, Tames. Dans l'intérieur, désert et province d'Atacama, San Bartholo.

Mille ouvriers sont employés aux travaux des mines; leur

rendement a varié de 150 à 180.000 quintaux par an. En 1856, il a atteint le chiffre de 227.000 quintaux.

Cependant, cette industrie est encore à l'état d'enfance; l'eau potable manque sur tous les points du littoral; trois établissements sont seuls pourvus de machines destinées à distiller l'eau de mer, les autres sont contraints de venir s'approvisionner à Cobija, où l'eau coûte cinq réaux le quart d'hectolitre. L'extraction dans les galeries les plus profondes se fait encore à dos d'homme, et les minerais sont vendus, à l'état naturel, à des armateurs de Valparaiso qui les achètent comme frêt de retour; ces armateurs, qui sont français et anglais, les expédient tous pour l'Angleterre.

Le prix de ces minerais calculé sur la base d'un rendement moyen de 25 p. 100, est fixé à 3 piastres et 2 réaux le quintal, avec augmentation ou diminution, à raison d'un réal et quartillo, par centième en plus ou en moins. Le quintal de cuivre pur (non fondu) coûte ainsi 13 piastres (soixante-quinze francs). Aucun minerai inférieur au titre de 18 p. 100 n'est exporté en Europe. Le minerai qui ne renferme que de 10 à 12 p. 100 de cuivre est fondu dans les fourneaux de la côte de Chili.

La création de fourneaux à Cobija, centre des établissements miniers, peut apporter à cette industrie naissante une grande prospérité. Depuis un mois, une maison française est en instance auprès du gouvernement Bolivien, dans le but d'obtenir, pour quinze années, le privilège exclusif de l'achat des minerais et de l'établissement des fourneaux destinés à leur fonte et à leur affinage. Cette maison offre de très-grands avantages au trésor.

Depuis l'année 1854, l'extraction des minerais de cuivre ayant pris une grande extension, MM. Le Kellec et Bordes, négociants français de Valparaiso, s'engagèrent à les transporter. Ils envoyèrent charger ces minerais par de beaux bâtiments neufs construits en France et appartenant à leur maison. Plusieurs chargements se firent ainsi; mais bientôt MM. Le Kellec et Bordes s'aperçurent que ces minerais étaient très-durs, et qu'ils présentaient sur toutes leurs faces des aspérités anguleuses très-tranchantes, en sorte qu'ils causaient beaucoup de dommages à leurs bâtiments. Cette circonstance a déterminé depuis ces armateurs à donner d'autres retours à leurs propres na-

vires, et à envoyer prendre les minerais par les bâtiments étrangers qui leur sont consignés. Depuis huit mois, ce sont les navires anglais qui chargent tous les minerais de Cobija, destinés d'ailleurs tous à l'Angleterre.

(Extrait de lettres adressées à M. le Ministre des affaires étrangères par M. le comte Auguste de NOLLENT, consul de France à Cobija, les 11 et 13 mars 1857.)

### Résumé des rapports des inspecteurs des mines de charbon exploitées en Écosse pendant les années 1854 et 1855.

Les mesures prises depuis longtemps par le Gouvernement Britannique pour garantir la sûreté des ouvriers qui travaillent dans les mines, ont continué de produire les meilleurs résultats.

Des rapports des différents Inspecteurs chargés, pendant ces dernières années, de visiter les houillères exploitées en Écosse, il résulte une amélioration générale toujours croissante, non-seulement dans la diminution du nombre des accidents, mais aussi et surtout dans les moyens employés pour les prévenir.

En 1855, le chiffre des accidents était de 151 qui se répartissaient ainsi :

Dans les puits d'extraction . . . . .	34
Par chute du ciel . . . . .	67
Par explosion . . . . .	21
Par causes diverses . . . . .	29

Sur ces 151 cas, 81 amenèrent la mort.

En 1854, le nombre des accidents s'est élevé à 178, dont 98 ont été mortels et se sont divisés comme suit :

Dans les puits d'extraction . . . . .	58
Par chute du ciel . . . . .	57
Par explosion . . . . .	26
Par causes diverses . . . . .	37

Il est à remarquer qu'il y a une diminution dans les accidents causés par les chutes du ciel dont l'étaient est laissé aux soins de l'ouvrier, et qu'au contraire, il y a un accroisse-

ment sensible dans les autres accidents dont le contrôle appartient au régisseur.

Enfin en 1855, on note 68 cas de mort qui sont survenus ainsi :

Dans les puits d'extraction . . . . .	26
Par chute du ciel . . . . .	19
Par explosion . . . . .	7
Par causes diverses . . . . .	16

Or, il est heureux d'avoir à constater, qu'en ce qui concerne les décès survenus en 1855, il y a une diminution de 21 cas sur la moyenne des deux années précédentes.

Recherchant la cause de ce progrès, on la trouve dans ce fait que les exploitants apportent, chaque année, plus de soin à éviter les accidents funestes du feu grisou par une bonne ventilation. D'ailleurs, les jugements sévères qui ont été rendus contre certains d'entre eux pour avoir causé, par négligence, la mort de plusieurs ouvriers dont les veuves ont demandé justice, produisent aujourd'hui les meilleurs effets et leur rappellent que, conformément à la loi, « le maître qui emploie un ouvrier à » un travail d'une nature dangereuse, doit prendre toutes les » précautions nécessaires, pour que cet ouvrier ne soit pas ex- » posé à des dangers extraordinaires. »

Si l'on compare maintenant le nombre des morts à la quantité de charbon extrait, quantité qui a été

En 1853, de 7.140.000 tonneaux,
En 1854, de 7.148.000 tonneaux,
En 1855, de 7.650.000 tonneaux,

On obtient encore un résultat plus satisfaisant, puisqu'on trouve :

En 1853, 1 décès par 88.000 tonneaux de charbon extrait,
En 1854, 1 décès par 82.285 tonneaux de charbon extrait,
En 1855, 1 décès par 112.500 tonneaux de charbon extrait.

Enfin, d'après les relevés officiels publiés sur les mines de charbon exploitées dans le Royaume-Uni, on acquiert un témoignage frappant des progrès réalisés dans ces travaux qui sont si dangereux par leur nature. Car en 1855, il y a eu dans la Grande-Bretagne 2594 houillères en exploitation et elles n'ont pas produit moins de 64.000.000 de tonnes de charbon. Or le nombre des accidents ayant occasionné la mort s'est élevé à 956 et si on le compare dans chaque district, à la quantité de houille extraite, on obtient les résultats suivants :

	QUANTITÉ de Houille produite.	NOMBRE de morts. pour chaque million de tonnes.	NOMBRE de morts pour chaque million de tonnes.
Écosse. . . . .	7.650.000	68	8,8
Yorkshire, Derbyshire, Nottinghamshire, Warwick et Leicester. . . . .	11.499.870	113	8,9
Durham, Northumberland et Cumberland. . . . .	16.240.949	148	9,1
Lancashire, Cheshire et North-Wales. . . . .	10.830.500	199	18,3
South-Wales, Monmouth, Gloucester et Somerset. . . . .	9.982.890	201	20,1
Staffordshire, Shropshire et Worcestershire. . . . .	8.420.250	227	26,8
	64.632.459	956	90,0

Ainsi, grâce aux mesures adoptées en Écosse pour éviter les accidents dans les travaux des mines, il y a eu proportionnellement à la quantité extraite, bien moins d'accidents mortels que dans les autres districts.

Les inspecteurs des mines espèrent que ce satisfaisant état de choses continuera, et, dans ce but, ils recommandent fortement aux exploitants d'encourager l'éducation des enfants des mineurs et de prescrire à leurs régisseurs l'observance rigoureuse des règlements donnés par l'acte sur l'inspection des mines, pour la sécurité et le bien-être de ces ouvriers dont les travaux contribuent pour une si large part à la prospérité commerciale de ce pays.

(Extrait d'une lettre adressée à M. le Ministre des affaires étrangères par M. MAUBOUSSIN, consul de France à Glasgow.)

### Statistique de l'industrie minérale du Royaume-Uni en 1855.

#### ÉTAIN.

La quantité totale de minerai d'étain (*black tin*) qui a été exploitée dans le Cornouailles et le Devonshire, depuis le mois de janvier jusqu'à la fin de décembre 1855, s'élève à 8.947 tonnes, dont 320 tonnes proviennent du Devonshire.

Le prix moyen d'une tonne de minerai s'est élevé à 68 livres sterling; par conséquent la valeur totale était de 608.396 livres. Ce minerai d'étain provenait des mines, ainsi que des minerai

roulé, qui se trouvent dans les deux exploitations des comtés métallifères.

Le nombre des mines d'étain était de 129 dans le Cornouailles et de 27 dans le Devonshire.

Le prix de l'étain métallique a subi dans le courant de l'année les variations suivantes :

	Saumons.	Barres.	Étain raffiné.
Prix le plus élevé.	129 liv.	133 liv.	135 liv. par tonne.
Prix le plus bas.	111	112	114 Id.
Prix moyen . . . . .	119	120	123 Id.

Ainsi, le prix moyen de toutes les variétés était de 120 liv. sterl. la tonne.

On peut évaluer à 6.000 tonnes la quantité totale du métal obtenu; par suite sa valeur à 720.000 liv. sterl., en admettant qu'une tonne d'étain métallique vaille 120 liv. sterl.

L'étain importé dans le Royaume-Uni pendant l'année 1855, tant en saumons et en lingots qu'en barres, a été de 1.612 t. 7 cts.

Les pays suivants sont ceux qui ont fourni les quantités les plus considérables de l'étain importé en 1855 :

PAYS.	Étain.		Minerai d'étain et régule.
	tonnes.	cwts.	tonnes.
Possessions Hollandaises dans les Indes orientales . . . . .	373	16	"
Singapore . . . . .	602	2	"
Indes orientales anglaises . . . . .	350	19	"
Chine . . . . .	238	2	"
France . . . . .	27	6	1
Pérou . . . . .	13	11	31
Victoria. . . . .	"	"	49

Le minerai d'étain roulé qui provient de l'Australie est notablement aurifère.

Étain provenant du Royaume-Uni et exporté pendant l'année 1855.

	tonnes.	cwts.	valeur en livres.
Étain brut. . . . .	1.337	14	152.928
Étain en plaques. . . . .	"	"	1.110.430

Étain étranger ou provenant des colonies.

	tonnes.	cwts.
En saumons, lingots et barres . . . . .	280	8

L'étain a été exporté principalement dans les pays suivants :

PAYS.	Etain anglais.	Etain étranger.
	tonnes.	tonnes.
France . . . . .	341	149
Turquie . . . . .	250	"
Etats-Unis . . . . .	106	35
Prusse . . . . .	92	16
Bésil . . . . .	45	"
Syrie et Palestine . . . . .	67	"
Italie . . . . .	72	40
Espagne . . . . .	83	4
Villes Anséatiques . . . . .	49	21
Hollande . . . . .	42	"

### CUIVRE.

#### CORNOUAILLES ET DEVONSHIRE.

La quantité totale du minerai de cuivre vendu par *Ticketings* et provenant des mines du Cornouailles s'élève à 195.195 tonnes.

Ce minerai a donné 6,75 p. 100 de cuivre, ou 12.578 tonnes 11 cwts. 0 qrs. 23 lbs.

La valeur du minerai vendu était de 1.265.759 liv. 6 sh.

Ce minerai a été extrait de 115 mines du Cornouailles et de 25 à 30 mines du Devonshire; on a compris dans ces nombres les mines produisant de petites quantités de minerai.

Le prix moyen du minerai de cuivre des *Ticketings* était de 6 liv. 8 sh. 6 d. la tonne.

Les prix moyens du cuivre métallique sur le marché de Londres étaient :

Cuivre de la meilleure qualité . . . . .	129 liv. la tonne.
Cuivre dur en pains . . . . .	126
Cuivre en plaquettes (tile) . . . . .	166

Le prix moyen du cuivre en minerai étalon (*copper ore standard*) était de 143 liv. 2 sh.

Il importe de remarquer que l'expression de *copper ore standard* indique le prix payé pour le cuivre en minerai, dont on a déduit les frais nécessaires pour en extraire le métal. La somme à déduire porte le nom de *returning charges*. On l'estime depuis l'année 1805 à 2 liv. 15 sh. pour chaque tonne de minerai. Un exemple fera mieux comprendre la signification des termes employés.

On a vendu le 3 mai 1855 aux *Ticketings* 2.410 tonnes de mi-

nerai de cuivre. Comme le rendement en métal était de 7 5/8 p. 100, on pouvait extraire de ce minerai 185 tonnes 3 cwts. de métal représentant une valeur de 19.354 liv. 17 sh. 6 d. Pour trouver le *standard*, il faut préalablement évaluer les *returning charges*, qui sont égales à  $2.410 \times 2$  liv. 15 sh. = 6.627 liv. 15 sh. pour tout le minerai. En ajoutant à ces 6.627 liv. 15 sh. le prix de vente = 19.354 liv. 17 sh. 6 d., nous obtenons la somme de 25.962 liv. 7 sh. 6 d., qui, divisée par les 185 tonnes 3 cwts. du cuivre pur, donnera pour quotient 140 liv. 4 sh., ou le *standard* cherché.

*Cuivre extrait en 1855 et provenant des mines du Royaume-Uni, ainsi que de la fonte des minerais étrangers.*

	tons. cts. qrs. lb.	liv. sh.
Cuivre extrait des mines anglaises et vendu aux <i>Ticketings</i> du Cornouailles . . . . .	12.578 11 0 23	1.263.739 6
Cuivre provenant des minerais de l'Irlande, du Pays de Galles, de l'étranger, etc., vendu aux <i>Ticketings</i> de Swansea . . . . .	5.926 1 2 14	654.468 11
Cuivre acheté par contrats privés . . . . .	7.440 18 2 10	929.000 0
Le cuivre acheté par contrats privés et non compris dans la somme précédente peut être évalué approximativement à . . . . .	133 0 0 0	20.000 0
	26.078 11 1 19	2.867.207 17

*Cuivre importé dans le Royaume-Uni pendant l'année 1855 et pendant les deux années précédentes.*

	1855	1854	1853
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Minerai de cuivre et matte . . . . .	66.599	57.292	50.393
Cuivre brut et en partie travaillé . . . . .	8 044	3.218	5.200

*Cuivre exporté du Royaume-Uni pendant l'année 1855 et les deux années précédentes.*

#### CUIVRE EXTRAIT DANS LE ROYAUME-UNI.

	1855	1854	1853
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Cuivre en lingots et en massiaux . . . . .	5.124	3.040	4.780
Cuivre en feuilles, clous, etc., y compris le laiton . . . . .	16.416	9.534	9.804
Cuivre travaillé de différentes sortes . . . . .	1.103	1.103	1.047
Laiton de toute espèce . . . . .	839	944	862

## Valeur du cuivre exporté.

	liv.	liv.	liv.
Cuivre en lingots, etc. . . . .	585.734	347.167	523.487
Cuivre en feuilles, etc. . . . .	1.269.908	1.149.338	1.100.071
Cuivre travaillé, etc. . . . .	151.640	154.370	125.867
Laiton de toute espèce. . . . .	106.795	118.075	104.906

## Cuivre provenant des colonies ou de l'étranger.

	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Cuivre brut et en partie travaillé . . . . .	950	1.753	1 636

## Principales importations du minerai de cuivre et des mattes en 1855.

PAYS.	Minerai.		Matte.	
	tonnes. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.	ton. cwt.
Cuba. . . . .	22.425	1	7.039	17
Chili. . . . .	11.845	2	»	»
Etats-Unis . . . . .	5.139	19	»	»
Espagne. . . . .	3.773	3	»	»
Bolivie . . . . .	2.280	1	»	»
Australie méridionale. . . . .	2.966	0	28	7
Algérie . . . . .	1.207	4	»	»
Afrique méridionale. . . . .	1.543	8	»	»
Amérique septentrionale Anglaise . . . . .	1.078	5	»	»
Indes occidentales Anglaises et Guyane Anglaise. . . . .	1.009	0	»	»
Pérou . . . . .	1.117	6	114	1
France . . . . .	838	13	673	17
Italie. . . . .	755	6	»	»
Portugal . . . . .	389	1	»	»
Côtes occidentales de l'Afrique . . . . .	218	19	»	»
Nouvelle-Galles-du-Sud. . . . .	212	6	15	11
Victoria. . . . .	277	6	»	»
Norwege . . . . .	234	3	367	9
Villes Anséatiques . . . . .	273	11	»	»
Hollande . . . . .	86	3	271	0

## PLOMB ET ARGENT.

Le minerai de plomb exploité dans les mines du Royaume-Uni en 1855 s'est élevé à 92.330 tonnes; on en a extrait 73.091 tonnes de plomb et 561.906 onces d'argent.

Voici les prix du minerai de plomb sur les marchés de Holywell:

	liv. sh. d.
Le prix le plus bas. . . . .	10 0 0 par tonne.
Le prix le plus élevé . . . . .	18 12 6 —
Le prix moyen des achats était donc. . . . .	14 4 6 —

Ce qui donne 1.511.971 liv. st. pour la valeur totale du minerai. Sur le marché de Londres on a vendu le minerai de plomb aux prix suivants:

	liv. sh. d.
Prix le plus bas du plomb anglais, en saumons. . . . .	21 10 0 par tonne.
Prix le plus élevé du plomb anglais, en saumons. . . . .	26 10 0 —
Prix moyen. . . . .	23 3 0 —

Ce qui donne 1.692.055 liv. sterl. pour la valeur totale du plomb produit en 1855, et 140.476 liv. sterl. pour celle de l'argent en évaluant à 5 sh. celle de l'once.

## Minerai d'argent étranger.

On a importé en 1855 par Liverpool et Swansea 7.222 tonnes de minerai d'argent contenant 2.112.246 onces d'argent.

## Production du plomb et de l'argent.

PAYS.	Minerai de plomb.		Plomb.		Argent.	
	tonn. cwt.	cwt.	tonn. cwt.	cwt.	onces.	onces.
<b>ANGLETERRE.</b>						
Cornouailles. . . . .	8.862	19	5.882	8	211.348	
Devonshire. . . . .	4.035	18	2.292	10	89.908	
Shropshire. . . . .	3.310	16	2.240	0	»	
Derbyshire. . . . .	8.527	0	5.798	15	»	
Yorkshire. . . . .	9.378	8	6.369	6	273	
Westmoreland . . . . .	319	18	241	17	140	
Cumberland. . . . .	9.627	13	6.929	17	62.879	
Durham et Northumberland. . . . .	22.107	18	16.309	19	75.435	
<b>PAYS DE GALLES.</b>						
Glamorganshire. . . . .	12	0	9	0	36	
Carmarthenshire. . . . .	1.137	0	763	0	868	
Brecknockshire. . . . .	24	0	20	0	»	
Cardiganshire. . . . .	7.043	3	5.014	8	28.079	
Radnorshire. . . . .	24	3	16	0	»	
Montgomeryshire. . . . .	1.087	13	847	0	1.269	
Merionethshire. . . . .	48	0	38	0	266	
Denbighshire. . . . .	2.401	0	1.929	0	1.180	
Flintshire. . . . .	6.273	5	4.926	13	25.823	
Carnavonshire. . . . .	155	17	111	0	»	
<b>ÉCOSSE.</b> . . . .	1.587	0	1.159	12	4.947	
<b>IRLANDE.</b> . . . .	2.405	15	1.732	0	7.252	
Ile de Man. . . . .	3.573	5	2.725	0	51.597	
Localités diverses. . . . .	208	5	156	0	606	
<b>Total.</b> . . . .	<b>92.330</b>	<b>16</b>	<b>73.091</b>	<b>5</b>	<b>561.906</b>	

Plomb importé dans le Royaume-Uni pendant l'année 1855, et pendant les deux années précédentes.

	1855.	1854.	1853.
Plomb en saumons et en feuilles. . . . .	7.231 tonnes.	11.858 tonnes.	17.564 tonnes.

## Principales importations de l'année 1855.

PAYS.	Plomb en saumons.		Minerai.	
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Espagne. . . . .	6,996	118	»	»
Villes Hanséatiques. . . . .	108	»	»	»
Gibraltar. . . . .	22	»	»	»
Victoria. . . . .	13	»	»	»
Indes occidentales anglaises. . . . .	12	»	»	»
Islande. . . . .	10	»	»	»
France. . . . .	»	»	371	»
Hollande. . . . .	»	»	42	»
Australie occidentale. . . . .	»	»	25	»
Etats-Unis. . . . .	»	»	24	»
Norwege. . . . .	»	»	15	»

Importations des deux années précédentes provenant de l'Espagne.

	1854.	1853.
Plomb en saumons. . . . .	14,799 tonnes.	11,337 tonnes.

Plomb exporté du Royaume-Uni durant l'année 1855,  
et les deux années précédentes.

PLOMB PROVENANT DU ROYAUME-UNI.

	Quantité.			Valeur.		
	1855.	1854.	1853.	1855.	1854.	1853.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	liv.
Plomb. . . . .	22.353	19.605	16.242	512.426	466,967	372.940

Plomb provenant des colonies et de l'étranger.

	1855.	1854.	1853.
Plomb en saumons et en feuilles. . . . .	98 tonnes.	199 tonnes.	1.439 tonnes.

Principales exportations du plomb anglais en 1853, 1854, et 1855.

PAYS.	1855.		1854.		1853.	
	saumons et feuilles.	balles.	saumons et feuilles.	balles.	saumons et feuilles.	balles.
États-Unis. . . . .	9.246	80	5,558	6	5.794	34
France. . . . .	4.359	3	1.431	7	1.195	11
Russie. . . . .	»	»	10	»	2.818	11
Indes orientales Anglaises. . . . .	847	103	803	125	802	67
Australie. . . . .	1.078	397	2.893	449	919	340
Amérique septentrionale Anglaise. . . . .	417	426	448	419	278	261
Bésil. . . . .	694	323	729	343	302	261
Indes occidentales et Guyane Anglaise. . . . .	192	47	239	43	310	50
Chine et Hong Kong. . . . .	1.993	»	1.926	»	668	2
Hollande. . . . .	159	»	597	2	206	2
Villes Hanséatiques. . . . .	17	»	974	39	285	»
Danemark. . . . .	13	17	322	30	127	35
Afrique méridionale. . . . .	78	7	117	29	156	21
Pays barbaresques. . . . .	149	»	4	»	155	12
Suède. . . . .	202	»	126	1	53	1
Norwège. . . . .	174	7	66	30	49	17

FEB.

On évalue la quantité totale du minerai de fer extrait dans le Royaume-Uni à 9.553,741 tonnes.

Le nombre de hauts fourneaux s'élevait :

En Angleterre à . . . . .	311
En Écosse à . . . . .	122
Dans le Pays de Galles à . . . . .	156

La production de l'année a été de 5.218.154 tonnes de fonte.

Le prix annuel moyen de la fonte (évalué d'après les prix des usines de la Clyde, d'après les prix toujours uniformes du Pays de Galles, et enfin d'après les prix variables des comtés York et Stafford) était de 4 liv. 4 sh. la tonne; par conséquent la valeur créée par la production totale de la fonte s'est élevée à 13.516.266 liv. sterl.

Minerai de fer.

Nº	Comté.	District ou mine.	Nature du minerai de fer.	Quantité en tonnes.
1	Cornouailles. . . . .	Restormel. . . . .	Hématite. . . . .	20.807
		District de St. Austle. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	2.890
		District de Helstone. . . . .	Minerai spatulique. . . . .	250
2	Devonshire. . . . .	North Coast. . . . .	Hématite. . . . .	110
		Coombe Martin. . . . .	Minerai spatulique. . . . .	1.190
		South Devon. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	310
3	Somersetshire. . . . .	Brendon Hills. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	4.940
		Raleigh's Cross. . . . .		
		Goosemoor. . . . .		
4	Gloucestershire. . . . .	Exmoor. . . . .		
		Forest of Dean. . . . .	Hématite. . . . .	92.608
5	Northamptonshire. . . . .	Northampton. . . . .	Oxyde hydraté. . . . .	74.084
		(a) Weedon. . . . .		
		Blisworth. . . . .		
6	Staffordshire et Worcestershire. . . . .	Terrain houiller. . . . .	Fer carbonaté argileux. . . . .	2.500.000
7	Shropshire. . . . .	Donnington Wood, etc., etc. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	365.000
8	Derbyshire. . . . .	Diverses couches de fer. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	409.500
9	Yorkshire. . . . .	District ouest; district nord. Vallée de l'Eske et Pickering. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	255.000
10	Northumberland et Durham. . . . .	Côte N. de Whitby. . . . .	Fer carbonaté. <i>Idem.</i> . . . . .	50.000
		District de Cleveland. Weardale. . . . .		865.300
11	Cumberland. . . . .	Alston. . . . .	Fer carbonaté argileux. . . . .	485.000
		Haydon Bridge. . . . .		
12	Lancashire. . . . .	Tyne District. Whitehaven. . . . .	Hématite. . . . .	200.788
			<i>Idem.</i> . . . . .	336.828
13	Nord du Pays de Galles. . . . .	Ulverstone. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	1.320
		Carnarvonshire. Flintshire. . . . .		
14	Sud du Pays de Galles. . . . .	Denbighshire. . . . .	Fer carbonaté argileux. . . . .	64.500
15	Écosse. . . . .	District de l'Anthracite. District de la houille. bitumineuse. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	1.505.000
16	Irlande. . . . .	Terrain houiller. . . . .	<i>Id.</i> et Blackband. . . . .	2.400.000
17	Ile de Man. . . . .	Wicklow. . . . .	Hématite. . . . .	576
		Douglas, etc. . . . .	<i>Idem.</i> . . . . .	2.240

(a) Ce rapport a été reçu après la publication des rapports du Parlement.

*Fabrication du fer en Angleterre.*

## NORTHUMBERLAND ET DURHAM.

Le minerai de fer qui alimente les hauts fourneaux de ce district provient pour la plupart du calcaire carbonifère des districts de Weardale et Haydon Bridge, de la partie occidentale des bassins houillers du Durham et du Northumberland, ainsi que du lias de Cleveland. Des minerais de fer sont aussi exploités en Écosse, ainsi que dans les districts occidentaux du Yorkshire et du Cumberland.

La quantité totale du minerai de fer consommé dans les hauts fourneaux en activité pendant l'année 1855 peut être évaluée à 612.250 tonnes.

Sur cette quantité, le district de Whitehaven, dans lequel on exploite l'hématite, a fourni 37.192 tonnes. Les districts de Haltwistle et de Haydon Bridge ont expédié plus de 4.000 tonnes par les chemins de fer de Newcastle et de Carlisle.

Presque tous les fourneaux de Durham ont été approvisionnés par le district de Cleveland. Les hauts fourneaux de Durham et du Northumberland ont produit, pendant l'année 1855, 214.020 tonnes de fonte.

## YORKSHIRE.

*Canton du nord ou district de Cleveland.*

Ce district fournit des quantités de plus en plus grandes de minerai de fer qu'on exploite dans la formation du lias. Ses mines sont nombreuses, et il est bien difficile d'en séparer les produits.

La plus grande partie du minerai provient des mines Eston. Les mines Hutton viennent après et ensuite celles de Upleas-ham. Les minerais de fer sont encore extrêmement abondants à Birnalby, Moor et Roseberry Topping, près de Guisborough. La quantité totale du minerai de fer extraite durant l'année 1855 était de 865.300 tonnes.

Ce minerai a été consommé par les hauts fourneaux du comté de Durham et par ceux des districts voisins. A la somme ci-dessus, il faut ajouter les quantités suivantes :

La vallée de l'Esk a fourni. . . . . 55.000 tonnes.

La côte nord de Whitby. . . . . 50.000

La majeure partie de ce minerai alimente les forges de la

Tyne. De petites quantités de minerai sont extraites des mines situées non loin de Pickering, et d'une ou deux mines situées près de la limite orientale du Yorkshire, ainsi que des environs de Thirsk. On a trouvé de l'oxyde de fer magnétique à Rosedale. On vient de commencer des travaux d'une grande importance entre Whitby et le chemin de fer conduisant à la vallée de l'Esk, dans le but d'exploiter les mines sur une vaste échelle. M. Clarke et la compagnie Bently possèdent de vastes usines. La compagnie de Eskdale vient d'ouvrir une mine à Sleight's Bridge. MM. Ridley Corner et Watson ont commencé de nouveaux travaux à Gothland. La marquise de Londonderry a loué ses vastes mines de fer de Boulby, MM. Richardson celles de Grinkle Park. A Hinderwel, on a consacré de grandes étendues de terre à l'exploitation des mines.

Les hauts fourneaux ont fourni dans le courant de l'année 1855, 84.500 tonnes de fonte.

*Cantons de l'ouest et districts houillers.*

Le minerai extrait dans les cantons de l'ouest s'élève à peu près à 255.000 tonnes; le minerai du Derbyshire alimente aussi leurs hauts fourneaux.

Les hauts fourneaux des cantons occidentaux fournissent à eux seuls 90.840 tonnes de fonte; le Yorkshire tout entier en donne 175.340 tonnes.

## DERBYSHIRE.

En 1855 ce comté a produit environ 409.500 tonnes de minerai de fer. Les divers gisements de ce minerai dans les terrains houillers ont été décrits par M. W. Smith (Voyez *Iron Ores of Great Britain*). — La production de la fonte dans ce comté a été de 116.550 tonnes.

## LANCASHIRE.

L'hématite s'exploite en quantité considérable aux environs d'Ulverstone. Les deux hauts fourneaux, Duddon, dans le Cumberland, et Bunave, dans le district de Lorn, comté d'Argyle, sont les seuls du royaume qui emploient du charbon de bois. Leur minerai est l'hématite. Ils travaillent seulement six à huit mois chaque année, à cause de la rareté du charbon de bois. Le fer fabriqué avec la fonte de ces hauts fourneaux,

égale en souplesse et en force celui de la Russie, de la Suède et de la Norwège; mais sa production est très-limitée. Une partie de ce fer est raffinée dans les usines de Backbarrow, qui travaillent également au charbon de bois; il est vendu en massiaux, en barres, et il sert à la fabrication du fil de fer et de l'acier. Le reste se répand dans les forges de Birmingham, de Sheffield et de Wolverhampton, ou bien s'expédie en France. On le rend malléable en le recuisant avec de l'hématite réduite en poudre fine.

## CUMBERLAND.

Le minerai de fer hématite est extrait en quantités très-considérables dans le voisinage de Whitehaven, de même qu'à Ulverstone, dans le Lancashire. On se fera une idée du développement que prend l'exploitation de l'hématite en observant que la barrière de Hensingham, par laquelle le minerai est obligé de passer pour arriver à Whitehaven, a donné en 1833 un revenu de 570 liv. sterl., tandis que peu d'années après ce revenu s'est élevé à 3.000 liv. sterl. On vient, du reste, de construire un chemin de fer reliant directement Whitehaven aux mines d'hématite.

Les hauts fourneaux du Lancashire et du Cumberland, alimentés par le minerai de fer hématite et celui du district Ulverstone faisant usage du charbon de bois, ont produit, en 1855, 16.574 tonnes de fonte.

## SHROPSHIRE.

Les terrains houillers du Shropshire fournissent presque tout le minerai que l'on y consomme dans les hauts fourneaux. Donnington Wood, Magdeley Wood et les environs sont surtout les localités dans lesquelles on l'exploite. La quantité de minerai extraite s'élève à peu près à 365.000 tonnes.

Le nombre des hauts fourneaux est de 20, et ils produisent annuellement 121.680 tonnes de fonte.

## STAFFORDSHIRE ET WORCESTERSHIRE.

*District septentrional.*

Le minerai de fer de ces comtés provient des localités voisines de Longton, Hanley et Newcastle. Leur terrain houiller est le plus riche en minerai de fer. Depuis la mine Bassey

jusqu'à celle de Knowles, sur une épaisseur qui pour certains points est seulement de 250 yards, on trouve neuf couches distinctes et exploitables de minerai de fer. A Apedale, les couches désignées sous le nom de Blackband, Redshaz, Bassey Mine et Red Mine atteignent respectivement des épaisseurs de 4, 6, 7 et 9 pieds.

La production totale du minerai s'est élevée à 512.000 tonnes, dont 210.500 furent expédiées, après grillage, dans le sud du comté de Stafford.

Les hauts fourneaux du district septentrional ont produit 101.500 tonnes de fonte.

*District méridional (sud du Staffordshire et du Worcestershire).*

Les mines de ce district ont donné 1.988.000 tonnes de minerai de fer. Ce minerai est principalement celui qu'on nomme gubbin et minerai blanc.

Les hauts fourneaux du sud du Staffordshire et du Worcestershire ont produit 754.000 tonnes de fonte.

## GLOUCESTERSHIRE.

*Forêt de Dean.*

Le minerai de fer de ce district est surtout de l'hématite. Sa quantité s'élève à 92.608 tonnes.

Les mines situées à l'ouest de la forêt de Dean en expédient dans le Pays de Galles :

Par eau . . . . .	9.000 tonnes.
Par le chemin de fer . . . . .	3.500
	<hr/>
	12.500

Le minerai de Sling Pitt est transporté à Cinderford, pour y être mélangé avec le minerai plus riche provenant de l'est de la forêt de Dean. De Buckshaft, situé à l'est de la forêt, on en expédie pour le sud du Pays de Galles 8.311 tonnes; ce qui fait en tout 20.811 tonnes.

Total du minerai de fer expédié dans le sud du Pays de Galles. . .	20.811
Minerai consommé dans la forêt de Dean. . . . .	40.756
Minerai envoyé dans le comté de Stafford, etc. . . . .	31.042
	<hr/>
	92.608

Les hauts fourneaux de ce district produisent 19.500 tonnes de fonte.

## PAYS DE GALLES.

*Nord du Pays de Galles.*

La plus grande partie du minerai de fer consommé dans ce district provient des environs de Ruabon. On en exploite neuf couches. La production en minerai est à peu près de 65.820 tonnes.

On a commencé depuis peu à extraire de l'hématite qu'on trouve dans le nord de la principauté. On l'a découverte près de Rhyl, dans les montagnes Cwm, et il existe aussi une hématite de qualité inférieure aux environs de Mold. Pendant l'année 1855, on a extrait à peu près 1.320 tonnes d'hématite dans la principauté.

Dans le Denbighshire et le Flintshire huit hauts fourneaux sont en feu, et ils ont fabriqué 31.420 tonnes.

*Sud du Pays de Galles.***District de l'antracite.**

Le minerai de fer abonde dans ce district. Les couches les plus importantes se trouvent aux environs d'Ystalifera et d'Yniscedwin. Parmi les plus riches, on peut citer : *Little Vein Mine*, qui produit 7.000 tonnes de minerai par acre; et aussi *White Pins*, *Black Vein*, *Big Vein*, *Brass Vein*, près d'Ystalifera, *Cwm Fil Mine*, *Big Blue Vein*, *Pin Mawr Mine* et *Little Brass Mine*, à Yniscedwin.

La production est de 160.500 tonnes de minerai.

Dans le district de l'antracite, 19 hauts fourneaux étaient en feu en 1855, savoir :

Dans le Glamorganshire . . . . .	11
Dans le Brecknockshire . . . . .	5
Dans le Caermarthenshire . . . . .	3
Dans le Pembrokeshire . . . . .	0

Ils ont produit 52.755 tonnes de fonte.

**District de la houille bitumineuse.**

Il existe dans ce district des couches importantes et très-étendues de minerai de fer. Elles se trouvent surtout dans la partie orientale.

Dans la partie méridionale, on rencontre à Cefn Cwsc vingt-

trois couches de minerai de fer, et le minerai nommé *blackband* se trouve à Gilfach Bargoed, dans la vallée du Rymney, à 25 yards au-dessus de la houille de Minyddyslwyn. Dans les usines de Pentyrech, on emploie principalement de l'hématite qu'on exploite dans le calcaire carbonifère au sud du bassin houiller.

Les hématites du Cornouailles et de Gloucester, ainsi que les minerais spathiques du Devonshire et de Sommerset, sont expédiés dans le sud du Pays de Galles, où se rendent aussi les hématites du Cumberland et du Lancashire.

Le district de la houille bitumineuse a donné environ 1.665.500 tonnes de minerai de fer.

Le Monmouthshire possède 65 hauts fourneaux en activité; le Glamorganshire en a 64.

La fonte produite par les hauts fourneaux de ces deux comtés se répartit ainsi :

District de la houille bitumineuse . . . . .	787.315 tonnes.
District de l'antraciteuse . . . . .	52.755
Production totale de la fonte dans le sud du Pays de Galles . . . . .	840.070

## ÉCOSSE.

On emploie principalement en Écosse pour la fabrication de la fonte le *black band* et le fer carbonaté, ainsi que le *clay iron stone* ou fer carbonaté argileux qui provient du terrain houiller.

Les couches supérieures de houille du Lanarkshire contiennent des couches de *black band* désignées sous les noms de *Palais Craig*, *Muschett's*, *Bell Side*, *Kiltongue*, *Mussel Band* et *Slaty*.

Dans les couches inférieures on trouve :

- 1° Le *black band*, connu sous les trois noms *skaterigg*, *bishoprigg* ou *leshmagov*;
- 2° Le *skaterigg*.

Les couches supérieures du terrain houiller contiennent seulement de petites quantités de *clay iron stone*, qui accompagnent la houille dite *splint coal* de Glasgow. Mais dans les couches inférieures, on trouve le *crossbasket*, qui fournit la plus grande partie du *clay iron stone*.

Dans l'Ayrshire, il y a les couches de *black band* nommées *Lugar* et *Dalry*, ainsi que les couches de *clay iron stone* nommées *Macdonald* et *Logan*.

La production du minerai de fer est de 2.400.000 tonnes.  
Les hauts fourneaux fabriquent 827.500 tonnes de fonte.

*Nombre de hauts fourneaux actifs dans  
la Grande-Bretagne, en 1855.*

NOMBRE d'usines.	COMTÉS.	NOMBRE de fourneaux actifs.	Total.	
ANGLETERRE.				
6	Northumberland . . . . .	9	311	
13	Durham . . . . .	34		
19	Yorkshire . . . . .	43		
14	Derbyshire . . . . .	24		
1	Lancashire . . . . .	2		
1	Cumberland . . . . .	3		
11	Shropshire . . . . .	26		
72	Staffordshire . . . . .	166		
4	Gloucestershire . . . . .	4		
PAYS DE GALLES.				
6	Denbighshire . . . . .	8	156	
5	Glamorganshire . . . . .	75		
2	Brecknockshire . . . . .	5		
3	Caermartenshire . . . . .	3		
1	Pembrokeshire . . . . .	0		
16	Monmouthshire . . . . .	65		
ÉCOSSE.				
10	Ayrshire . . . . .	30	122	
13	Lanarkshire . . . . .	72		
3	Fife . . . . .	9		
1	Linlithgowshire . . . . .	3		
2	Stirlingshire . . . . .	5		
1	Clackmannanshire . . . . .	1		
1	Dumbarntonshire . . . . .	»		
1	Haddingtonshire . . . . .	1		
1	Argyleshire . . . . .	1		
Total des hauts fourneaux actifs en 1855 . . . . .				589

*Production totale de la fonte dans la Grande-Bretagne en 1855.*

	tonnes.
Northumberland et Durham . . . . .	214.020
Yorkshire . . . . .	175.340
Derbyshire . . . . .	116.550
Lancashire et Cumberland . . . . .	16.574
Shropshire . . . . .	121.680
Staffordshire . . . . .	855.500
Gloucestershire . . . . .	19.500
Galles du Nord . . . . .	31.420
Galles du Sud (anthracite) . . . . .	52.755
Galles du Sud (bouille) . . . . .	787.315
Écosse . . . . .	827.500
3.218.154	

EXPORTATIONS ET IMPORTATIONS.

*Fonte, massiaux et fer en barres expédiés pour l'étranger  
des ports qui suivent :*

PORTS.	Fonte.	Fer
ANGLETERRE.		
	tonnes.	tonnes.
Liverpool . . . . .	27.282	122.113
Newcastle . . . . .	8.116	3.634
Sunderland . . . . .	6.873	1.332
Hartlepool . . . . .	1.196	38
Middlesbro' . . . . .	16.855	577
Stockton . . . . .	60	82
Hull . . . . .	157	21.744
Goole . . . . .	»	1.651
Grimsby . . . . .	»	14.447
Shields . . . . .	30	»
Bristol . . . . .	30	26.524
Whitehaven . . . . .	»	2
PAYS DE GALLES.		
Newport . . . . .	2.595	4.289
Swansea . . . . .	1.618	1.376
Cardiff . . . . .	110	17.488
Neath . . . . .	20	»
Port Talbo . . . . .	»	512
Llanelly . . . . .	»	899
ÉCOSSE.		
Glasgow . . . . .	71.995	12.388
Borrowstoness . . . . .	23.750	505
Grangemouth . . . . .	48.660	2.760
Ardrossad . . . . .	29.572	»
Greenock . . . . .	4.394	583
Alloa . . . . .	9.016	»
Troom . . . . .	1.211	149
Ayr . . . . .	735	»
Bowling Bay . . . . .	780	»

*Fer importé dans le Royaume-Uni pendant l'année 1855,  
et les deux précédentes.*

	1855	1854	1853
Fer en barres . . . . .	37.407 tonnes.	41.745 tonnes.	47.776 tonnes.
Acier brut . . . . .	971	1.409	1.362

*Fer exporté du Royaume-Uni pendant l'année 1855,  
et les deux précédentes.*

FER PRODUIT DANS LE ROYAUME-UNI.

	PRODUCTION.			VALEUR DÉCLARÉE.		
	1855	1854	1853	1855	1854	1853
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	livres.	livres.	livres.
Fonte . . . . .	293.584	293.432	333.585	1.080.108	1.244.853	1.056.310
Barres et verges . . . . .	542.754	616.718	653.902	4.626.410	5.731.671	5.647.773
Pil . . . . .	5.919	7.937	9.912	125.936	168.490	201.842
Cast iron . . . . .	69.861	69.348	60.979	659.632	727.428	576.814
Fer travaillé . . . . .	167.483	183.445	182.606	2.305.626	3.120.381	2.680.550
Acier non travaillé . . . . .	16.678	20.288	20.793	585.174	681.852	684.133

## FER COLONIAL ET ÉTRANGER.

	1855	1854	1853
Fer en barres . . . . .	3.173 tonnes.	4.341 tonnes.	5.458 tonnes.
Acier non travaillé . . . . .	1.185	1.340	1.174

## Fonte d'Écosse exportée à l'étranger en 1855.

États-Unis . . . . .	27.207 <sup>5</sup>	Italie . . . . .	8.769 <sup>1</sup>
Amérique anglaise . . . . .	6.631	Danemark . . . . .	9.672
Amérique méridionale . . . . .	1.951	Suède et Norvège . . . . .	2.877
Australie . . . . .	761	Turquie et Egypte . . . . .	2.414
Indes occidentales . . . . .	44	Espagne et Portugal . . . . .	7.050
Indes orientales . . . . .	901	Belgique . . . . .	6
Allemagne . . . . .	48.212	Jersey et Guernsey . . . . .	165
Hollande . . . . .	29.598		
France . . . . .	66.849		

Fonte d'Écosse exportée . . . . .	243.108
Fonte d'Écosse expédiée par le cabotage ou par les chemins de fer . . . . .	297.892
Consommation locale . . . . .	334.000
	875.000

Excédant sur la production de l'année . . . . . 47.500

Fonte et Fer exportés du port de Liverpool aux États-Unis pendant l'année 1855.

PORTS.	Fonte.	Verges, barres et massiaux.
	tonnes.	tonnes.
New-York . . . . .	11.685	40.619
Boston . . . . .	756	12.530
Philadelphie . . . . .	1.823	7.155
Nouvelle-Orléans . . . . .	442	723
Baltimore . . . . .	538	2.912
Charleston . . . . .	60	211
San Francisco . . . . .	100	179
Savannah . . . . .	"	555
Mobile . . . . .	"	68
Divers ports . . . . .	30	34
	15.434	64.986

Exportation pour l'Amérique septentrionale anglaise de la fonte et du fer qui a eu lieu du port de Liverpool en 1855.

PORTS.	Fonte.	Verges, barres et massiaux.
	tonnes.	tonnes.
Montréal . . . . .	"	724
Québec . . . . .	"	1.339
Saint-John's N. B. . . . .	40	2.753
Halifax N. S. . . . .	20	225
Newfoundland . . . . .	"	175
Divers ports . . . . .	"	1.091
	60	6,507

Total du fer exporté de Liverpool pour les États-Unis . . . . .	1854.	1855.	
	232.420	142.255	Diminution 90.164
Total du fer exporté de Liverpool pour l'Amérique septentrionale anglaise . . . . .	30,728	12.813	Diminution 17.915

## 1855. — COMBUSTIBLES.

MINES DE HOUILLE DU ROYAUME-UNI.	NOMBRE DE MINES	
	dans le district.	dans le comté.
Durham et Northumberland :		
Tyne, Blyth et district Coquet . . . . .	100	273
Wear et Seaham . . . . .	34	
Tees, Hartlepool et Stockton . . . . .	65	
Landsale Collieries in all the Districts . . . . .	74	
Cumberland . . . . .		23
Yorkshire :		
District de Leeds . . . . .	65	333
Bradford . . . . .	42	
Huddersfield . . . . .	46	
Bardsley . . . . .	37	
Halifax . . . . .	26	
Wakefield . . . . .	34	
Rotherham . . . . .	17	
Sheffield . . . . .	27	
Dewsbury . . . . .	26	
Penistone . . . . .	4	
Pontefract . . . . .	4	
Bingley . . . . .	4	
Settle . . . . .	1	
Derbyshire :		
Chesterfield . . . . .	42	171
Dronfield . . . . .	63	
Alfreton . . . . .	29	
Ripley . . . . .	10	
Glossop . . . . .	9	
Ilkeston . . . . .	8	20
Burton-on-Trent . . . . .	9	
Belper . . . . .	1	
Nottinghamshire :		
Nottingham . . . . .		17
Eastwood . . . . .		
Mansfield . . . . .		
Alfreton . . . . .		11
Warwickshire . . . . .		
Leicestershire . . . . .		
Staffordshire septentrional :		
Cheadle . . . . .	16	123
Longton . . . . .	23	
Hanley . . . . .	13	
Burslem . . . . .	18	
Tunstall . . . . .	15	
Biddulph . . . . .	11	
Newcastle-under-Lyne . . . . .	27	
Staffordshire méridional et Worcestershire :		
Rugeley . . . . .	3	377
Vyrley . . . . .	11	
Darlaston . . . . .	9	
Bilston . . . . .	57	
Willenhall . . . . .	20	
Wolverhampton . . . . .	24	
Sedgley . . . . .	17	
Tipton . . . . .	23	
Rowley Regis . . . . .	14	
Oldbury . . . . .	37	
Westbromwich . . . . .	60	
Wednesbury . . . . .	20	
Corngreaves . . . . .	25	
Dudley . . . . .	36	
Brierley Hill, etc. . . . .	21	

MINES DE HOUILLE DU ROYAUME-UNI.	NOMBRE DE MINES	
	dans le district.	dans le comté.
<b>Lancashire :</b>		
Ashton-under-Lyne . . . . .	7	
Blackburn . . . . .	22	
Bolton . . . . .	51	
Burnley . . . . .	15	
Bury . . . . .	11	
Chorley . . . . .	6	
Leigh . . . . .	15	357
Manchester . . . . .	15	
Oldham . . . . .	24	
Rainford . . . . .	13	
Rochdale . . . . .	78	
Sainte-Hélène . . . . .	30	
Wigan . . . . .	70	
Cheshire . . . . .		32
Shropshire . . . . .		56
Gloucestershire . . . . .		55
Somersetshire . . . . .		21
Devonshire . . . . .		2
<b>PAYS DE GALLES.</b>		
<i>Nord du pays de Galles.</i>		
Anglesea . . . . .		5
Flintshire . . . . .		31
Denbighshire . . . . .		29
<i>Galles du Sud.</i>		
Pembrokeshire . . . . .		18
Carmarthenshire . . . . .		47
Glamorganhire . . . . .		117
Mounmouthshire . . . . .		63
<b>ÉCOSSE.</b>		
<b>Lanarkshire :</b>		
Glasgow . . . . .	14	
Rutherglen . . . . .	11	
Shettleston . . . . .	6	
Ballicreston . . . . .	15	
Coalbridge . . . . .	13	157
Airdrie . . . . .	35	
Holytown . . . . .	14	
Motherwell . . . . .	4	
Wishaw . . . . .	18	
Hamilton, etc. . . . .	22	
<b>Ayrshire :</b>		
Ayr . . . . .	17	
Irvine . . . . .	25	92
Kilmarnock . . . . .	30	
New et Old Cumnock . . . . .	20	
<b>Fifeshire :</b>		
Kirkcaldy et Dumferline . . . . .	29	42
Cupar . . . . .	13	
Clackmannanshire . . . . .		10
Haddingburghshire . . . . .		11
Edinburghshire . . . . .		13
Linlithgowshire . . . . .		15
Stirlingshire . . . . .		35
Dumbarntonshire . . . . .		11

MINES DE HOUILLE DU ROYAUME-UNI.	NOMBRE DE MINES	
	dans le district.	dans le comté.
<b>ÉCOSSE (suite).</b>		
Renfrewshire . . . . .		11
Dumfriesshire . . . . .		4
Peebleshire . . . . .		1
Perthshire . . . . .		1
<b>IRLANDE.</b>		
Leinster (bassin houiller de) . . . . .		5
Tipperary <i>idem.</i> . . . . .		5
Munster <i>idem.</i> . . . . .		2
Connaught <i>idem.</i> . . . . .		5
Tyrone <i>idem.</i> . . . . .		2

*Nombre total des houillères.*

ANGLETERRE . . . . .	1.881
PAYS DE GALLES . . . . .	310
ÉCOSSE . . . . .	405
IRLANDE . . . . .	19

*Production des combustibles en 1855.*

	tonnes.
Durham et Northumberland . . . . .	15.431.400
Cumberland . . . . .	809.559
Yorkshire . . . . .	7.747.470
Derbyshire . . . . .	2.256.000
Nottinghamshire . . . . .	809.400
Warwickshire . . . . .	262.000
Leicestershire . . . . .	425.000
Staffordshire et Worcestershire . . . . .	7.323.000
Lancashire . . . . .	8.950.000
Cheshire . . . . .	755.500
Shropshire . . . . .	1.105.250
Gloucestershire, Somersetshire, et Devonshire . . . . .	1.430.620
Galles du Nord . . . . .	1.125.000
Galles du Sud . . . . .	8.552.270
Écosse . . . . .	7.325.000
Irlande . . . . .	144.620
<b>Total de 1855 . . . . .</b>	<b>64.453.070</b>
<b>Total de 1884 . . . . .</b>	<b>64.601.401</b>
<b>Diminution . . . . .</b>	<b>207.331</b>

Quantités de houille, de coke, d'anhracite et de combustible patenté, transportées par le cabotage en 1854 et en 1855.

Années.	Houille.	Coke.	Anhracite.	Combustible patenté.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1854. . . . .	9.018.512	53.499	206.154	50.553
1855. . . . .	8.626.924	35.075	191.143	37.902
Diminution de 1855. . . .	391.588	18.424	15.011	12.651

Quantités de houille, de coke, d'anhracite et de combustible patenté exportées des Ports Britanniques pour l'Etranger en 1854 et 1855.

	Houille.	Coke.	Anhracite.	Combustible patenté.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1854. . . . .	4.119.712	184.028	5.515	50.320
1855. . . . .	4.762.963	212.883	1.056	84.860
Augmentation en 1855.	643.251	28,855	»	34.540
Diminution en 1854. . . .	»	»	4.459	»

Destination des principales exportations de houille, de coke, d'anhracite à l'étranger en 1854 et 1855.

	1854.	1855.
	tonnes.	tonnes.
Ports de la Crimée. . . . .	400	15.433
Suède. . . . .	97.577	105.604
Norwège. . . . .	88.668	100.777
Danemark. . . . .	373.964	392.720
Prusse. . . . .	286.319	302.478
Villes anseatiques. . . . .	323.860	416.546
Hollande. . . . .	132.777	220.208
France. . . . .	814.837	938.180
Espagne et îles Canaries. . . .	209.476	207.627*
Italie. . . . .	206.335	218.177
Malte. . . . .	161.475	253.959
Turquie. . . . .	255.770	462.549
Indes orientales. . . . .	102.013	134.260
Amerique du nord anglaise. . .	127.497	60.935*
Indes occidentales anglaises. .	100.637	90.563*
Indes occidentales étrangères. .	108.860	145.953
Etats-Unis. . . . .	185.368	144.025*
Bresil. . . . .	114.476	76.105*

\* Toutes les exportations ont augmenté, excepté celles marquées de \*.

1855. — MINERAIS DE ZINC.

	Calamine.	Blende.
	tons. cwt.	tons. cwt.
Mines d'Alston Moor. . . . .	182 3	862 1
Pencorse Consols. . . . .		770 0
Silver Brook, Ilington. . . . .		342 18
Lisburne Mines. . . . .		315 0
Cefn Brwyno. . . . .		46 14
Foxpath. . . . .		26 5
Rheidol United. . . . .		66 5
Caegynon. . . . .		9 9
Nantyceria. . . . .		128 0
Mine Minera. . . . .		854 6
Mine, Talargoch Dyserth près Rhyl. . . . .		851 10
Mines de l'Hôpital de Greenwich. . . . .		550 0
Laxey Mines. . . . .		3.989 18
Nantycar. . . . .		73 10
Mine Ivy Bridge. . . . .		
Mine East Huel. . . . .		
Great Huel Baddern. . . . .		935 0
Huel Carpenter. . . . .		
Anna Consols, etc. . . . .		

La valeur croissante de la blende a développé l'exploitation de ce minerai. Le tableau ci-dessus ne représente pas tout ce qui a été extrait, mais simplement les quantités provenant des mines qui y sont spécialement désignées.

Zinc importé dans le Royaume-Uni pendant l'année 1855 et les deux années précédentes.

	tonnes.
1855. . . . .	17.845
1854. . . . .	19.583
1853. . . . .	23.419

Le zinc importé en 1855 provenait principalement des pays suivants :

	Zinc ou spelter.	Oxyde de zinc.
	tonnes.	tons. cwt.
Prusse. . . . .	5.751	10 0
Villes anseatiques. . . . .	7.568	0 0
Belgique. . . . .	3.421	176 0
Hollande. . . . .	707	32 14
France. . . . .	167	5 12
Etats-Unis. . . . .	267	12 8

Zinc produit dans le Royaume-Uni.

2.516 tonnes en 1855.

Zinc produit à l'Etranger ou dans les Colonies.

1855.	1854.	1853.
2.635	5.322	9.461 tonnes.

## Destination des principales exportations de zinc métallique.

	Anglais.		Étranger.	
	tons. cwis.	tons. cwis.	tons. cwis.	tons. cwis.
Indes orientales anglaises. . . . .	1,501	17	1,239	15
Turquie. . . . .	224	9	14	0
Etats-Unis. . . . .	177	2	53	15
Afrique méridionale. . . . .	119	11	1	0
France. . . . .	50	0	1,225	6
Amerique septentrionale anglaise. . . . .	97	7	24	10
Buenos-Ayres. . . . .	82	18	21	0
Australie. . . . .	87	16	1	5
Italie. . . . .	29	19	8	5

## SEL.

## CHESHIRE.

La quantité de sel blanc extrait des marais salants dans les districts de Windsor et Northwich a été de 854.514 tonnes.

Le sel gemme exporté a été de 70.256 tonnes.

Le sel transporté sur la rivière Weav depuis le 5 avril 1855 jusqu'au 5 avril 1856, se compose de 55.256 tonnes de sel gemme et de 708.358 tonnes de sel blanc.

## WORCESTERSHIRE.

Le sel blanc extrait des marais salants à Droitwich et à Stoke a été de 170.000 tonnes.

## Exportation du sel anglais.

	Boisseaux.	Valeur en liv. sterl.
1853. . . . .	20.850.960	272.173
1854. . . . .	19.543.360	293.473
1855. . . . .	25.206.127	347.714

## IRLANDE.

Carrickfergus, près de Belfast, a produit 20.000 tonnes, dont 8.000 furent consommées en Irlande. Le sel raffiné n'a pas été exporté, et le sel gemme a seul été livré au commerce. Le commerce de sel de Belfast est considérable. Les fabricants de soude de l'Écosse et du Northumberland ont passé des marchés qui leur garantissent une grande quantité du sel exploité.

## PYRITES DE FER.

Ce sont les mines de Wicklow en Irlande qui fournissent la plus grande quantité de pyrites de fer. Voici comment la production des pyrites se répartit dans le Royaume-Uni :

	tonnes.
Irlande. . . . .	58.000
Trefriw, près Llanrwst, dans le nord du pays de Galles. . . . .	200
Mines diverses du Devonshire et du Cornouailles. . . . .	19.840
Cumberland et Westmoreland. . . . .	2.000
Durham et Northumberland. . . . .	1.700

## ARSENIC.

Il est bien difficile d'évaluer la quantité totale de l'arsenic extraite des mines du Royaume-Uni; car une partie se vend à l'état d'acide arsénieux, tandis que le reste est livré au commerce à l'état de minerai.

On peut estimer cependant que le Cornouailles a produit environ 1.390 tonnes d'acide arsénieux en 1855.

## COBALT ET NICKEL.

La production du Cornouailles à la mine de Saint-Austle est de 39 tonnes; celle du comté d'Argyle (Écosse) est à peu près de 300 tonnes; et celle du Cumberland à Coniston est de 5 tonnes.

## SULFATE DE BARYTE.

	tonnes.
L'île Arran. . . . .	550
La compagnie des barytes de l'Irlande. . . . .	1.291
Alston Moor. . . . .	104
Bridford Consols, en Devonshire. . . . .	35

Le gîte de sulfate de baryte de Bridford est remarquable: il a été reconnu sur 300 pieds de profondeur, 600 pieds de longueur et 40 pieds de largeur. Il renferme plusieurs centaines de mille tonnes.

La consommation de la baryte sulfatée est d'ailleurs très-limitée.

## ARGILES.

## Argile et pierre de Chine.

La majeure partie de l'argile de Chine du Cornouailles est embarquée dans les ports qui avoisinent Saint-Austle.

En 1855, dans le Cornouailles, on en a embarqué 60.188 t.; et dans le Devonshire 1.100 tonnes. La quantité de pierre de Chine expédiée des ports du Cornouailles a été de 19.761 tonnes.

La valeur de l'argile de Chine varie selon sa qualité de 10 à 24 sh. la tonne, et celle de la pierre de Chine est en moyenne

de 18 sh. Voici quels sont leurs prix sur les lieux d'exploitation :

	livres.	schellings.
Argile de Chine du Cornouailles. . . . .	51.159	16
Argile de Chine du Devonshire. . . . .	935	0
Pierre de Chine du Cornouailles. . . . .	17.964	18

Il y a deux localités distinctes dans lesquelles on extrait l'argile de Chine; la première qualité provient des paroisses Saint-Duneis et Saint-Étienne, près de Saint-Austle; la deuxième de la paroisse même de Saint-Austle.

La première qualité est employée pour la fabrication de la porcelaine, et la deuxième pour le blanchiment et le remplissage des pores des calicots inférieurs et des papiers.

La pierre de Chine sert uniquement pour la fabrication des poteries. Les producteurs s'étaient concertés de manière à ne pas livrer au commerce plus de 12.000 tonnes par an; mais par suite du nombre croissant des demandes, ils ont porté ce chiffre à 18.000, et ils l'ont même dépassé souvent dans ces dernières années.

Les matières premières des poteries sont l'argile, le silex, etc., elles sont amenées par les chemins de fer et par les canaux qui en transportent à peu près 80.000 tonnes aux fabriques du Staffordshire.

Dans les exploitations d'argile de Lee Moor (Devonshire), on mélange l'argile ordinaire avec du mica et du sable, pour en faire des briques réfractaires. Ces briques sont employées à la construction des fourneaux qui servent à fabriquer le fer et le plomb. On fabrique aussi avec l'argile de Lee Moor des pierres artificielles qu'on utilise pour l'ornementation extérieure des maisons.

#### TERRE DE PIPE.

Kingsteignton, le Devonshire, etc., ont exporté à peu près 20.000 tonnes de l'argile désignée sous le nom de terre de pipe.

#### ARGILE A BRIQUES.

Le Royaume-Uni fabrique annuellement 1.800.000.000 de briques. Dans ce nombre, Manchester seul peut être compté pour 150 millions. Londres en fabrique à peu près autant; mais il est impossible d'indiquer la consommation annuelle des briques dans la capitale, car un rayon de 100 milles anglais l'approvisionne. En admettant que 1.000 briques pèsent 3 tonnes,

le poids total des briques fabriquées dépasserait 5.400.000 tonnes et en une année la valeur serait de 2 millions de livres sterling. Les évaluations précédentes sont dues à M. Humphrey Chamberlain, qui en a fait l'objet d'une communication adressée à la Société des Arts.

Il nous est impossible d'indiquer, quant à présent, la quantité d'argile qui, dans les districts houillers, s'emploie à la confection des drains, des tuiles, etc.

#### PIERRES A BATIR.

Nous avons commencé quelques recherches sur les pierres à bâtir. Mais les carrières dans lesquelles on trouve des pierres de bonne qualité sont très-nombreuses, et il est d'ailleurs difficile de se procurer des renseignements sur cette matière; aussi c'est seulement dans quelques mois que nous publierons notre travail.

#### PRODUITS MINÉRAUX DIVERS.

##### SCHISTE ALUNIFÈRE.

Les mines de Hurlet et de Hampsie, voisines de Glasgow, produisent à peu près 15.000 tonnes de schiste alunifère. La quantité d'alun pur préparé dans les environs de Glasgow est de 6.000 tonnes; on y fabrique en même temps 350 tonnes de sulfate de fer.

A Mulgrave, près de Whitby, ainsi que dans quelques autres mines de la même côte, on livre au commerce à peu près la même quantité d'alun.

De grandes quantités d'alun sont encore produites à Pendleton, près de Manchester, et dans les fabriques de produits chimiques des bords de la Tyne.

##### JAYET.

Whitby a fabriqué des objets en jayet pour une valeur de 20.000 liv. sterl.

##### CALCAIRES MAGNÉSIENS.

Les fabriques de produits chimiques de la Tyne font venir les calcaires magnésiens qui se trouvent dans les comtés du nord; elles les emploient pour préparer de grandes quantités de sulfate de magnésie et de carbonate de magnésie.

(Extrait par M. DELESSE du travail de M. R. Hunt.)

## TABLE DES MATIÈRES

## DU TOME ONZIÈME.

## MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

	Pages.
Études sur les torrents des Alpes; par M. S. <i>Gras</i> , ingénieur en chef des mines. . . . .	1
Note sur les recherches qui ont été exécutées le long de la frontière N.-E. du département de la Moselle pour y découvrir le prolongement du bassin de la Sarre; par M. E. <i>Jacquot</i> , ingénieur des mines. . . . .	107
Mémoire sur la découverte du phosphate de chaux et sur son emploi dans l'agriculture; par M. <i>Meugy</i> , ingénieur des mines. . . . .	149
Mémoire sur les glaciers actuels; résumé des observations faites sur les glaciers dans ces derniers temps; par M. E. <i>Coltomb</i> . . . . .	177
Essai de pétrologie comparée; par M. <i>Durocher</i> , ingénieur des mines, professeur à la faculté des sciences de Rennes. . . . .	217
De l'emploi des propriétés optiques bi-réfringentes des minéraux; par M. A. <i>Des Cloizeaux</i> . . . . .	261
Études géologiques sur le pays Messin; nouvelles recherches sur le prolongement du bassin de la Sarre; par M. E. <i>Jacquot</i> , ingénieur des mines. . . . .	313
Mémoire sur le gisement du minerai de plomb dans le calcaire carbonifère du Flintshire; par M. L. <i>Moisenet</i> , ingénieur des mines. . . . .	351

## CHIMIE.

Résultats principaux des expériences faites dans le laboratoire d'Alger, sous la direction de M. <i>Ville</i> , ingénieur des mines; par M. <i>de Marigny</i> . . . . .	661
---	-----

## MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

	Pages.
Note sur un nouveau procédé de boisage appliqué dans les mines d'Anzin; par M. <i>Dormoy</i> , ingénieur des mines. . . . .	641
Note sur le sauvetage de plusieurs ouvriers engloutis sous l'éboulement d'une marnière; par M. <i>Callon</i> , ingénieur en chef, professeur à l'École des mines. . . . .	651
Rapport et avis de la commission centrale des machines à vapeur sur l'explosion d'un tambour sécheur. . . . .	654
Notice sur une machine soufflante à pistons plongeants, pour l'usage des foyers métallurgiques et l'aérage des mines, construite à l'usine de Haraucourt (Ardennes), par M. <i>Furiet</i> , ingénieur des mines. . . . .	681

## CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

Chemins de fer d'Allemagne. 2 <sup>e</sup> SECTION : Établissement de la voie. 2 <sup>e</sup> partie : Voie à supports continus. Discussion des conditions de la réception des rails; par M. <i>C. Couche</i> , ingénieur en chef, professeur à l'École des mines. . . . .	441
--	-----

## NÉCROLOGIE.

Discours prononcés aux funérailles de M. <i>Dufrénoy</i> ; par MM. <i>Élie de Beaumont</i> , inspecteur général des mines, et de <i>Sénarmont</i> , ingénieur en chef, professeur à l'École des mines. . . . .	345
--	-----

## BULLETIN.

(1<sup>er</sup> semestre 1857.)

Mines de fer, de zinc, de plomb et de cuivre du Guipuzcoa (Espagne), 693. — Mine de plomb argentifère de Bottino (Toscane), 695. — Mine de cuivre de Cobija (Bolivie), 695. — Résumé des rapports des inspections des mines de charbon exploitées en Écosse en 1854 et 1855, 698. — Statistique de l'industrie minérale du Royaume-Uni, 700.

Table des matières du tome XI. . . . .	727
Explication des planches du tome XI. . . . .	729

Annnonce d'ouvrages concernant les mines, etc., publiés pendant le 1<sup>er</sup> semestre 1857. . . . . I à VII

## EXPLICATION DES PLANCHES

## DU TOME ONZIÈME.

	Pages.
Pl. I. <i>Études sur les torrents des Alpes</i> . . . . .	1

*Fig. 1 à 7.* Analyse des phénomènes.

*Fig. 8, 10, 11.* Types divers du canal de réception d'un torrent.

*Fig. 9.* Barrage submersible.

*Fig. 12.* Disposition d'un double labyrinthe.

*Fig. 13.* Profil en long d'un lit de déjection à pente variable.

*Fig. 14.* Torrent *la Roise* (exemple d'un cas auquel les barrages submersibles peuvent être appliqués avec avantage).

*Fig. 15.* Application à la *Romanche*.

Pl. II. <i>Études sur les glaciers actuels</i> . . . . .	177
--	-----

*Fig. 1.* Coupe théorique en long d'un glacier de premier ordre dans les Alpes.

Cette coupe est prise suivant la ligne médiane ou thalweg.

a. Névés supérieurs situés à 3.500 ou 3.600 mètres et au-dessus.

b. Talus terminal situé à 1.800 mètres environ.

La longueur totale de ce glacier de *a* en *b* est supposée de 18 à 20 kil.

Les lignes diversement inclinées sous la surface du glacier représentent le profil des couches stratifiées et leur inclinaison théorique.

Son épaisseur maxima en C est d'environ 300 à 350 mètres.

*Fig. 2.* Coupe théorique en long du glacier de la Maladetta (Pyrénées); glacier de second ordre.

Le glacier de la Maladetta n'est séparé de celui de Nethou que par une longue arête rocheuse très-aiguë. Ce sont les deux plus grands glaciers de la chaîne des Pyrénées; la Maladetta s'élève à 3.354 mètres et le Nethou à 3.404 mètres. Ces glaciers reposent sur le revers nord de la montagne, ils ont à peu près 12 à 1.500 mètres de longueur, leur surface est très-inclinée, surtout dans la partie terminale; celui de la Maladetta, que j'ai visité au mois de juillet 1851 avec M. de Verneuil, était bordé d'un cordon de débris, de blocs de granite formant des moraines, frontale et latérale, qui s'éboulaient en partie dans la direction de la Ranclose, il était assez crevassé, d'un accès difficile dans sa partie inférieure.

Sur son front les crevasses étaient longitudinales, à 100 mètres plus haut, elles étaient transversales; les affleurements des couches se montraient à la surface par des courbes d'un blanc sale décrivant des ogives compliquées.

Entre le glacier et l'arête rocheuse ci-dessus, il y avait de grands champs de neige qui se prolongeaient jusqu'au sommet de la Maladetta. Nous avons remarqué sur quelques points de larges taches de neige rouge comme on en voit dans les hautes régions des Alpes.

*Fig. 3.* État des neiges déposées sous l'influence du vent dans un système de montagnes peu élevées, dans les Vosges. Exemple pris au Drumont, 1.208 mètres, le 3 mars 1850.

Ces neiges, passées à l'état de névé, sont formées de plusieurs couches successives, stratifiées, se distinguant les unes des autres par leur structure, d'une épaisseur totale de 8 à 10 mètres; elles avaient disparu à la fin du mois de juin. En prolongeant théoriquement en couches jusque dans le fond de la vallée, on aurait un véritable glacier.

*Fig. 4.* Vue du glacier d'Aletsch en Valais.

Nous avons vu que ce glacier avait environ 24 kil. de longueur et que sa masse totale pouvait être évaluée de 22 à 24 milliards de mètres cubes de glace. Il transporte un assez grand nombre de débris: provenant de la Jungfrau, 4.167 mètres; du Moench, 4.096; des Viescher Hörner, 4.048; du Gletscherhorn, 3.982; de l'Aletschhorn, 4.207; des Walliser-Vischer-Hörner, 3.905; mais ses moraines, d'abord superficielles, finissent par disparaître peu à peu de la surface, elles s'engouffrent sous les parois des montagnes encaissantes, deviennent moraines latérales et ensuite moraines profondes. A son talus terminal, que j'ai visité pour la dernière fois en 1855, on ne trouve que fort peu de débris rocheux. par contre on y remarque un assez grand nombre de troncs de sapin et de mélèzes à moitié triturés que le glacier rejette; ces troncs d'arbres proviennent de la forêt de l'Aletschwald que le glacier entame depuis quelques années, sur sa rive droite et sur sa rive gauche.

- a. Altitude de ce point, 2.603 mètres.
- b. Altitude, 2.140 mètres.
- c. Altitude, 1.855 mètres.
- d. Walliser-Vischer-Hörner, 3.905 mètres.
- e. Eggishorn, 2.941 mètres.
- f. Chalets de Lusgen-Alp, 2.313 mètres.

La pente de ce glacier est, d'après les mesures de M. Élie de Beaumont, de 2° 58'.

*Fig. 5.* Profil longitudinal du glacier de l'Aar, avec l'inclinaison des couches exprimées en degrés.

J'ai emprunté ce profil à l'atlas de l'ouvrage de M. Agassiz, auquel nous renvoyons pour les détails.

- a. La partie inférieure à 1.877 mètres.
- a'. Bord du talus terminal.
- b. La partie moyenne à 2.283 mètres.
- c. L'ancien emplacement de l'hôtel des Neuchâtelois, 2.458.
- d. Le pied de la montagne de l'Abschwung, 2.525.

La distance de *d* en *a'* est de 7.830 mètres.

La pente moyenne de *d* en *a'* est de  $6,90\ 0/0 = 3^{\circ} 57' 32''$ .

*Fig. 6.* Stratification du glacier du Rhône; affleurement des couches.

- a. Promontoire de roche en place.
- b. Escarpement ou chute du glacier.

*Fig. 7.* Coupe théorique en travers de la disposition des couches d'un glacier simple.

*Fig. 8.* D'un glacier formé de deux affluents.

*Fig. 9.* D'un glacier formé de trois affluents.

Ces coupes théoriques 7, 8, 9, 10 sont empruntées au même atlas; nous y renvoyons pour les détails.

*Fig. 10.* Vue du lac Merjelen avec ses glaçons flottants sur la rive gauche du glacier d'Aletsch.

- a. Glaçons flottants.
- b. Glacier d'Aletsch.
- c. Glacier d'Aren ou d'Aletsch moyen.
- d. Pied de l'Eggishorn.
- e. Pied des Strahlhörner.
- f. Falaise de glace qui se détache par moments pour former les glaçons flottants.

Altitude du lac, 2.350 mètres; capacité, environ 3.700.000 mètr. cub.

- g. Olmenhorn, 3.308 mètres.
- h. Sattelhorn, 3.270 mètres.

J'ai trouvé la température de l'eau du lac, le 28 août 1848, à 5 heures du soir, à quelques décimètres de profondeur et à une distance de 30 mètres de la falaise de glace, à 2°,50; à la distance de 1.000 mètres de cette même falaise à 6°,80; l'air ambiant à 6°, la température de l'eau du lac étant supérieure à zéro, elle ronge le dessous du glacier qui en est séparé par un espace vide de quelques décimètres. C'est ce vide qui facilite la chute des blocs dans le lac.

*Fig. 11 et 12.* Plan et coupe d'une bande du glacier de l'Aar, montrant la marche de 1842 à 1845. (Voir l'ouvrage de M. Agassiz pour les détails.)

*Fig. 13.* Vue prise au glacier de l'Aar dans sa partie moyenne. Exemple de la réunion de deux grands glaciers et de plusieurs glaciers de second ordre dans un seul lit.

- aa.* Glacier de l'Aar inférieur.
- b.* Glacier du Lauteraar.
- cc'.* Glacier du Finsteraar, *c'* altitude 2.644.
- d.* Glacier du Thierberg.
- e.* Glacier du Silberberg.
- f, f.* Glaciers suspendus de l'Abschwung.
- g.* Moraine latérale gauche du glacier du Finsteraar.
- h.* Moraine latérale droite du glacier du Lauteraar.
- ii.* Moraine médiane du glacier de l'Aar inférieur provenant de la réunion de *g* et de *h*.
- k.* Moraine latérale gauche du glacier de l'Aar inférieur.
- k'.* Moraine latérale droite du glacier de l'Aar inférieur.
- l.* Ancien emplacement de l'hôtel des Neuchâtelois, 2.458 mètres.
- m.* Escherhorn, 3.080 mètres.
- n.* Finsteraarhorn, 4.275 mètres.
- o.* Agassishorn, 3.350 mètres.
- p.* Abschwung, 3.475 mètres.
- q.* Commencement des Schrekhörner.
- r.* Scheuchzerhorn, 3.494.
- s.* Thierberg, 3.173.
- t.* Massif du Rothhorn.

Cette vue est empruntée à un croquis que M. Hogard a fait au mois d'août 1848, et qu'il a bien voulu me communiquer; il représente l'état de ce grand glacier au moment où il est le plus débarrassé des neiges d'hiver. On y voit au pied de l'Abschwung *p* la réunion des moraines latérales du Finsteraar *g* et du Lauteraar *h*, qui forment ensuite la grande moraine médiane *ii*.

Le point *l* indiquant l'ancien emplacement de l'hôtel des Neuchâtelois, en 1848, n'est plus à la même place en 1857; il a marché dans la direction de *i, i*, la vitesse acquise de ce point étant d'environ 75 mètres par an; il aura par conséquent parcouru dans l'espace de neuf ans environ 675 mètres; néanmoins le mouvement n'étant pas synchronique sur toute la ligne parcourue, ces 675 mètres ne sont ici qu'un chiffre approximatif.

Les glaciers latéraux *d* et *e* qui viennent se joindre à forte pente au lit principal n'ont pas d'influence sur sa marche normale, ni sur sa moraine latérale droite *k'* à cause de la petitesse de leur masse comparée à celle du grand glacier.

À l'extrémité de ce glacier, que le format du croquis n'a pas permis de représenter, la moraine latérale gauche *k* finit par disparaître; elle s'engouffre sous le glacier au pied du massif rocheux *t* et devient moraine profonde, tandis que la moraine latérale *k'* provenant du Finsteraar s'y étale en éventail et forme la plupart des blocs et des débris qui gisent sur ce point à sa surface.

Fig. 14. Vue de la moraine frontale du glacier de l'Oberaar en 1849.

- a.* Glacier.
- bb.* Moraine. Elle est composée d'éléments granitiques provenant en grande partie de l'Oberaarhorn, 3.634; du Grünhorn, 3.518; du Rothhorn, 3.439. La longueur totale de ce glacier est d'environ 7.000 mètres, et sa largeur moyenne 1.200 à 1.500 mètres.
- c.* L'altitude de ce point est de 2.260 mètres.

Fig. 15 et 16. Représente la position d'un bloc inscrit sous le n° 12 dans le plan du glacier de l'Aar de M. Wild.

En 1848, ce bloc reposait sur un large piédestal de glace, que le soleil rongea du côté du midi; en 1849 (fig. 16), il avait chuté et forma un nouveau piédestal. De chute en chute ce bloc arrivera au talus terminal du glacier sur un point qu'il est difficile de calculer, parce que son mouvement se compose de la résultante de deux éléments: l'un, le mouvement de translation du glacier; l'autre, le mouvement propre du bloc occasionné par ses chutes successives.

Fig. 17. Coupe théorique en long d'une moraine frontale.

Fig. 18. Coupe théorique en travers de la surface d'un glacier.

- a.* Glacier.
- b.* Moraine médiane.
- c, c.* Moraines latérales.
- c'.* Moraine latérale déposée sur une anfractuosité de la roche par suite de la retraite du glacier.

Fig. 19. Même coupe qui représente la moraine médiane rejetée sur une des rives.

Pl. III.

Fig. 1. Recherches des prolongements du bassin houiller de la Sarre. . . . . 107

N° 1	Sondage de la Sarre.
2	— d'Alsting.
3	— de Heideneck.
4	— du Creutzberg.
5	— du Schlossberg.
6	— de Morsbach.
7	— de Cocheren.
8	— de Merlebach.
9	— de la tuilerie de Freyming.
10	— du Hochwald.
11	— à la corde de Freyming.
12	— de Hombourg.
13	— de l'Hôpital.
14	— du Zang.
15	— de Saint-Avold.
16	— d'Oderfang.
17	— de la route de Château-Salins.
18	— de Longeville.

19	—	de la forêt de Saint-Avoid.
20	—	de Porcelette.
21	—	du moulin de Porcelette.
22	—	de Boucheporn.
23	—	de Carling.
24	—	de Creutzwald.
25	—	de Ham-sous-Varsberg.
26	—	du Brouckwiess.
27	—	de la Houve.
28	—	de Valk.
29	—	de Hargarten.
30	—	de Dalheim.
31	—	de Marten.
32	—	de Berweiller.

*Fig. 2. Gisement du minerai de plomb dans le calcaire carbonifère du Flintshire. . . . .* 351

Direction des principaux filons et failles, transportés à Holywell.

Pl. IV et V. *Même sujet. . . . .* 351

Pl. IV.

*Fig. 1.* Carte du Flintshire.

*Fig. 2, 4 à 15 et 17.* Coupes diverses.

*Fig. 3.* Vue prise de Moel et Gear.

*Fig. 16.* Carte de la vallée du Well.

Pl. V.

*Fig. 1 à 7, 9 à 13, 15, 17 à 19, 23, 24.* Coupes diverses.

*Fig. 8.* Mine de Talacre; plan du *Level* à 48 yards.

*Fig. 14 et 16.* Plan de la mine de Talargoch.

*Fig. 20.* Fragment de galène de Talargoch.

*Fig. 21.* Plan de la contrée de Talargoch.

*Fig. 22.* Plan de la mine de Bodlewyddan.

*Fig. 25.* Diagramme ou coupe théorique de Talargoch.

*Fig. 26.* Diagramme ou coupe théorique du mountain-limestone du Yorkshire.

*Fig. 28 et 29.* Transport des grands cercles de comparaison.

Pl. VI et VII. *Chemins de fer d'Allemagne*: Établissement de la voie. . . . . 411

Pl. VI.

*Fig. 1 à 11.* Rail sur longrines.

*Fig. 12, 13, 14.* Voie Barlow.

*Fig. 15 à 16.* Aiguilles de changements de voies; formes spéciales.

Pl. VII.

*Fig. 1 à 3.* Changement de voie du chemin central Suisse.

*Fig. 4.* Articulation des aiguilles au chemin Badois.

*Fig. 5.* Plan et coupes de la pointe de croisement de 6° 40'.

*Fig. 6.* Plaque tournante pour machine et tender du chemin central Suisse.

*Fig. 7.* Plan et coupe d'un rail de passage à niveau avec son contre-rail et la plaque de joint.

*Fig. 8 et 9.* Rails spéciaux, portant leur contre-rail, pour passage à niveau.

*Fig. 10.* Barrière manœuvrée à distance.

*Fig. 11.* Signal d'avertissement de la barrière manœuvrée à distance.

Pl. VIII. *Carte géologique du pays Messin. . . . .* 513

Pl. IX.

*Fig. 1 à 7. Recherches géologiques sur le pays Messin. . .* 513  
Coupes diverses.

*Fig. 8 et 9. Nouveau mode de boisage appliqué dans les mines d'Anzin. . . . .* 641

*Fig. 10. Sauvetage dans une marnière.*

*Fig. 11, 12, 13. Explosion d'un tambour sécheur. . . . .* 654

*Fig. 14. Machine soufflante à piston plongeur. . . . .* 681

FIN DU TOME ONZIÈME.

Etudes sur les Torrents des Alpes.

Fig. 1.

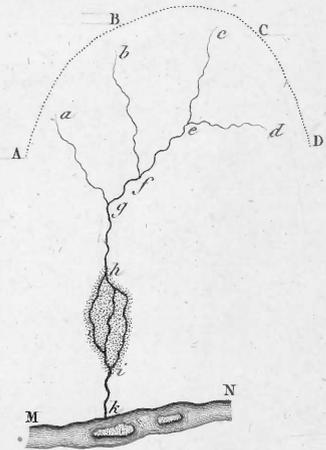


Fig. 2.

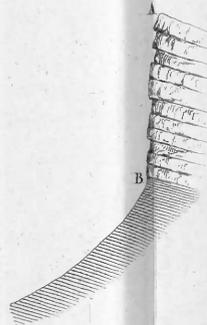


Fig. 3.

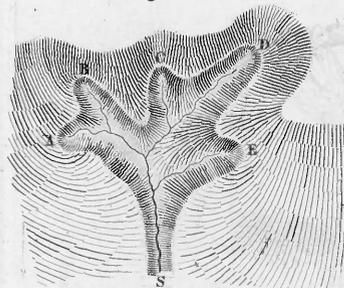


Fig. 4.

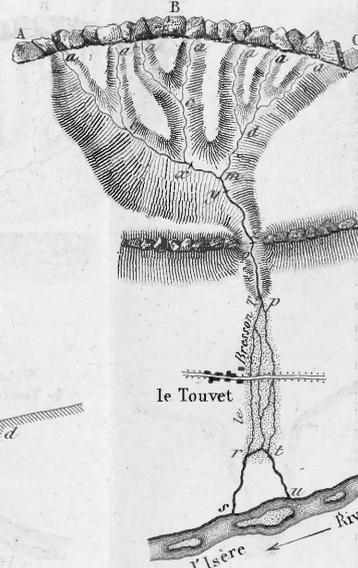


Fig. 5.

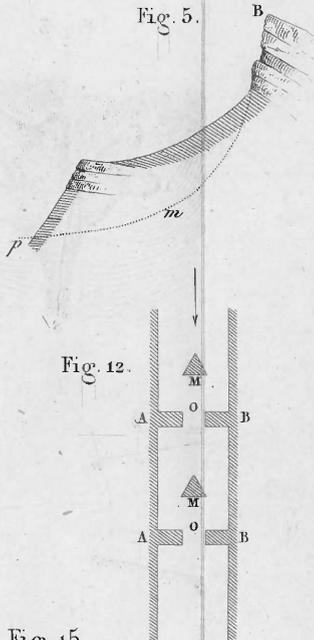


Fig. 6.

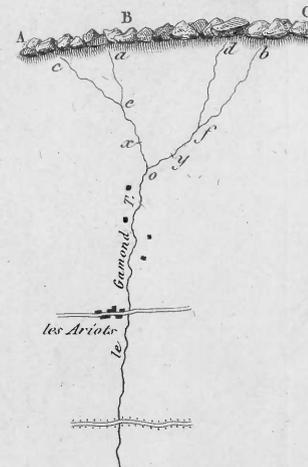


Fig. 9.



Fig. 11.



Fig. 10.

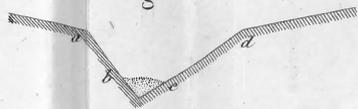


Fig. 12.

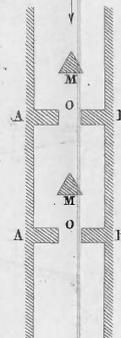


Fig. 13.

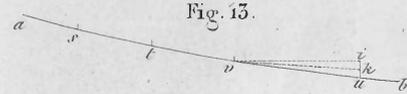


Fig. 7.

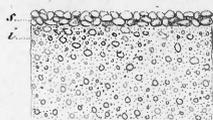


Fig. 8.

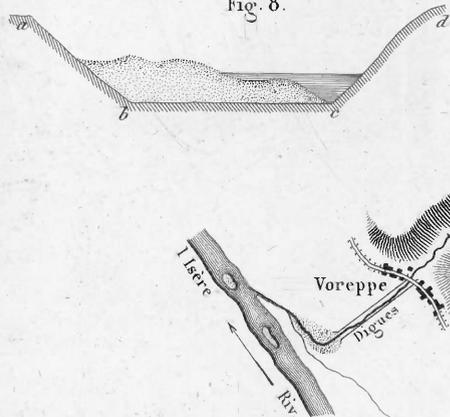


Fig. 14.

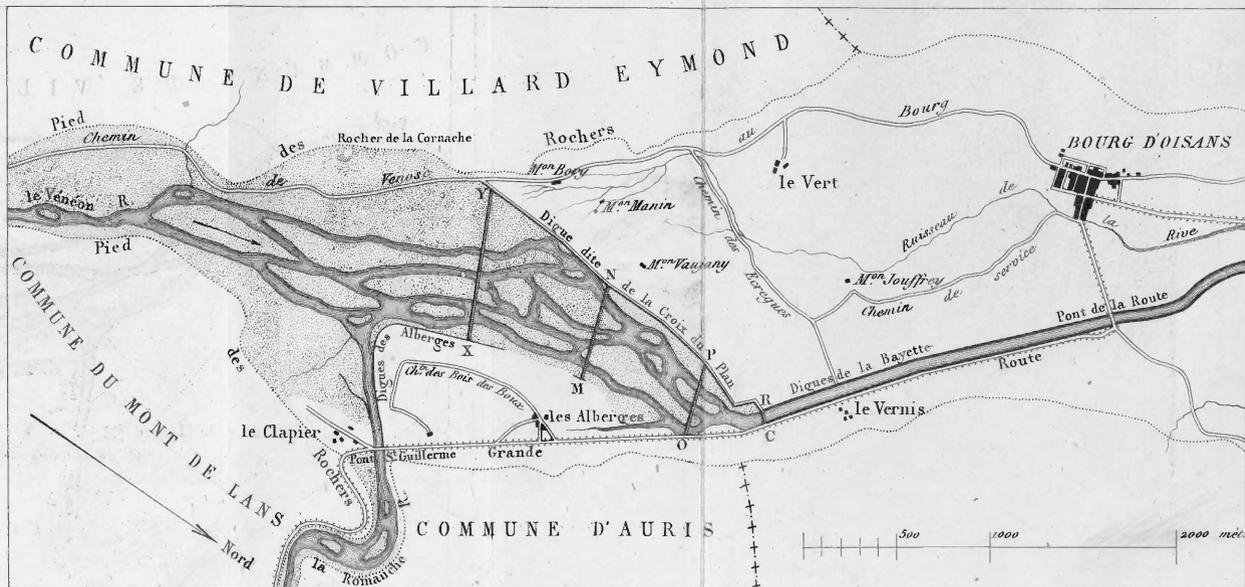
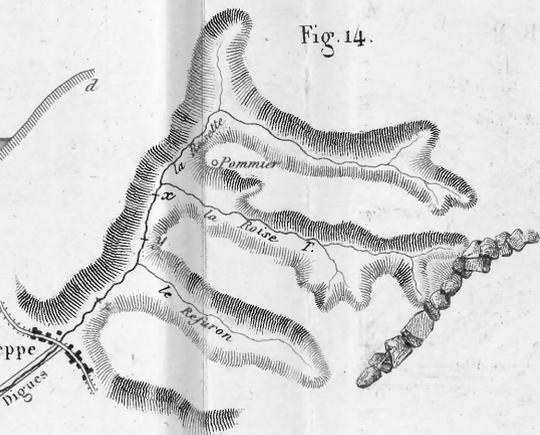


Fig. 1. Glacier théorique de 4<sup>e</sup> ordre.  
Coupe en long.

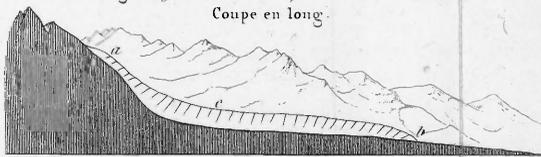


Fig. 2. Coupe théorique en long du glacier de la Maladetta. Rytérées Glacier de 2<sup>e</sup> ordre



Fig. 3. Etat des neiges déposées sous l'influence du vent, au Spumont (Espagne) en Mars 1850.

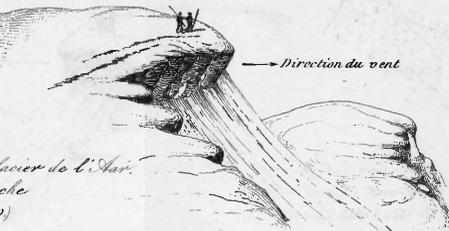


Fig. 10. Vue du Lac Morjolen avec ses glaciers flottants sur la rive gauche du glacier d'Aléach.

Fig. 5. Profil longitudinal et émission du Glacier de l'Ar avec l'indication des couches exposées en degrés (49, 41 D.)



Fig. 11. Plan d'une bande de Glacier de l'Ar, montrant la marche de 1842 à 1845. (49 et 11)

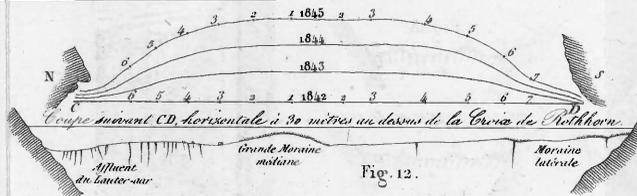


Fig. 18. Coupes théoriques en travers.

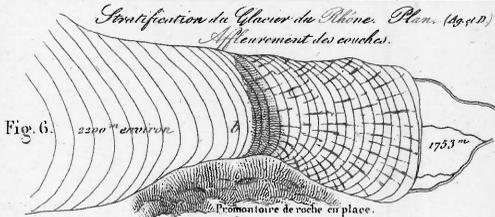


Fig. 6. Identification du Glacier de l'Ar. Plan. (49, 11 D.)  
Apparement des couches.  
5200<sup>m</sup> environ.  
1753<sup>m</sup>  
Promontoire de roche en place.

Fig. 7. Coupe théorique en travers des Couches d'un Glacier simple. (49, 11 D.)



Fig. 8. d'un Glacier formé de deux affluents. (49, 11 D.)



Fig. 9. d'un Glacier formé de trois affluents. (49, 11 D.)

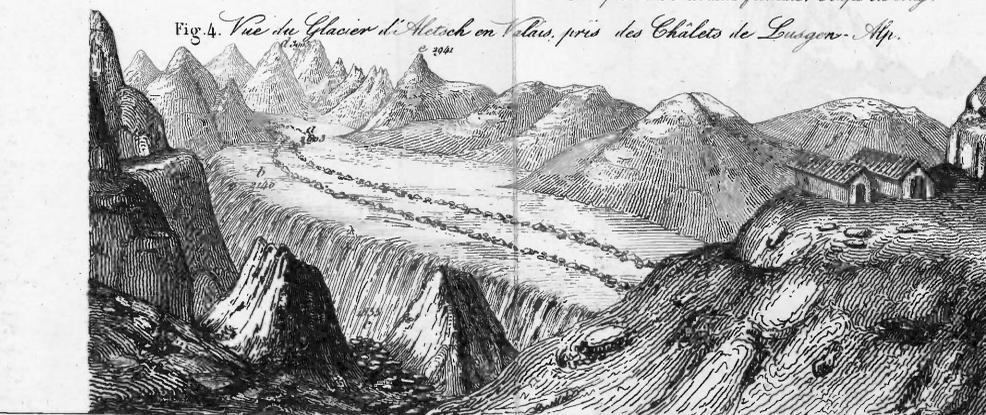
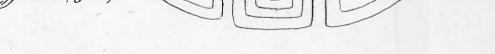


Fig. 4. Vue du Glacier d'Aléach en Valais, près des Chalets de Saugon-App.



Fig. 14. Vue de la Moraine frontale du glacier de l'Ubersaar, en 1849.

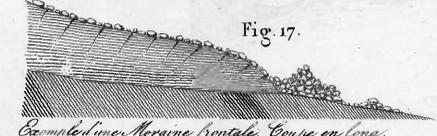


Fig. 17. Exemple d'une Moraine frontale. Coupe en long.

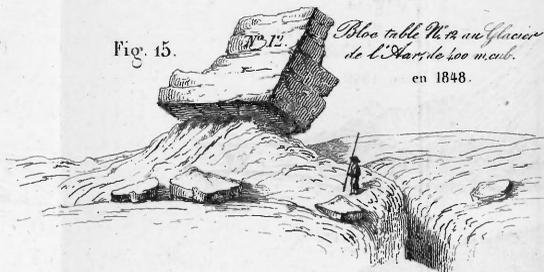


Fig. 15. Blue tablé N. 79 au Glacier de l'Ar, de 100 m. en 1848.

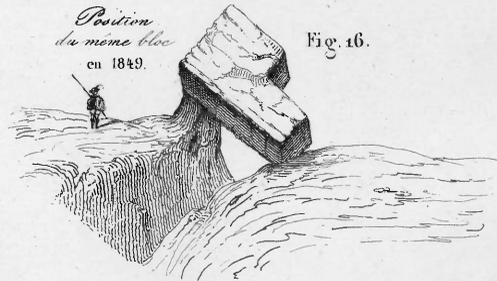
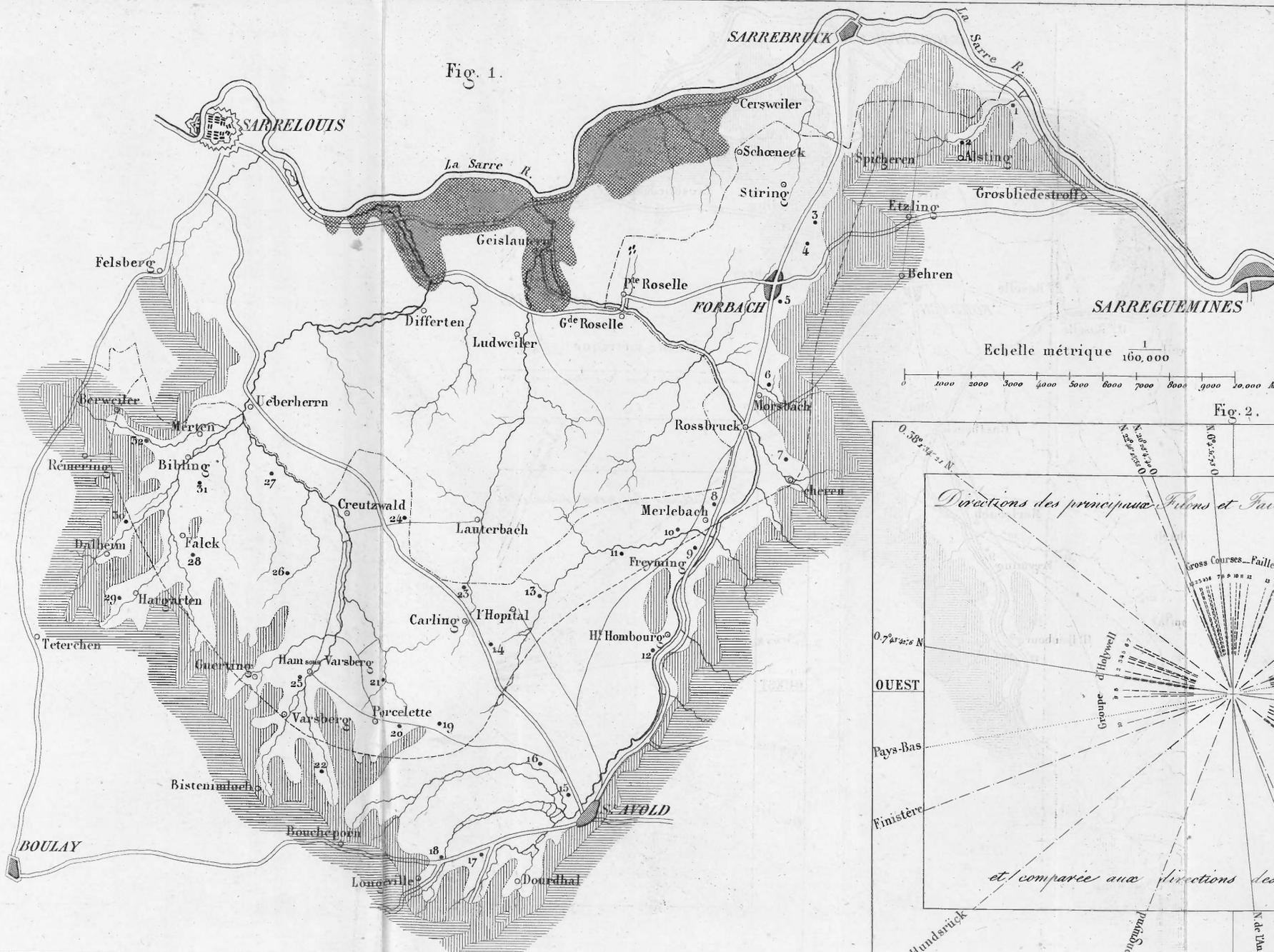


Fig. 16. Position du même bloc en 1849.



Fig. 13. Vue de la partie moyenne du Glacier d'Ar, d'après un croquis de M. Rogard, en 1848.

Fig. 1.



- Signes conventionnels.
- Terrain houiller..... [Grid pattern]
  - Grès des Vosges..... [White]
  - Grès bigarré..... [Horizontal lines]
  - Muschelkalk..... [Vertical lines]
  - Sondages..... [Small dots]
  - Limites du Bassin reconnu sur le territoire Français..... [Dashed line]
  - Concession de Schœneck..... [Dotted line]
  - Concession de Forbach..... [Solid line]

Echelle métrique  $\frac{1}{160,000}$

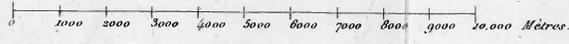
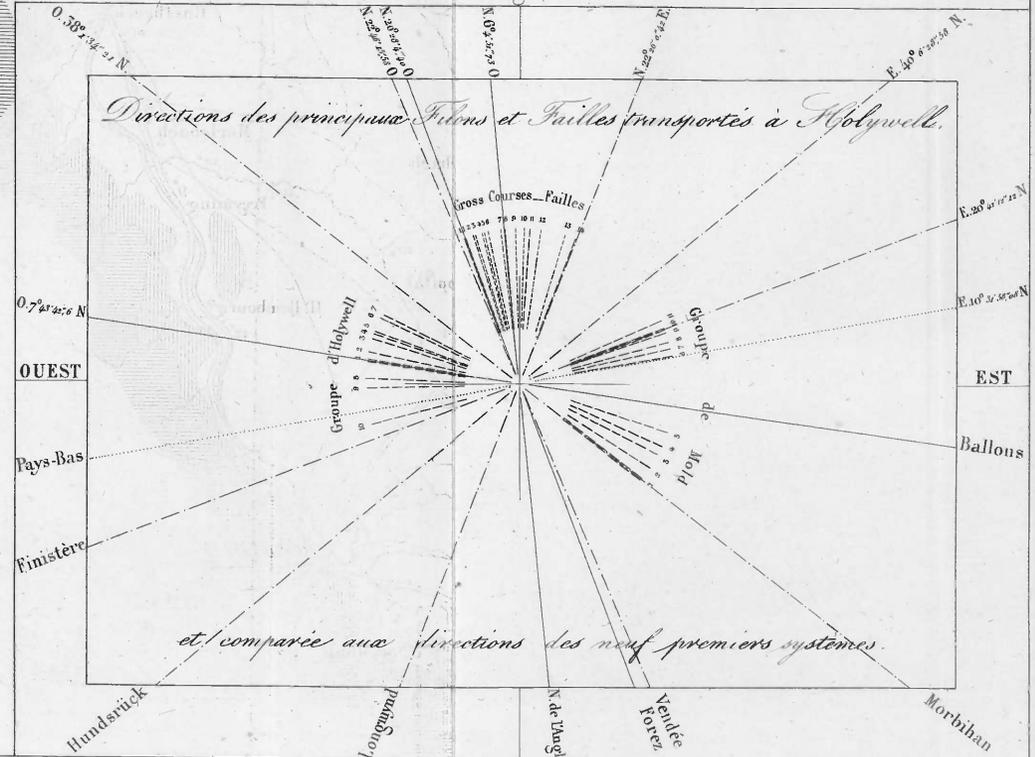
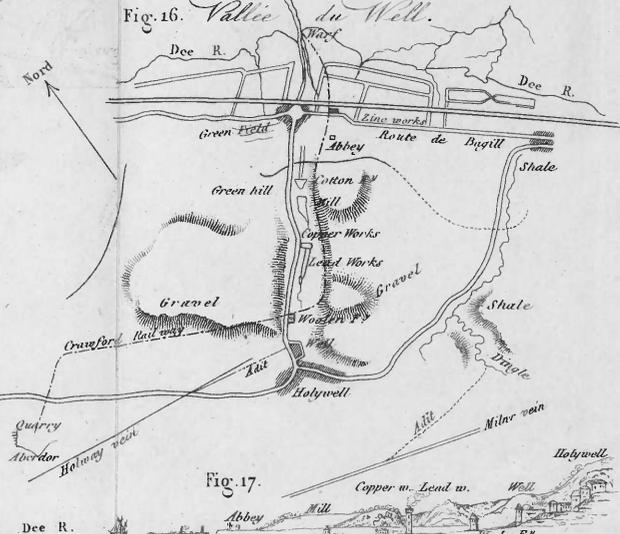
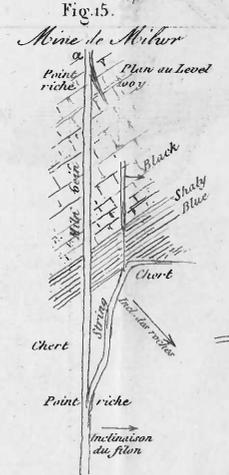
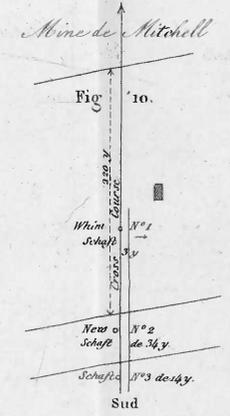
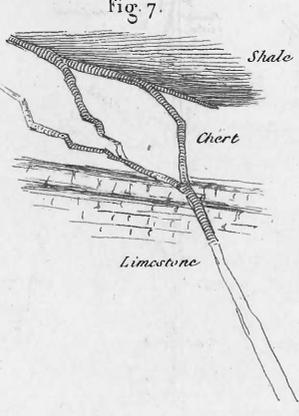
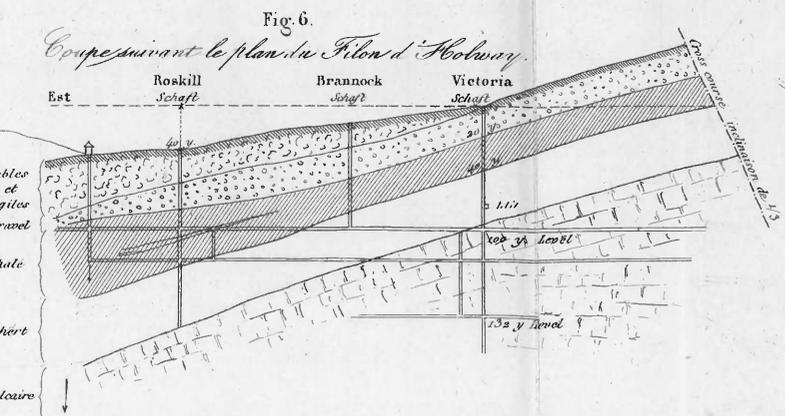
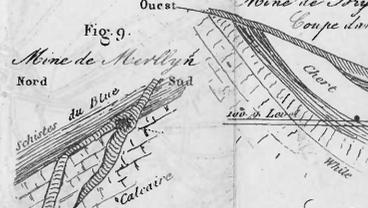
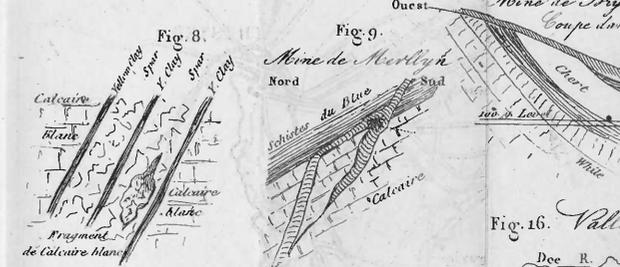
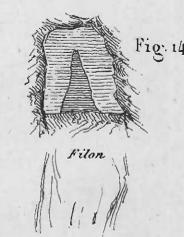
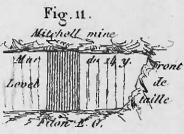
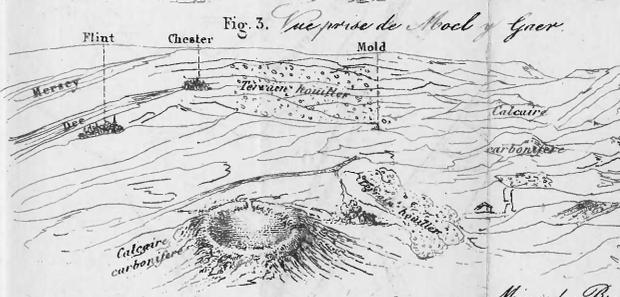
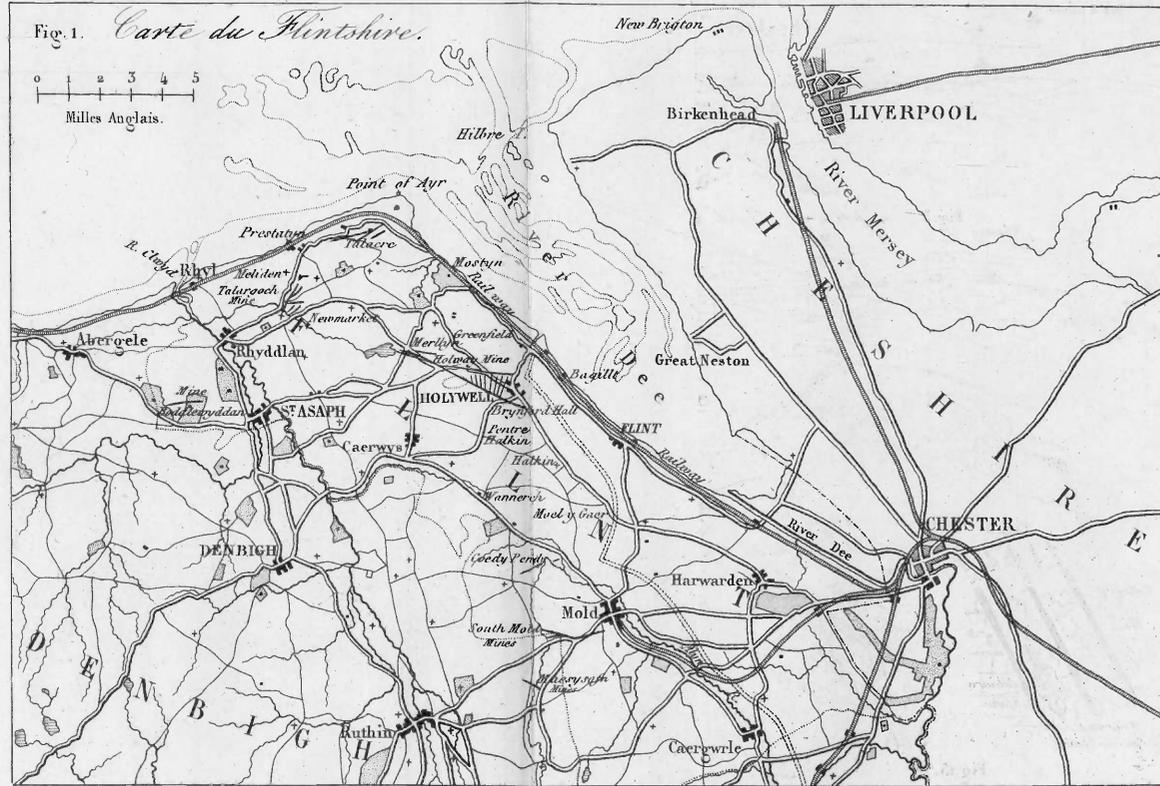
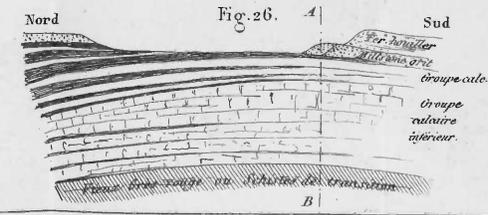
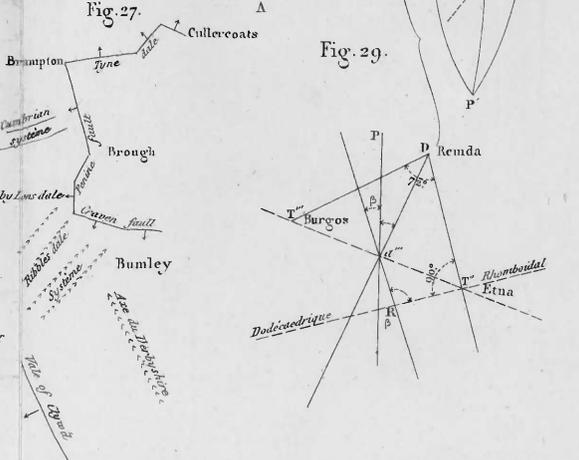
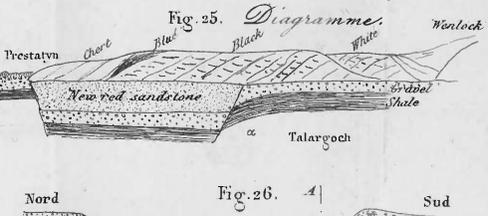
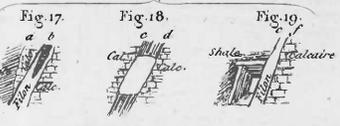
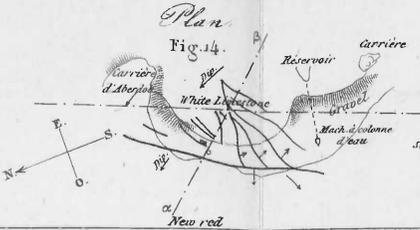
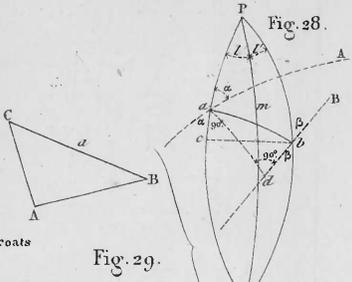
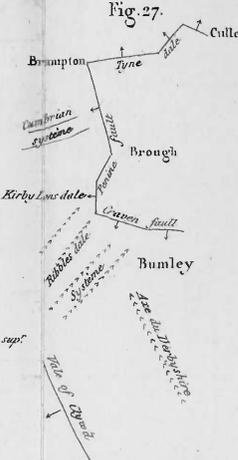
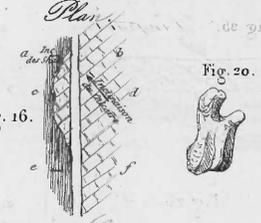
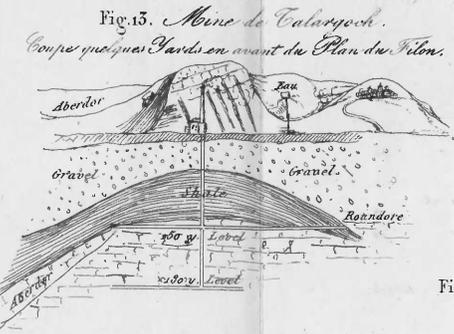
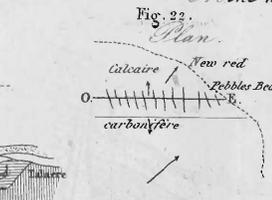
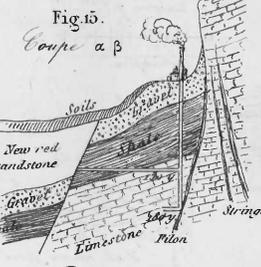
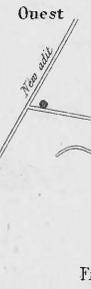
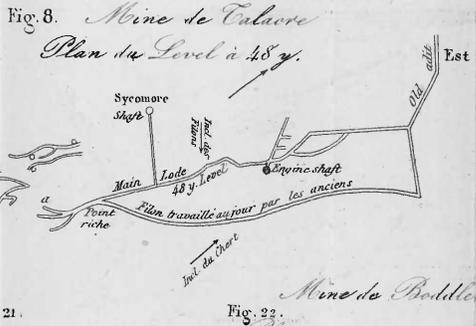
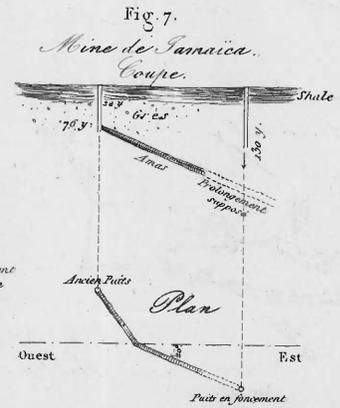
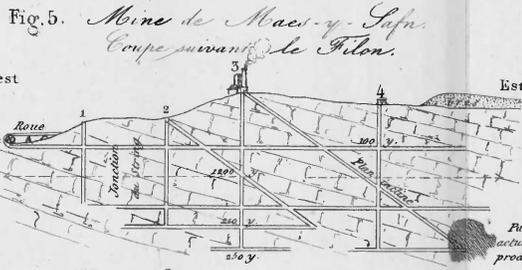
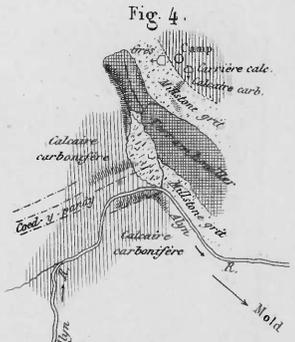
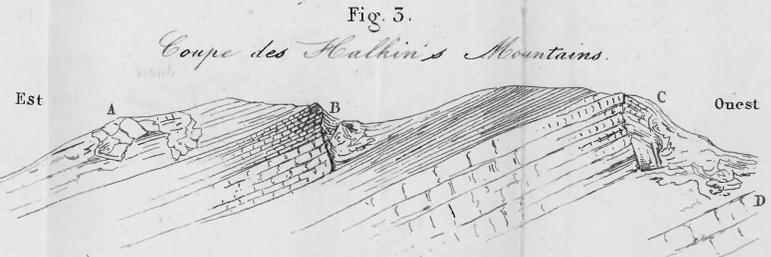
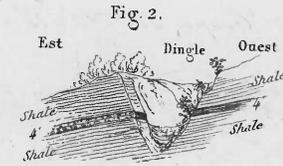
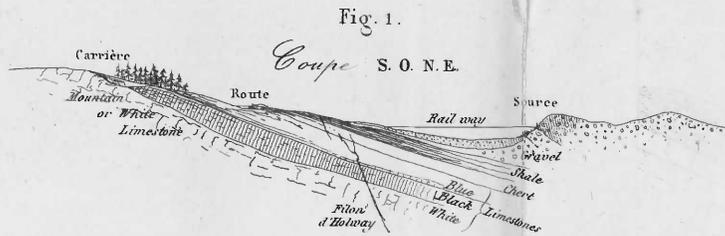
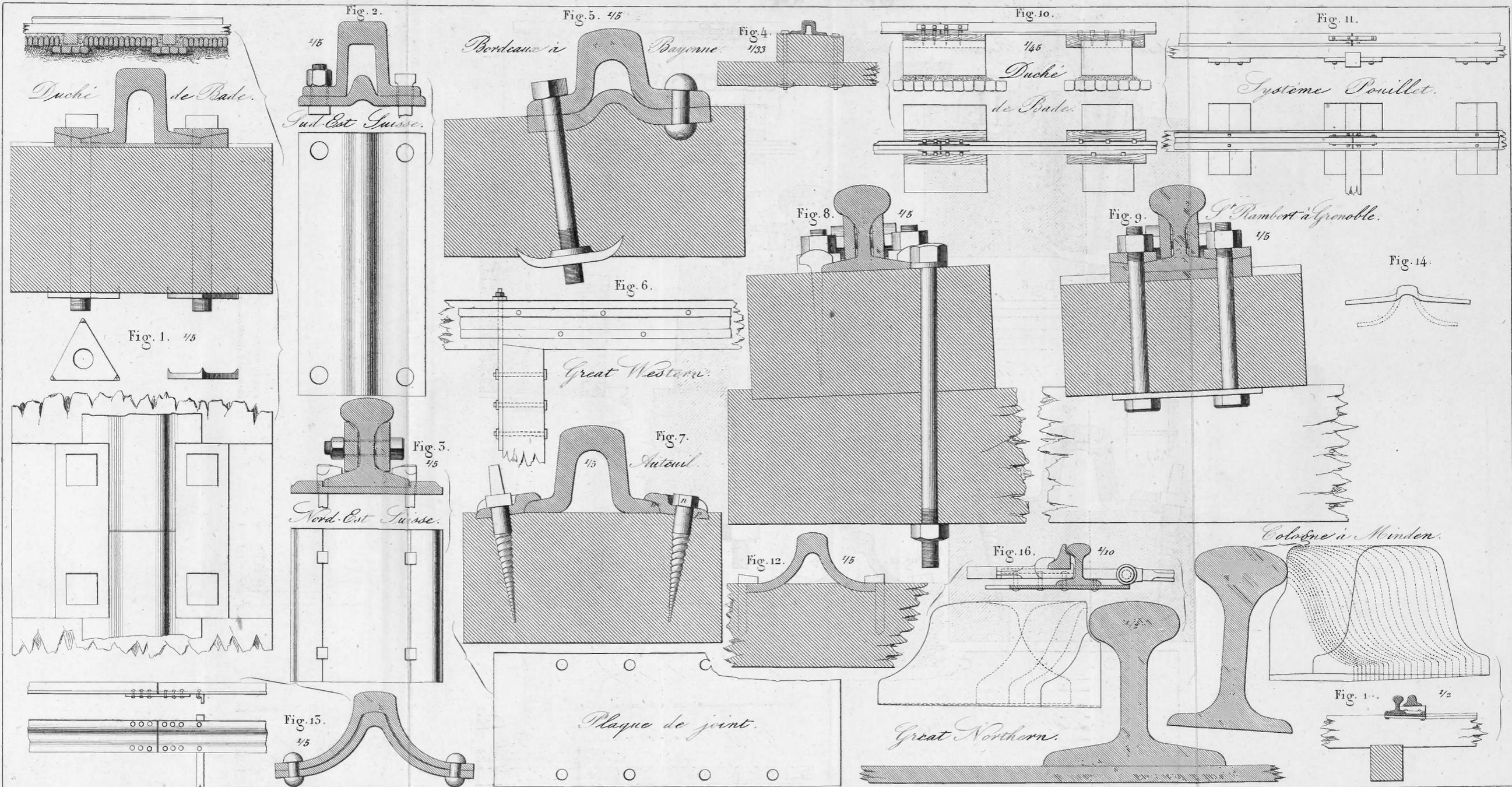


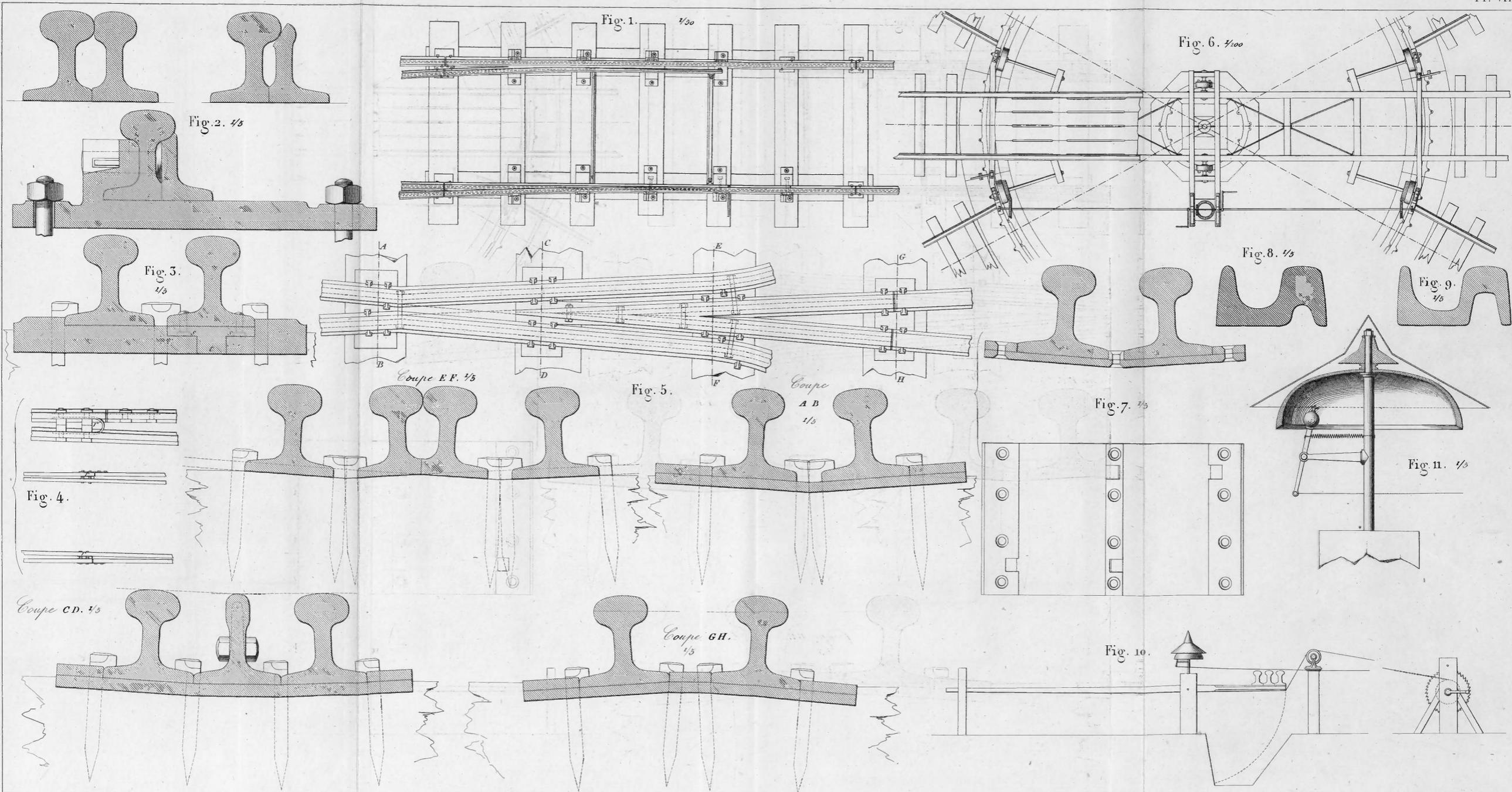
Fig. 2.











# CARTE GÉOLOGIQUE DU PAYS MESSIN

Tracée

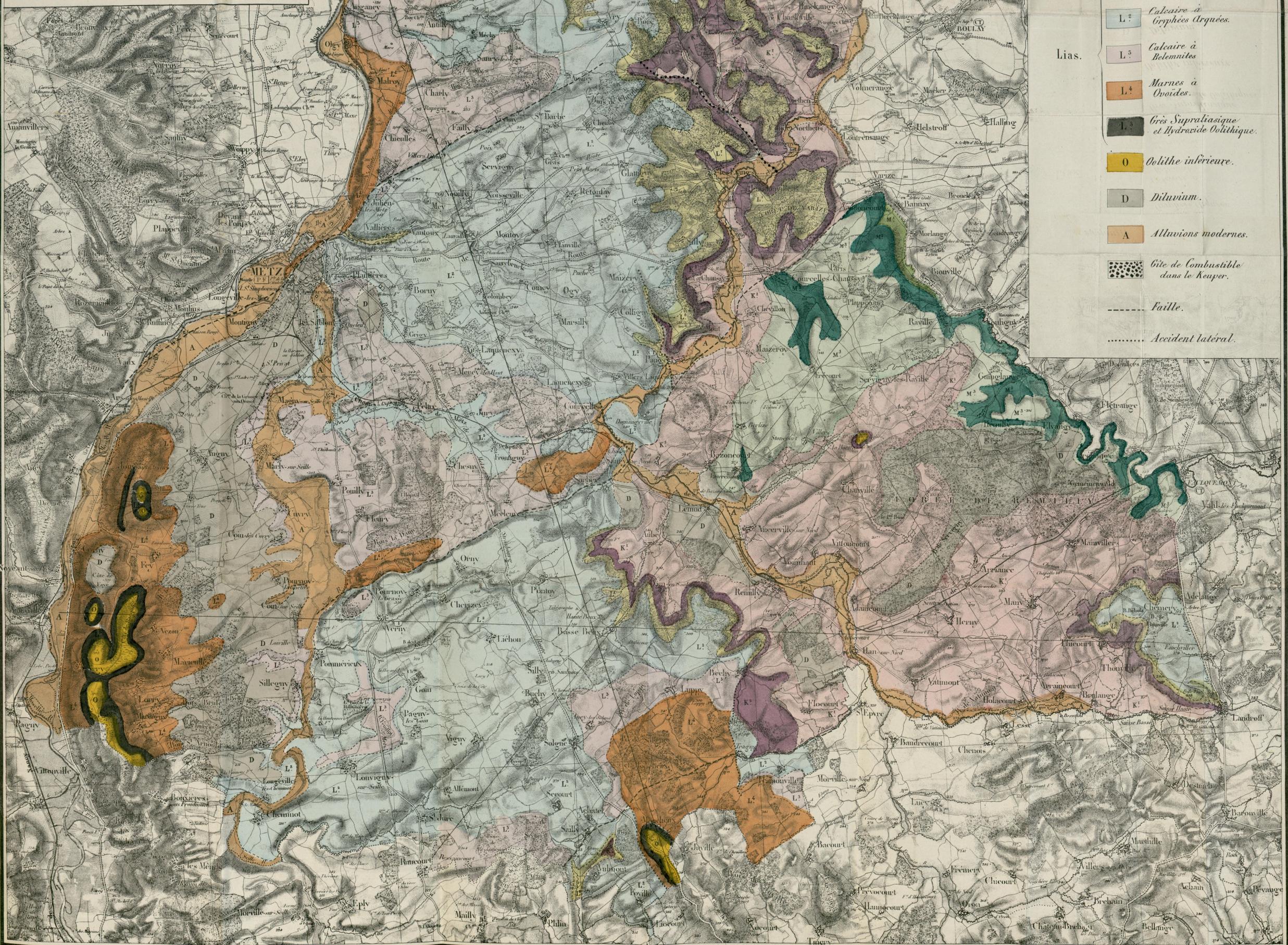
SUR LA CARTE DE FRANCE

Levée par les Officiers d'Etat-Major,

par

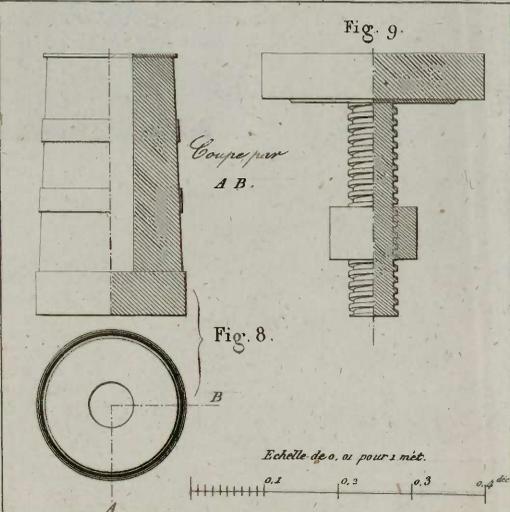
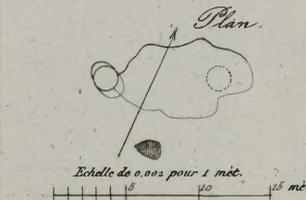
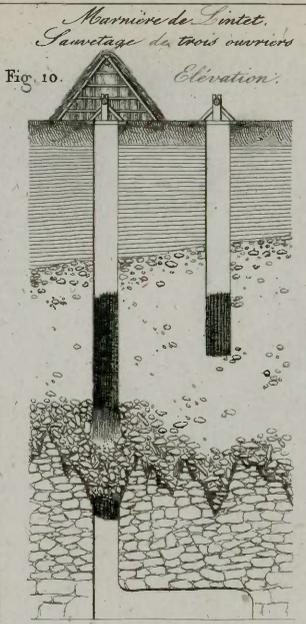
E. Jacquot, Ingénieur des Mines.

Publiée par V<sup>or</sup> Dalmont  
49, Quai des Grands Augustins.

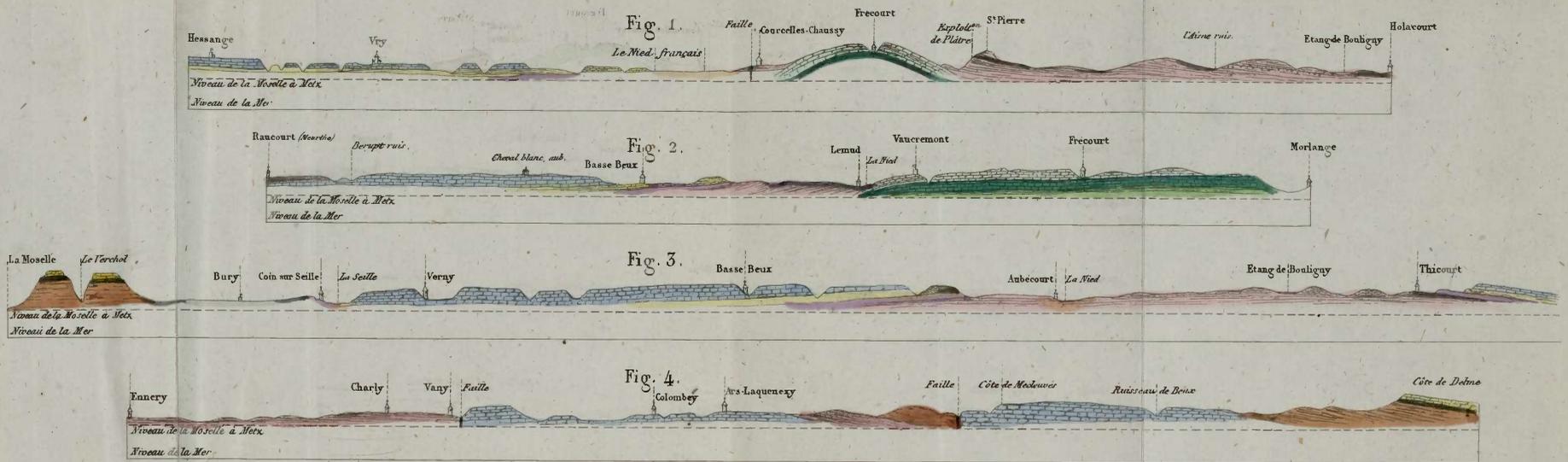


## LÉGENDE GÉOLOGIQUE.

- M<sup>1</sup> Groupe Marneux.
- M<sup>2</sup> Groupe Calcaire.
- M<sup>3</sup> Groupe Dolomitique.
- K<sup>1</sup> Etage inférieur.
- K<sup>2</sup> Etage supérieur.
- L<sup>1</sup> Grès infraliasique.
- L<sup>2</sup> Calcaire à Gryphes Arquées.
- L<sup>3</sup> Calcaire à Belemnites.
- L<sup>4</sup> Marnes à Ovoides.
- L<sup>5</sup> Grès Supraliasique et Hydrocèle Oolithique.
- O Oolithe inférieure.
- D Diluvium.
- A Alluvions modernes.
- Gîte de Combustible dans le Keuper.
- Faille.
- Accident latéral.



*Etudes géologiques sur le pays Meusien.*



Nota\* Les hauteurs ont été quadruplées.

<b>M</b> Groupe marnéux.	<b>K</b> Étage supérieur.	<b>I'</b> Calcaire à dolomites.	<b>D</b> Diluvium.
<b>A</b> Groupe calcaire.	<b>L'</b> Sables inférieurs.	<b>L</b> Marnes à sables.	<b>A</b> Alluvions modernes.
<b>M'</b> Groupe dolomitique.	<b>L</b> Calcaire à graptolites enroulés.	<b>L'</b> Marnes à sables supérieurs.	<b>C</b> Gîte de combustible dans le keuper.
<b>K'</b> Étage inférieur.	<b>L</b> Calcaire à graptolites enroulés.	<b>L'</b> Marnes à sables inférieurs.	

Voir la légende de la Carte (Pl. VIII)

