N° 433
(4)

ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

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

MM.

Combes, inspecteur général de 1re cl., membre de l'Académie des Sciences, directeur de l'École des mines, *président*.

Élie de Beaumont, inspecteur général de 1re cl. (en retraite), membre de l'Académie des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines.

De Boureuille, inspecteur général de 1re cl., secrétaire général du ministère des travaux publics.

De Billy, inspecteur général de 1re cl.

Piérard, inspecteur général de 1re cl.

Gruner, inspecteur général de 1re cl., professeur de métallurgie.

François, inspecteur général de 2e cl.

Dusouich, inspecteur général de 2e cl.

Daubrée, inspecteur général de 2e cl., membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie à l'École des mines et de géologie au Muséum.

MM.

Couche, inspecteur général de 2e cl., professeur de construction et de chemins de fer.

Harlé, inspecteur général de 2e cl.

Lefébure de Fourcy, insp. gén. de 2e cl.

Callon, ingénieur en chef de 1re cl., professeur d'exploitation.

Dupont, ingénieur en chef de 1re cl., professeur de droit des Mines.

Bayle, ingénieur en chef de 2e cl., professeur de paléontologie.

Delesse, ingénieur en chef de 2e cl., professeur d'agriculture.

Lamé-Fleury, ingénieur en chef de 2e cl., secrétaire du conseil général des mines.

Moissenet, ingén. ordinaire de 1re cl., professeur de docimasie, *secrétaire de la commission*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. l'ingénieur, secrétaire de la commission des* Annales des Mines, boulevard Saint-Michel, n° 60, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

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

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

PARIS. — IMPRIMERIE CUSSET ET Ce, RUE RACINE, 26.

N° 433 (4)

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.

SIXIÈME SÉRIE.

MEMOIRES. — TOME XIX.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vor DALMONT.

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont,

LIBRAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49

1871

N° 433
(4)

BIBLIOGRAPHIE.

—

PREMIER SEMESTRE DE 1871.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

BERTRAND. Traité de calcul différentiel et de calcul intégral. Calcul intégral. Intégrales définies et indéfinies. In-4, XII-725 p. (1496)

CHASLES. Rapport sur les progrès de la géométrie. Grand in-8, 393 p. (434)

CLAUSIUS. Introduction à la physique mathématique. De la fonction patentielle. In-8, XIV-141 p. (4632)

LESPIAULT. Théorie géométrique des tautochrones dans le cas où la force est fonction de l'arc à parcourir. In-8, 6 p. (121)

SALMON. Traité de géométrie analytique (sections coniques) contenant un exposé des méthodes les plus importantes de la géométrie et de l'algèbre modernes. In-8, XXV-564 p. (385)

2° *Physique et Chimie.*

BARBE. La dynamite, substance explosible inventée par M. A. Nobel, ingénieur suédois. In-8, 79 p. (4163)

BÉCHAMP. Analyse des eaux minérales acidules-alcalines-ferrugineuses du Boulou. In-8, 40 p. (224)

BOUSSINGAULT. Dosage du carbonage dans la fonte, le fer et l'acier. In-8, 43 p. (240)

DUCOS DU HAURON. Les couleurs en photographie et en particulier l'héliochromie au charbon. Traité contenant, dans leur état le plus récent, les formules et la mise en pratique du système de photographie des couleurs. In-8, 55 p. (2327)

EVANS et SMITH. Manuel de l'amirauté pour les déviations des compas. 3e édition, publiée par ordre des lords de l'amirauté, en 1869; traduite par M. A. Collet, enseigne de vaisseau. In-8, XL-277 p. et 9 pl. (235)

FLAMMARION. — La pluralité des mondes habités, étude où l'on expose les conditions d'habitalité des terres célestes, discutées au point de vue de l'astronomie, de la physiologie et de la philosophie naturelle. 15e édition. In-18 jésus, XIII-479 p. avec fig. (1683)

FRESENIUS et WILL. Guide pratique pour reconnaître et pour déterminer le titre véritable et la valeur commerciale des potasses, des soudes, des cendres et des manganèses, avec neuf tables de détermination. Traduit de l'allemand par le docteur G. W. Bichou, In-18 jésus, XI-229 p. (4462)

GOULIER. Mémoire sur le télomètre à prismes, appareils donnant la distance au but pour le tir des bouches à feu et les reconnaissances. In-8, 71 p. (3382)

JOHNSON. Préceptes de chimie agricole à l'usage des jeunes fermiers. In-8, 145 p. (3185)

KNAPP. — Traité de chimie technologique et industrielle. Traduit sur la 3e édition allemande, revu et augmenté, avec le concours de l'auteur, sous la direction de MM. E. Mérijot et A. Debize, ingénieurs des manufactures de l'État. T. Ier. Fascicules 1 et 2. Avec de nombreuses figures intercalées dans le texte et des planches séparées. In-8, VIII-1 à 320 p. Dunod. (5934)

Leçons de chimie professées en 1868 et 1869. Société chimique de Paris. In-8, 244 p. (6452)

LIEBREICH. L'hydrate de chloral. Traduit de l'allemand sur la 2e édition par Is. In-8, 71 p. (2995)

MICÉ. De la notation atomique et de sa comparaison avec la notation en équivalents. In-8, 78 p. (8154)

RAULIN. Études chimiques sur la végétation. Propositions données par la Faculté. Thèses pour le doctorat ès sciences physiques. In-8, 215 p. et 1 pl. (2824)

REGNAULT. Relation des expériences entreprises par ordre de Son Exc. M. le ministre des travaux publics et sur la demande de la commission centrale des machines à vapeur, pour déterminer les lois et les données physiques nécessaires au calcul des machines à fer. T. III, in-4, 968 p. et 5 pl. (5714)

ROBERT. Notice sur l'eau sulfatée-calcique, alcaline et lithinée de Martigny-les-Bains, près Lamarche (Vosges). In-13, 36 p. et carte. (631)

SACC. Éléments de chimie organique ou asynthétique (2e partie). In-18 jésus, 432 p. (1070)

SANNA-SOLARO. Recherches sur les causes et les lois des mouvements de l'atmosphère. Vents rectilignes. In-8, VIII-466 p. et 2 pl. (1072)

SCHUTZENBERGER. Sur le rôle de l'acide hyperchloreux en chimie organique et sur une nouvelle classe d'anhydrides mixtes. Leçon professée devant la Société chimique, le 14 avril 1868. In-8, 44 p. (1266

TAIT. Esquisse historique de la théorie dynamique de la chaleur. Traduite par M. l'abbé Moigno et M. Alfred le Gyre. gr. in-8, XII-204 p. (1435)

THIRIAT. Météorologie agricole du canton de Remiremont en 1869. In-16, 62 p. et tableaux. (7334)

VILLE. Les engrais chimiques. Entretiens agricoles donnés au champ d'expériences de Vincennes, dans la saison de 1868. Gravures et planches. T. II, in-18 jésus, 409 p. (2678)

WURTZ. Leçons élémentaires de chimie moderne. 2e édition, revue et augmentée, avec figures dans le texte. In-18 jésus, 669 p. (991)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

ADAM. Tableau minéralogique. In-8 oblong, IX-106 p. Dunod. (415)

Annuaire des marées des côtes de France pour l'an 1871, par M. Gaussin, ingénieur hydrographe de 1re classe, et M. Bouillet, élève ingénieur. In-18, VIII-308 p. (5233)

BOISSE. Esquisse géologique du département de l'Aveyron. In-8, XVI-489 p. et 1 carte. (1508)

BOUHY. Notice sur la fabrication du plomb au four à réverbère, à la Société de la Nouvelle-Montagne, à Engis (Belgique). In-8, 80 p. et 2 pl. Dunod. (4177)

BOURGUIGNAT. Histoire du Djebel-Thaya et de ses ossements fossiles recueillis dans la grande caverne de la mosquée. Grand in-4, 112 p. avec fig., 3 cartes et 13 pl. (5031)

BURAT. Comité des houillères françaises. Les houillères en 1869. In-18, 178 p. (2904)

COMBES. Études sur la géologie, la paléontologie et l'ancienneté de l'homme dans le département du Lot-et-Garonne. In-8, 112 p. (6550)

DELFORTRIE. Les Chéloniens du miocène supérieur de la Gironde. In-4, 44 p. et 8 pl. (7156)

DES MOULINS. Rapport à l'Académie de Bordeaux sur deux mémoires de MM. Linder et le comte Alexis de Chasteigner, et

réplique aux observations critiques de M. Raulin sur ce rapport, suivie d'une note additionnelle relative à deux fossiles du sud-ouest. In-8, 41 p. (8209)

DOLFUS-AUSSET. Matériaux pour l'étude des glaciers. T. I (3e partie). Auteurs ayant traité des hautes régions des Alpes et des glaciers. In-8, 525 p. (1713)

DOLFUS-AUSSET. Matériaux pour l'étude des glaciers. T. VIII, 3e partie. Observations météorologiques et glaciaires. Résumé et aide-mémoire. In-8, 489 p. (1527)

DUMORTIER. Sur quelques gisements de l'oxfordien inférieur de l'Ardèche. In-8, 89 p., 6 pl. (2418)

FRONTAULT. Essai sur la transformation de la métallurgie au bois dans l'Ariége. In-8, 78 p., Dunod. (2197)

GONNARD. Minéralogie du département du Puy-de-Dôme. In-8, VII-80 p. (7199)

GRAS. Traité élémentaire de géologie agronomique, avec des applications à diverses contrées et particulièrement au département de l'Isère. In-8, VII-632 p. (6956)

GRUNER. Étude sur l'acier. Note sur les propriétés des aciers phosphorés. In-8, 23 p., Dunod. (4249)

HELLAND. Notice géologique sur les rochers de Mortain, lue à l'association normande, dans sa séance du 23 juin 1870. In-8, 19 p. (1965)

JACQUOT. Description géologique, minéralogique et agronomique du département du Gers, 1re partie. Description géologique. In-8, XXIII-158 p. (1711)

LENNIER. Études géologiques et paléontologiques sur l'embouchure de la Seine et les falaises de la haute Normandie. In-4, XVI-245 p. et atlas de 12 pl. (3424)

LEVALLOIS. Remarques sur les relations du parallélisme que représentent dans la Lorraine et dans la Souabe les couches du terrain dit marnes irisés ou keuper. In-8, 48 p. (1342)

LEYMERIE. Aperçu analytique des principaux travaux géologiques et minéralogiques publiés jusqu'en 1870. In-8, 48 p. (802)

MAGNAN. Études des formations secondaires des bords sud-ouest du plateau central de la France entre les vallées de la Vèze et du Lot. Découverte dans ces régions du permien, du muschelkack, du keuper et de l'infralias. In-8, 86 p. et carte. (808)

MARTIN. Les glaciers du Morvan. Trois journées d'excursion dans les environs de Semur et d'Avallon. In-8, 35 p. (4934)

NOGUÈS. Rapport non officiel sur l'Exposition. La minéralogie et la minéralurgie à l'Exposition universelle de 1867. In-8, 340 p. (347)

ORTLIEB et CHELLONEIX. Étude géologique des collines tertiaires du département du Nord comparées avec celles de la Belgique. In-8, 225 p. et 8 pl. (1758)

PÉRON. Sur les terrains jurassiques supérieurs en Algérie. In-8, 16 pages. (1601)

RAULIN. Description physique de l'île de Crête. 2 vol. in-8, 1078 p. et 21 pl. (3491)

TOURNOUER. Sur l'âge géologique des mollasses de l'Agenais, à propos de la découverte de nouveaux débris d'élotherium magnum et de divers autres mammifères dans les terrains tertiaires d'eau douce du département de Lot-et-Garonne. In-8, 41 p. (5800

— Études sur les terrains tertiaires du S.-O. de la France. Recensement des échinodermes du calcaire à astéries (étages sonnien d'Orb). In-8, 46 p. et 3 pl. (979)

— Sur des nummulites et une nouvelle espèce d'échinide trouvées dans le miocène inférieur ou oligocène moyen des environs de Paris. In-8, 9 p. (5799)

WOODWARD. Manuel de conchyliologie, ou histoire naturelle des mollusques vivants et fossiles, avec 23 pl. contenant 579 fig. et 297 grav. dans le texte. In-8, III-661 p. (3906)

4e *Mécanique appliquée. — Exploitation et droit des mines.*

COLLIGNON. Cours de mécanique appliquée aux constructions. 2e partie. Hydraulique. In-8, VI-610 p. avec tableaux et fig. Dunod. (5859)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le ministre de l'agriculture et du commerce. Table générale des t. XLI à LX. In-4, 346 p. (6926)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le ministre de l'agriculture et du commerce. T. LXIX. In-4 à 2 col., 491 p. et 40 pl. (3347)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844. publiée par les ordres de M. le ministre de l'agriculture et du commerce. T. LXXI. In-4 à 2 col., 463 p. et 50 pl. (8207)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844. T. LXXII. In-4, à 2 col., 500 p. et 46 pl. (740)

JACQMIN. Des machines à vapeur. Leçons faites en 1869-70, à l'École des ponts et chaussées, 2 vol. in-8, XXXIX-957 p. (3993)

MACQUORN-RANKINE. Théorie du vélocipède. Sur les lois de l'écoulement de la vapeur. In-18 jésus, 60 p. (7248)

PIARRON DE MONDÉSIR. Dialogues sur la mécanique; méthode nouvelle pour l'enseignement de cette science. Résultats scientifiques nouveaux. In-8, VII-400 p. (6490)

PONCELET. Introduction à la mécanique industrielle physique ou expérimentale. In-8, XIII-757 p. et 3 pl. (5572)

RICOUR. Tube d'inversion. Critique scientifique et historique. In-8, 45 p. Dunod. (2190)

ROLLAND. Emploi du flux et reflux de la mer comme force motrice au moyen d'appareils désignés sous le nom de marémoteurs. In-8, 12 p. (3049)

ROUSSEL. Étude sur un moteur hydraulique inventé par M. de Canson et sur son application aux scieries. In-8, 34 p. et 1 pl. (2837)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

BASSOMPIERRE-SEWRIN et DE VILLIERS DU TERRAGE. Mémoire sur le pont du Point-du-Jour et sur les ouvrages d'art de la section du chemin de fer de ceinture comprise entre Auteuil et Javel. In-8, 52 p. et 3 pl. Dunod. (2268)

CLAUDEL et LAROQUE. Pratique de l'art de construire : maçonnerie, terrasse et plâtrerie. Connaissances relatives à l'exécution et à l'estimation des travaux de maconnerie, de terrasse et de plâtrerie et en particulier de ceux du bâtiment. Ouvrage utile aux ingénieurs, architectes, inspecteurs, etc. 4e édition, revue et considérablement augmentée. In-8, XXVIII-756 p. Dunod. (2303)

DAGAIL. Des chemins de fer d'intérêt local. Mémoire sur un chemin de fer de Pons à Royon (Charente-Inférieure). Évaluation comparative de chemins à voie de 1 mètre et à voie ordinaire, avec une note sur le chemin de fer à un rail (système Larmanjat). In-8, IV-88 p. Dunod. (2175)

DAGAIL. Des chemins de fer d'intérêt local. Chemins établis sur l'accotement des routes pour 20 à 25 000 francs le kilomètre, matériel roulant compris. In-8, 16 p. (2175)

DAGAIL. Des chemins de fer d'intérêt local. Avantages des compagnies locales. In-8, 65 p. Dunod. (2174)

DAGAIL. Des chemins de fer d'intérêt local, ou chemins à faible trafic. Chemins à voie étroite. In-8, V-126 p. Dunod. (1144)

HITTORFF et ZANTH. Architecture antique de la Sicile. Recueil des monuments de Ségeste et de Sélimante; suivi de recherches sur l'origine et le développement de l'architecture religieuse chez les Grecs. Texte avec un atlas de 89 pl. In-4°, XXIX-684 p. (5335)

HOREAU. Notes sur la locomotive routière à bandages en caoutchouc de M. R. W. Thomson, d'Édimbourg. In-8, 15 p., tableau et pl. (3399)

LE CORDIER. Chemins de fer d'intérêt local. Description d'un nouveau mode de construction et d'exploitation. In-8, 30 p. (2452)

LEVEL. De la construction et de l'exploitation des chemins de fer d'intérêt local. Études pratiques suivies de considérations économiques et techniques sur les chemins de fer à transbordement. In-8, VIII-640 p. Dunod. (3206)

LINDER. Du nombre des freins qu'il convient d'introduire dans les trains de chemin de fer. In-8, 32 p. (947)

REYNAUD. Traité d'architecture. 2e partie : composition des édifices, études sur l'esthétique, l'histoire et les conditions actuelles des édifices. In-4, 616 p. et atlas de 92 pl. Dunod. (4745)

6° *Sujets divers.*

Agenda Oppermann à l'usage des ingénieurs, architectes, agents-voyers, conducteurs de travaux, mécaniciens, industriels, entrepreneurs. In-18, 192 p. Dunod. (201)

Annuaire du ministère des travaux publics pour l'année 1870. In-8, 431 p. Dunod. (2869)

Annuaire des fonctionnaires du ministère des travaux publics en résidence à Paris et des administrations ressortissant au ministère. In-12, 130 p. (9)

AUCOC. Conférences sur l'administration et le droit administratif faites à l'École des ponts et chaussées. In-8, 544 p. Dunod. (7956)

BASSET. Guide théorique et pratique du fabricant d'alcools et du distillateur. 2e partie. Œnologie, avec de nombreuses figures intercalées dans le texte. In-8, 867 p. (2879)

BLANC. Grammaire des arts du dessin, architecture, sculpture, peinture, jardins, gravure en pierres fines, gravure en médaille, gravure en taille-douce, eau-forte, manière-naire, aquatinta, gravure en bois, camaïeu, gravure en couleur, lithographie. Grand-in-8, 752 p. (5026)

BOUSQUET. Guide pratique d'architecture navale, à l'usage des capitaines de la marine du commerce appelés à surveiller les constructions et les réparations de leurs navires. In-8 jésus, 102 p. (2899)

CHEVREUL. De la méthode *à posteriori* expérimentale et de la généralité de ses applications. In-18 jésus, 409 p. Dunod. (1101)

COMTE. Lettres d'Auguste Comte à M. Valat. In-8, VII-354 p. (6351)

Conférences militaires à l'usage de la garde sédentaire et de la garde mobile (8 fascicules). In-18, 231 p. (442)

CORDOIN, Tarif usuel selon le système métrique pour la réduction des bois quarrés et des bois en grume, mesurés de 3 en 3 centimètres pour les grosseurs et de 25 en 25 centimètres pour les longueurs, conformément à la délibération de l'assemblée générale des entrepreneurs de charpente du département de la Seine. 12e édition. In-12, 144 p. et 1 pl. Dunod. (1706)

DAGRON. La Poste par pigeons voyageurs, souvenirs du siége de Paris, spécimen identique d'une des pellicules de dépêches portées à Paris par pigeons voyageurs, photographiés par Dagron, seul photographe du gouvernement pour toutes les dépêches officielles et privées sur pellicule. Notice sur le voyage du ballon le Niepce emportant M. Dagron et ses collaborateurs, et sur la mission qu'ils avaient à remplir. In-12, 24 p. (2177)

DEBONLIEZ et FINK. Manuels-Roret. Nouveau manuel complet de bronzage des métaux et du plâtre, traitant des enduits et des peintures métalliques. Suivi de la peinture et du vermissage des métaux et du bois. In-18, 272 p. (3343)

DOPPELMAIR (DE). Expériences comparatives exécutées en 1868, près de Berlin, avec un canon prussien en acier Krupp, se chargeant par la culasse, et le canon de Woolwich de 228mm,6. Traduction du journal de l'artillerie russe, 1869. In-8, XXIV-126 p. et 6 pl. (5674)

DOUILLOT. Hygiène militaire. Casernement, chauffage, bains, alimentation, aperçu comparatif du régime alimentaire dans les armées d'Europe, hygiène morale. In-18 jésus, 286 p. (509)

DURAND. Tablettes du directeur d'usine à gaz. Jurisprudence; question administrative en matière d'éclairage soumise au conseil d'État, depuis l'origine de l'industrie du gaz jusqu'au 31 décembre 1868. Gr. in-8, 359 p. (2562)

FAVÉ. La décentralisation. In-8, 117 p. (3599)

FLAMMARION. Les mondes imaginaires et les mondes réels, voyage pittoresque dans le ciel, revue critique des théories humaines, scientifiques et romanesques, anciennes et modernes, sur les habitants des astres. 8e édition. In-18 jésus, IV-581 p. (2947)

FLEMEING. De l'influence de la pression atmosphérique et de l'altitude sur la santé et les maladies de l'homme et des animaux. In-8, 89 p. (4664)

FREYCINET (DE). Principes de l'assainissement des villes, comprenant la description des principaux procédés employés dans le centre de l'Europe occidentale pour protéger la santé publique. In-8, X-432 p. et atlas de 18 pl. Dunod. (6241)

FREY. Traité d'histologie et d'histochimie. Traduit de l'allemand sur la 3e édition, par le docteur Spillmann, avec des notes et un appendice sur la spectroscopie du sang, par le docteur Ranvier, avec 530 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. In-8, XI-789 p. (7617)

GAND. Enseignement technique. Tissage, métiers à lames. Le tissage à bras et le tissage mécanique au point de vue de l'enseignement technique. In-8, 14 p. (241)

GRANDVOINNET. Meuleurie. Étude sur le gisement, l'exploitation et le travail de pierres employées à la fabrication des meules. In-8, 44 p. (3384)

GRIMAUD DE CAUX. De septembre 1870 à février 1871. L'Académie des sciences pendant le siége de Paris. In-18 jésus, XXXII-244 p. (1178)

LARCHER. Quelques mots sur le passé, le présent et l'avenir de l'acclimatation dans notre région. In-8, 24 p. (684)

LEBLANC. Étude des modifications nécessaires dans l'organisation du service télégraphique. In-8, 48 p. (564)

LEVASSEUR. L'Europe (moins la France), géographie et statistique. La géographie physique. Les révolutions de l'Europe. Les îles britanniques. Les Pays-Bas. L'Europe centrale. L'Europe méridionale. La Russie. Les États scandinaves. La comparaison des forces productives. In-18 jésus, XI-472 p. (1198)

MARCHAND. Étude sur l'emploi du gaz sulfhydrique pour la destruction du phyllorera vastatrix ou puceron souterrain qui attaque les racines de la vigne, et sur l'efficacité de ce gaz contre l'oïdium. In-8, 16 p. (3433)

MASURE. Études sur les terrains agricoles de la Sologne. In-8, 524 p. et 7 pl. (6195)

Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France. T. XXXVI. In-4, LXIV-947 p. (4940)

MORIÈRE. Résumé de conférences agricoles sur l'industrie beurrière. In-16, 67 p. (3455)

NADAR. Les ballons en 1870. Ce qu'on aurait pu faire, ce qu'on a fait. In-18, 34 p. (325)

NADAULT DE BUFFON. Traité des eaux de source et des eaux thermales, à l'usage des magistrats, juges de paix, avocats, etc. In-8., XV-665. (1215)

PASTEUR. Études sur la maladie des vers à soie, moyen pratique assuré de la combattre et d'en prévenir le retour. T. I. La pébrine et la flacherie. T. II. Notes et documents. In-8, XII-655 p. et 38 pl. (3691)

PETIT. Les engrais chimiques dans le sud-ouest. In-8, XIII-102 p. (4733)

PIERREL. Manuel d'archéologie pratique, 2e édition revue, corrigée, considérablement augmentée et suivie d'un atlas de 25 pl. In-18 jésus, XXVII-460 p. (7667)

Programme des conditions d'admissiom à l'École centrale des arts et manufactures, année 1870. In-32, 32 p, (4327)

Règlement sur le service des bouches à feu, approuvé par le ministère de la guerre le 17 avril 1869, titres 1, 2, 3, 4, 5 et 6. 2 vol. in-18, 273 p. (2316)

Règlement sur le service des bouches à feu, approuvé par le ministre de la guerre le 17 avril 1869, titres 3, 4, 5 et 6. In-18, 233 p. (3493)

REY. Commentaire de la loi du 21 avril 1810, sur les mines précédé de réflexions sur les vicissitudes et l'état présent des doctrines en cette matière. In-8., XIV-458 p. (7036)

ROBERT. La suppression des grèves par l'association aux bénéfices. Conférence à la Sorbonne, le 27 décembre 1869; avec des notes relatives aux établissements industriels dans lesquels les ouvriers sont associés aux bénéfices du patron. In-18 jésus. (1842)

SAUMALE. Guide du mineur militaire. Grand in-18, 106 p. (7930)

SURELL. Étude sur les torrents des Hautes-Alpes. T. I. In-8., XV-325 p. Dunod. (3272)

—Étude sur les torrents des Hautes-Alpes, 2e édition, avec une suite par Ernest Cézanne, ingénieur des ponts et chaussées. T. I. In-8., XII-329 p. Dunod. (2465)

SUSANE. Avant et depuis la guerre. In-18 jésus, 35 p. (712)

TRAUZL. La dynamite, substance explosive inventée par M. A. Nobel, ingénieur suédois. In-18, 127 p. et 2 pl. (7067)

WURTZ. Les hautes études pratiques dans les universités allemandes. In-4., 105 p. et 17 pl. (3521)

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1870.

OUVRAGES ALLEMANDS.

SANDBERGER. *Die Land-und Süsswasser-Conchylien...* Coquilles fossiles terrestres et d'eau douce (Wiesbaden).

Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie... Rapport annuel sur les progrès de la chimie et des parties des autres sciences qui s'y rattachent, par Ad. Strecker, avec le concours de Th. Engelbach, Al. Naumann et W. Städel. Année 1868 (Giessen).

LANDGREBE. *Mineralogie der Vulkane...* Minéralogie des volcans. (Cassel).

VON LANG. *Krystallographisch-optische Bestimmungen...* Déterminations cristallographiques (Vienne).

MANZONI. *Bryozoi fossili italiani...* Bryozoaires fossiles de l'Italie (Vienne).

MAYER. Catalogue systématique et descriptif des fossiles des terrains tertiaires qui se trouvent au musée fédéral de Zurich. 4e cahier : Mollusques, famille des Panopéides. (Zurich).

MÜNICHSDORFER. *Geschichte des Hüttenberger Erzberges...* Histoire de la mine de Hüttenberg (Klagenfurt).

KÖRNICH. *Geologie der Umgegend von Meissen...* Géologie des environs de Meissen (Meissen).

KUPELWIESER et SCHÖFFEL. *Die Kohlenreviere von Ostrau...* Les districts houillers d'Ostrau, Rossitz, Fünfkirchen, Kladno, Pilsen et Miröschau, et propriétés spéciales de leurs charbons au point de vue de la fabrication du coke pour les hauts fourneaux; rapports faits par ordre du ministère de l'agriculture, sous la direction de R. von Tunner (Vienne).

Organ für die Fortschritte... Organe pour les progrès techniques des chemins de fer, par Heusinger von Waldegg. Supplément (Wiesbaden).

BACH. *Geognostische Karte von Würtemberg...* Carte géologique du Würtemberg, grand-duché de Bade et Hohenzollern, d'après les documents officiels et les travaux de Gümbel, Sandberger, Schill et Vogelgesang, avec le concours de O. Fraas. Échelle de $\frac{1}{450.000}$ (Stuttgard).

BOUÉ. *Ueber erratische Blöcke...* Sur les accumulations de blocs

erratiques dans les grès et les conglomérats secondaires et tertiaires (Vienne).

BOUÉ. *Mineralogisch-geognostisches Detail...* Détails minéralogiques et géologiques sur quelques-uns de mes voyages dans la Turquie d'Europe (Vienne).

— *Ueber die verschiedenartige Bildung...* Sur les divers modes de formation des montagnes ou des masses de rochers isolées (Vienne).

H. VON DECHEN. *Geognostische Karte der Rheinprovinz...* Carte géologique des provinces du Rhin et de Westphalie, échelle de $\frac{1}{80.000}$. Feuilles de Lüdenscheid et de Crefeld (Berlin).

REUSS. *Oberoligocäne Korallen...* Coraux de l'oligocène supérieur de Hongrie (Vienne.)

SCHRAUF. *Studien an der Mineralspecies...* Études sur la labradorite (Vienne).

SUESS. *Ueber Ammoniten...* Sur des ammonites (Vienne).

UNGER. *Geologie der Europäischen Waldbäume...* Géologie des arbres forestiers d'Europe : arbres à feuilles aciculaires (Graz).

— *Ueber Lieschkolben...* Sur des massettes (*Typha*) fossiles (Vienne).

Annalen der Chemie und Pharmacie... Annales de chimie et de pharmacie, par Fr. Wöhler, Just. Liebig et H. Kopp. Supplément (Leipzig).

BELL. *Ueber die Entwicklung und Verwendung der Wärme...* Sur la production et l'emploi de la chaleur dans les hauts fourneaux à fer de différentes dimensions; traduit et annoté par P. Tunner (Leipzig).

Erfahrungen im berg-und hüttenmännischen Maschinen-Bau... Expériences touchant l'exploitation des mines, les machines et la préparation mécanique; recueil fait à l'aide des communications de l'administration des mines, usines et salines impériales d'Autriche, par P. von Rittinger; année 1869 (Vienne).

FOETTERLÉ. *Uebersichtskarte das Vorkommens...* Carte générale du gisement, de la production et de la circulation du combustible minéral en Autriche pendant l'année 1868 (Vienne).

LEO. *Die Steinkohlen Central-Russlands...* Les houilles de la Russie centrale, avec considérations spéciales sur leur étendue, leur recherche, leur exploitation et leur emploi (Saint-Pétersbourg).

Abhandlungen der Königlichen Akademie... Travaux de l'Académie royale des sciences de Berlin. Année 1869 (Berlin).

Bibliotheca historico-naturalis, physico-chemica et mathematica... ou Revue systématique des ouvrages récents, allemands et étrangers, sur les sciences naturelles et mathématiques, par H. Guthe. 20e année (Gœttingue).

Bibliotheca mechanico-technologica et œconomica... ou Revue systématique des ouvrages récents sur les arts mécaniques, les fabriques, manufactures, chemins de fer, etc., par W. Müldener. 9e année (Gœttingue).

BAUMHAUER. *Die Beziehungen zwischen dem Atomgewichte...* Relations entre le poids atomique et la nature des éléments chimiques (Brunswick).

Jahrbuch berg-und hüttenmännisches... Annales des mines et usines des écoles impériales des mines de Przibram et de Léoben, et de l'école royale hongroise des mines de Schemnitz, pour l'année scolaire 1868-69 (Prague).

Mémoires de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg. 7e série, tome XVI (Saint-Pétersbourg et Leipzig).

FRAAS. *Die Fauna von Steinheim...* La faune de Steinheim, avec considérations sur les restes de mammifères et d'oiseaux miocènes du bassin de Steinheim (Stuttgard).

KERPELY. *Bericht über die Fortschritte...* Rapport sur les progrès de la métallurgie du fer (Leipzig).

OUVRAGES ANGLAIS.

W. J. HENWOOD. *Observations on...* Des gisements métallifères et de la température souterraine. 2 vol. publiés à Penzance chez W. Cornish, 1871.

A. ADAMS. *Travels...* Voyages d'un naturaliste au Japon et dans la Mantchourie.

A. L. ADAMS. *Notes...* Notes d'un naturaliste à Malte et dans la vallée du Nil.

H. E. ROSCOE. *Spectrum analysis.* Analyse spectrale; six leçons faites en 1868.

W. T. SUFFOLK. *On microscopical manipulation.* De l'usage du microscope.

Sir W. FAIRBAIRN. *On the application...* De l'emploi du fer et de la fonte dans les édifices; 4e édition.

W. HUMBER. *Complete treatise...* Traité complet sur la construction des ponts en fer et en fonte; 3e édition.

Technological Dictionnary. Dictionnaire technologique, anglais, allemand, français; contenant les termes en usage dans les arts et les sciences, l'architecture civile, militaire et navale, etc...; publié par le Dr Oscar Mothes.

W. H. D. Adams. *Lighthouses and...* Phares et feux flottants.

J. Percy. *The Metallurgy of Lead.* Métallurgie du plomb, comprenant la désargentation et la coupellation.

Ch. Schinz. *Researches...* Recherches sur la théorie du haut fourneau.

G. C. Greenwell. *A practical treatise...* Traité pratique sur les machines à l'usage des mines; publié à Newcastle on Tyne.

W. J. M. Rankine. *A manual of steam Engine...* Manuel de la machine à vapeur et des autres moteurs; 5e édition.

L. Agassiz. *Scientific...* Résultats scientifiques d'un voyage au Brésil.

Mungo Ponton. *Earthquakes...* Tremblements de terre et volcans; historique; effets et causes probables..

Ch. L. Bloxam. *Metals...* Les métaux, leurs propriétés, leur traitement.

J. W. Grover. *Estimates...* Devis et diagrammes des ponts de chemin de fer.

W. L. Sargant. *Essays...* Essais d'un fabricant de Birmingham.

J. Tyndall. *Essays on the use...* Essai sur l'usage de l'imagination et les limites de son rôle dans la science.

W. A. Browne. *The money, weights and measures...* Les monnaies, poids et mesures des principaux peuples commerçants du monde.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

F. H. Ludlow. *The heart...* Le centre du continent nord-américain; voyage au travers des plaines et dans l'Orégon.

L. Feuchtwanger. *A practical treatise...* Traité pratique de l'emploi du verre de soude soluble pour silicifier les pierres, les mortiers, etc., et pour rendre les bois imputrescibles.

C. F. Hart. *Scientific results...* Résultats scientifiques d'un voyage au Brésil.

G. Kustel. *Roasting of gold and silver ores.* Grillage des minerais d'or et d'argent.

N° 433
(4)

ANNALES
DES MINES.

ÉTUDE SUR LE MINIUM.

NOUVEAU PROCÉDÉ DE FABRICATION.

Par M. Georges MERCIER, ingénieur civil des mines.

Ce qui frappe, lorsqu'on suit les opérations que l'on fait subir au massicot pour obtenir le minium, c'est d'une part la lenteur avec laquelle on arrive à constituer le minium, et, d'autre part, la production restreinte que donne chaque four; c'est qu'en général on recherche l'oxydation du massicot à l'étage supérieur ou sur la sole même du four dans lequel on a transformé le plomb en massicot.

En opérant de la sorte, on produit peu, et l'on soumet le succès d'une opération importante aux variations nombreuses de température que subit un appareil fonctionnant dans un double but.

Il m'a donc paru intéressant de rechercher dans quelles conditions de température se produit le minium, afin de pouvoir appliquer les résultats de cette étude à la construction d'un grand fourneau destiné à fabriquer économiquement le minium, c'est-à-dire un fourneau destiné à ne pro-

duire que du minium, aussi beau que le permet le massicot correspondant, en grande quantité et en peu de temps.

Je résumerai brièvement les quelques expériences que j'ai faites, les résultats que j'ai obtenus ; je terminerai en décrivant le fourneau qui me semble propre à obtenir les avantages que j'ai précédemment cités.

Le but de mes recherches est de produire du minium par un seul feu de quelques heures.

I. — Première série d'essais. — Emploi d'un four a réverbère a grande surface de chauffe.

Premier essai. — J'ai fait usage, comme combustible, de houille à longue flamme, et j'ai étalé sur la sole du four un mélange intime de 4 parties de massicot pour cristallerie et de 1 partie de massicot pour peinture.

Dans la fabrication ordinaire, le massicot tassé sur une certaine épaisseur est abandonné à une oxydation lente, qui gagne d'une face à l'autre ; de plus, la masse n'étant point travaillée, il faut que la partie la plus chauffée reste à une température inférieure à celle qui correspond à la décomposition du minium, les faces les moins chauffées sont donc à une température très-inférieure à celle qui amène la décomposition. De ces faits résultait, pour moi, la pensée d'arriver plus rapidement au minium en étalant le massicot, chauffant à une température convenable, puis donnant une série de coups de feu, tout en brassant d'une façon continue ; je me proposais ainsi, après avoir échauffé la masse, de lui donner un coup de feu produisant la température extrême que peut supporter le minium sans se décomposer ; je brassais, en même temps, pour mettre successivement toutes les couches de massicot à la plus haute température et au passage le plus direct de l'oxygène, et, du même coup, pour soustraire à chaque instant à la température la plus élevée la couche la plus chauffée. J'espérais gagner du temps par un mélange plus intime du massicot à l'oxygène de l'air et par l'obtention de la plus haute température possible pour toutes les molécules du massicot.

De quart d'heure en quart d'heure, je donnais un coup de feu de 10 minutes, accompagné de brassage, puis j'étalais le massicot sur la sole et j'abaissais la température du four assez pour n'avoir pas à craindre de décomposition. J'opérai ainsi pendant 4 heures. Enfin, j'étalai le massicot une dernière fois sur la sole, je bouchai hermétiquement toutes les ouvertures du four et j'attendis 15 heures.

Une demi-heure après le commencement de l'opération, j'avais constaté que le massicot avait pris une teinte rosée ; après le dernier brassage, la matière étalée avait une couleur jaune plus vive que celle du massicot primitif.

Quand j'ouvris le four, 19 heures après le début de l'essai, je le trouvai encore bien chaud ; la partie supérieure du massicot était d'un beau jaune serin ; en dessous de la couche jaune serin et au milieu de la sole, je trouvai une matière rouge pâle analogue à du minium de premier feu, et le long de l'autel un cordon de minium de belle couleur. Il résultait pour moi de ce qui précède que dans ce premier essai la température avait été trop élevée et que la présence des flammes était nuisible, car je n'avais obtenu un peu de beau minium que sous l'autel, à l'endroit le plus protégé contre les flammes.

Deuxième essai. — J'ai opéré sur la matière résultant du premier essai dans le but de constater si du massicot ayant été soumis à une température trop élevée et ayant formé la matière jaune serin, peut donner du minium sous l'action d'une température convenable.

J'ai cherché à supprimer les flammes et à avoir une température uniforme et suffisante ; pour y arriver, j'ai chauffé le four à la houille, j'ai jeté bas le feu, j'ai chargé la matière à expérimenter, puis j'ai alimenté le foyer au coke et j'ai brassé comme dans la première expérience.

J'ai constaté, dans cet essai, que la matière jaune résultant d'un massicot trop chauffé peut former du minium. J'ai obtenu, pour la masse entière, un minium de premier feu, et j'ai encore trouvé le long de l'autel une petite quantité de beau minium qui s'est formé en moins de 20 heures, ce qui prouve que l'on peut produire, dans des conditions convenables, du minium beaucoup plus rapidement que dans les fabrications ordinaires.

Troisième essai. — La température avait été trop élevée dans le premier essai, pas assez dans le second. Le coke avait localisé la chaleur dans les maçonneries voisines de la grille, et la sole n'avait pas été assez chauffée.

Dans la troisième expérience, j'ai cherché à avoir une température plus élevée dans toutes les parties de la sole, même les plus éloignées du foyer, en employant de la houille mélangée de coke et d'escarbilles, et à préserver la masse du contact des flammes qui me semblait mauvais; pour cela, j'ai marché avec un tirage restreint, chargeant le moins souvent possible et ayant soin, chaque fois que je voulais charger, de relever le massicot sur la paroi opposée au passage des flammes et d'ouvrir en grand le registre de la cheminée pour éviter le séjour des flammes au-dessus de la sole; quand les flammes se calmaient, je baissais le registre et j'étalais la matière sur la sole qui venait d'être échauffée.

J'ai râblé dans cette opération comme dans les deux premières, et j'ai prélevé des prises au milieu de la sole toutes les 30 à 40 minutes.

Les échantillons 1 et 2 montrent le passage du massicot au minium, puis la couleur rouge pâlit de 2 à 8, s'avive pour 8, 9 et 10, décroît de 10 à 12, croît pour 13, 14, 15; le minium est décomposé à la prise 16 et est reformé à la prise 18.

Des trois essais constituant la première série, j'ai conclu :

1° Que le minium pouvait se former dans un temps beaucoup plus court que celui ordinairement consacré à sa fabrication;

2° Que le minium décomposé par une température trop élevée, peut être reconstitué;

3° Que les flammes sont nuisibles;

4° Que dans un four à réverbère, il est très-difficile de maintenir, d'une façon constante, la température convenable.

II. — Deuxième série d'essais. — Emploi du four a moufle ordinaire.

Je décrivis à M. Rivot, mon cher maître, les premiers essais que j'avais tentés. C'est lui qui me conseilla l'emploi du moufle et qui me guida ensuite dans l'étude du four, que je donnerai plus loin, et qui n'est que l'application de mes recherches sur la fabrication du minium.

La deuxième série d'expériences diffère essentiellement de la première par plusieurs points.

1° J'avais reconnu que les flammes étaient nuisibles à la formation du minium, et qu'il était presque impossible de maintenir une température uniforme dans un réverbère; j'ai alors adopté pour mes essais de la deuxième série un four à moufle de laboratoire; le moufle avait $0^m,18$ de diamètre sur $0^m,25$ de longueur.

2° J'avais constaté que l'opération pénible du brassage n'avait pas sensiblement avancé la formation du minium : je l'ai supprimée. Je dirai enfin que le four à moufle était celui dans lequel l'oxydation pouvait être le plus facilement favorisée.

Premier essai. — J'ai brûlé comme combustible un mélange de coke et de charbon de bois. J'ai garni la sole du moufle d'une couche de 10 millimètres d'épaisseur de sulfate de baryte, pour préserver le minium d'un coup de feu par la sole, puis j'ai étalé par-dessus 1.500 grammes de mas-

sicot pour peinture, provenant de l'oxydation de plomb ordinaire; j'ai constamment marché avec la porte du cendrier close hermétiquement et le moufle ouvert en grand. Le tirage ne se faisait que par l'intérieur du moufle et la presque totalité de l'air entrant dans l'appareil passait sur le massicot.

Voici la succession des faits que j'ai pu observer :

A 5 *heures du matin*, le four est chargé et allumé; j'élève la température très-progressivement pour ne pas saisir et agglomérer le massicot.

6 *heures* 15 *minutes*. Les arêtes du moufle sont au rouge sombre.

7 *heures*. Je constate la formation du minium sur 2 millimètres d'épaisseur, à partir de la sole et sur la presque totalité de celle-ci.

8 *heures* 15 *minutes*. La proportion de minium a augmenté notablement; le minium affleure la surface libre sur les points les plus chauds.

9 *heures*. Le moufle atteint le rouge sombre en quelques endroits.

9 *heures* 25 *minutes*. Le minium s'est décomposé en partie. Je ne puis me rendre complétement maître de la température qui s'élève encore.

11 *heures*. Le moufle tout entier est au rouge sombre; le minium est complétement décomposé;

1 *heure après midi*. La température s'étant maintenue au rouge sombre, sans cependant augmenter, toute la masse est devenue d'un beau jaune serin.

A partir de 1 *heure*, je maintiens une température élevée, mais inférieure au rouge sombre.

3 *heures* 30 *minutes du soir*. La couleur jaune a disparu et fait place au rouge pâle.

6 *heures du soir*. Progrès sensible; la couleur rouge est plus foncée.

7 *heures* 30 *minutes*. Progrès très-marqué sur toute la sole; le fond du moufle est presque au rouge sombre.

Jusqu'à 2 heures du matin, j'entretiens une température voisine du rouge sombre, mais inférieure au rouge sombre; les arêtes seules du fond sont à cette température. A deux heures je retire le minium, et voici ce que je trouve :

aaa.	500 grammes.	Dépôt verdâtre, croûte dure de minium décomposé et aggloméré.
bbb.	1.000 grammes.	Beau minium.
ccc.	150 grammes.	Minium pâle.
ddd.	150 grammes.	Mince couche supérieure de minium incomplet, ayant encore besoin d'un feu.
ddd		Minium éclatant (contact immédiat en sens horizontal et vertical avec *a*).

La moyenne *b* et *c* est bonne et la moyenne *b*, *c*, *d* est encore livrable au commerce.

Cette expérience prouve :

1° Que le four à fabriquer le minium doit être analogue au four à moufle;

2° Qu'une température aussi uniforme que possible et voisine du rouge sombre, mais inférieure au rouge sombre, est convenable;

3° Que le râblage est inutile;

4° Que le minium peut être formé rapidement. Dans cet essai, il a suffi de 21 heures, et dans ces 21 heures il y a eu formation de minium, décomposition et reconstitution.

Deuxième essai. — Pour éviter les mélanges de sulfate de baryte et de minium, j'ai séparé les deux couches par une ardoise; j'ai tassé 1.200 grammes de massicot pour peinture sur une épaisseur de 0m.03, l'écartant des parois latérales et du fond du moufle qui avaient trop chauffé et aussi de l'entrée qui n'avait pas assez chauffé.

J'ai maintenu, d'une façon constante, la température convenable; aussitôt que quelques points du moufle chauf-

faient trop, j'ouvrais la porte de chargement et, coupant ainsi le tirage, j'abaissais la température ; la porte du cendrier est restée close hermétiquement et le moufle ouvert en grand. J'ai pu ainsi marcher sans décomposition, en progressant constamment, et je n'ai obtenu que deux produits, *b* et *c*, dont le mélange est d'une belle couleur, et cela en 20 heures; donc

On peut faire en 20 heures du minium pour peinture avec du massicot provenant de plomb du commerce.

Troisième essai. — L'essai a porté sur 1.200 grammes de massicot pour cristallerie d'une grande pureté. J'ai opéré identiquement comme dans la précédente expérience, mais à un certain moment la température s'est élevée et a atteint le rouge sombre pour tout le moufle; aussi ai-je constaté un commencement de décomposition, et j'estime que j'ai ainsi perdu au moins 4 heures. Cependant j'ai obtenu un beau minium pour cristallerie, d'une couleur éclatante, en 18 heures.

Sans la décomposition survenue à moitié de l'opération, je serais arrivé au produit marchand en 14 ou 15 heures. Dans l'essai n° 3, j'ai encore trouvé les deux produits *b* et *c* : ce fait tient à ce qu'à l'entrée du moufle, l'air aspiré est encore froid. Des essais 2 et 3 j'ai conclu :

1° Que le minium fabriqué rapidement peut être aussi beau que celui qu'on obtient lentement;

2° Qu'on produit tout minium à la même température, mais que la durée de l'opération varie avec la qualité du massicot et est d'autant plus courte que le massicot est plus pur.

Quatrième essai. — Dans cette expérience, je me suis proposé de déterminer l'augmentation du poids correspondant à la transformation du massicot en minium; je désirais constater si le maximum de poids répondait au maximum d'éclat du minium. J'ai fait usage, pour arriver au résultat, d'une plaque en tôle décapée, bien dressée, de dimensions un peu moindres que celles de la sole du moufle; cette plaque portait une mortaise à l'une de ses extrémités et permettait ainsi une facile sortie du four. Pour faire une pesée, j'introduisais un crochet dans la mortaise, je tirais la tôle hors du moufle et la portais aussitôt sur le plateau d'une balance.

Sur la plaque, j'ai tassé 500 grammes de massicot pur pour cristallerie et j'ai conduit l'opération comme les précédentes.

J'ai transformé le massicot en minium, tout en interrompant l'opération par de fréquentes pesées. Je constate, en passant, qu'à chaque pesée correspondait un refroidissement et, par suite, un retard dans la fabrication, ce qui explique pourquoi, dans cet essai, j'ai mis un temps plus long pour obtenir le résultat cherché.

Le minium une fois formé, après avoir constaté que le poids de la masse ne subissait plus de variation, j'ai porté le four à une température supérieure au rouge sombre, afin de décomposer le minium et d'arriver à la formation, au moins partielle, de la litharge. J'ai résumé, dans le tableau suivant, les différentes phases de l'opération; je donnerai ensuite l'interprétation des résultats.

NUMÉRO de la pesée.	DURÉE du séjour dans le four entre deux pesées consécutives.	DURÉE du séjour dans le four depuis le commencement de l'opération.	POIDS trouvé.	AUGMENTATION sur le poids précédent.	OBSERVATIONS.
			kilog.	grammes.	
1	0	0	1,4276	0	La plaque-tôle pesait 0^k,4276 et portait 0^k,500 massicot.
2	30′	30′	1,4265	— 1,1	Apparition de quelques parties rouges annonçant la formation du minium.
3	50′	1h,20′	1,4265	0	Progrès marqué vers la couleur rouge.
4	40′	2h	1,4270	+ 0,5	La masse entière est devenue rosée.
5	2h	4h	1,4284	+ 1,4	La masse est devenue plus foncée.
6	2h	6h	1,4302	+ 1,8	Sur une faible épaisseur, à partir de la sole, j'ai du minium assez beau.
7	2h	8h	1,4310	+ 0,8	Progrès.
8	3h	11h	1,4330	+ 2,0	Progrès.
9	5h	16h	1,4340	+ 1,0	Le minium est déjà assez beau pour pouvoir être livré au commerce.
10	2h	18h	1,4350	+ 1,0	Minium plus rouge que le précédent.
11	3h,40′	21h,40′	1,4350	0	Il y a eu progrès, le minium est éclatant. Pendant toute cette période de l'expérience, j'ai chauffé un peu plus que précédemment et j'ai laissé le moufle se couvrir de quelques plaques rouge sombre.
12	1h,5′	22h,45′	1,4283	— 6,11	Je maintiens la porte de chargement du four fermée; il y a grand tirage; les trois fentes du moufle brillent et le moufle passe d'abord au rouge sombre, puis atteint le rouge vif; le minium se décompose peu à peu, et quand je retire la plaque, je trouve, près des parois du moufle, une matière d'un beau jaune; au centre, un noyau de couleur grise avec mince couche superficielle rouge pâle; entre le noyau central et les bords, la masse est jaune gris. La partie inférieure de la matière jaune est agglomérée et à demi fondue.

1° Le minium formé en 18 heures pouvait être livré au commerce, mais il a fallu 21 heures 40 minutes pour obtenir

le maximum d'éclat. Avant d'arriver au résultat final, l'opération avait été interrompue par neuf pesées. J'admets que j'aie perdu 15 minutes à chaque pesée (depuis le moment où la plaque est tirée hors du moufle jusqu'à celui où la masse entière a repris sa température initiale), soit 2 heures 15 minutes pour neuf pesées; le massicot a donc séjourné 19 heures 25 minutes dans le moufle pour donner le minium d'éclat maximum. L'opération a duré plus longtemps que dans le troisième essai, parce que j'ai maintenu, avec intention, une température inférieure à la température extrême que peut supporter le minium. Je tenais à ne pas courir les chances de la décomposition, la durée étant, dans cet essai, d'une importance secondaire.

2° Le massicot contenait une notable proportion d'eau hygrométrique. La deuxième pesée m'a donné une augmentation de poids négative; le nombre obtenu est la différence entre l'augmentation résultant de l'oxydation et la diminution due à la perte d'eau.

3° Le minium de la onzième pesée était notablement plus beau, plus éclatant que celui de la dixième, et cependant le poids n'avait pas varié. J'avais constaté un fait analogue pour les pesées 3 et 2, j'en conclus que, dans le fait de la transformation du massicot en minium, il n'y a pas seulement absorption d'oxygène, mais qu'il y a encore une certaine modification de l'état moléculaire. Quand on passe du minium au tamis métallique, il est reconnu qu'on altère, qu'on diminue son éclat, et cela d'autant plus qu'on le tamise un plus grand nombre de fois. Je n'ai pas vérifié que dans ces opérations de tamisage, le minium ait conservé son poids, mais je ne pense pas qu'il y ait décomposition; il faut donc encore attribuer la perte d'éclat à un dérangement moléculaire.

Je dirai, en m'appuyant sur les résultats des pesées 10, 11, 12, que pour un poids donné de massicot, le minium le plus beau correspond à l'augmentation de poids

maxima, mais que cette augmentation atteinte, le minium peut encore gagner ou perdre en éclat par modification de l'arrangement moléculaire.

La transformation du minium en litharge est accompagnée d'une diminution de poids.

4° La quantité totale d'oxygène absorbé par le massicot pour donner du minium est d'environ 2 p. 100; le minium en se décomposant perd ce qu'il avait gagné.

J'ai fait de nouveaux essais en partant de massicots de qualités diverses, et j'ai constamment trouvé la vérification des quelques principes que je me suis efforcé de faire ressortir des expériences précédemment décrites. J'ai trouvé que la céruse produisait la mine orange en obéissant aux mêmes lois et que cette fabrication pouvait être au moins aussi rapide que celle du minium ordinaire.

Je crois inutile de passer en revue les autres essais auxquels je me suis livré ; je me contenterai de résumer, en terminant, les faits importants et utiles de la fabrication du minium.

Le massicot produit le minium par absorption d'oxygène et changement d'état moléculaire.

On peut obtenir ces résultats en maintenant le massicot à une température peu élevée; mais l'opération sera d'autant plus courte que la température sera plus constante et plus voisine du rouge sombre, sans atteindre le rouge sombre.

Tous les miniums se forment à la même température avec une rapidité et un éclat qui augmentent avec la pureté des massicots primitifs, 20 heures sont nécessaires aux massicots ordinaires, 15 à 18 suffisent aux massicots les plus purs.

Le minium fabriqué en quelques heures a autant d'éclat que celui qui est produit lentement.

Décomposé par une température trop élevée, le minium peut être reconstitué, sans que son éclat en soit amoindri.

Le four le plus convenable à la fabrication du minium est celui dans lequel la température peut être le plus facilement maintenue constante et le massicot préservé du contact des flammes, tout en étant exposé à un courant d'air continu facilitant sa transformation.

J'ai cherché à réunir ces avantages dans un appareil dont voici la description :

Le four (*fig.* 1, 2 et 3, Pl. I) est un grand moufle A dont la sole est formée d'une assise de briques *a* reposant sur des plaques en fonte juxtaposées *b* : ces plaques reçoivent directement l'action des flammes produites par la combustion de la houille sur deux grilles BB, placées à un niveau inférieur. Les pieds-droits et la voûte formant les parois latérale et supérieure du moufle n'ont qu'une épaisseur de $0^{m}.11$, et permettent ainsi une bonne utilisation de chaleur; à l'intérieur du moufle, les parois extérieures du four sont, au contraire, très-épaisses, elles s'opposent ainsi à la déperdition de calories, fonctionnent comme régulateur de température et soutiennent en même temps la maçonnerie légère du moufle proprement dit, par l'intermédiaire des piliers pleins *c*, liés à la maçonnerie extérieure et appuyant les tôles *dd* qui embrassent les pieds-droits et la naissance de la voûte du moufle. Les flammes, en sortant des foyers, lèchent les plaques *bb*, s'échappent par une série d'ouvertures *ee*, en face desquelles les tôles *dd* ont été découpées et montent dans les cheminées verticales *ff* dont le tirage est réglé, pour chacune, par un registre *g* facilement manœuvrable; elles entourent alors la voûte du moufle en suivant les canaux CC et rencontrent, à la partie supérieure, une cloison *h* en tôle qui leur donne le parallélisme et les dirige dans les deux tuyaux DD, aboutissant à une cheminée de 10 mètres par le tuyau unique E, muni d'un papillon *k*.

Voici de quelle manière on pourra opérer avec un semblable four :

Je suppose que l'opération précédente soit terminée, on jettera bas les feux et on nettoiera les grilles, puis on enlèvera le minium formé soit au moyen de longues pelles introduites par les portes FF, soit en poussant le minium vers une ouverture pratiquée dans la sole, à l'arrière du four; cette ouverture fermée, pendant l'opération, par une plaque recouverte de minium, correspond à une trémie en forte tôle ou en briques ménagée dans l'épaisseur de la maçonnerie G et sous laquelle pourront circuler de petits wagons en tôle, se mouvant dans une galerie percée à travers le massif H.

Le minium une fois enlevé, on replacera la plaque bouchant la décharge et l'on procédera au chargement du massicot soit par les portes F, soit par deux trémies en tôle perçant les maçonneries des voûtes. On pourra remplir les trémies au moyen de wagons s'ouvrant par le fond et circulant sur le four. On étalera le massicot uniformément sur une épaisseur de $0^m,20$, on bouchera les ouvertures FF au moyen d'une maçonnerie sèche, dans laquelle on ménagera quelques regards ; on ouvrira en grand tous les registres *gg*, ainsi que l'obturateur *j*, et seulement à peine le papillon *k*; on regarnira les foyers BB et l'on chauffera à la température convenable indiquée par les essais qui précèdent.

La fabrication du minium n'est point difficile, mais elle demande une attention soutenue; si l'on voit la voûte du moufle chauffer trop en certains points, on agira sur les registres *gg* correspondant à ces points; si le four chauffe uniformément, mais trop ou trop peu, on agira sur les foyers et sur le papillon *k*. L'obturateur *j* sera convenablement réglé; il faut qu'il passe assez d'air pour produire une bonne oxydation, et il ne faut pas en même temps que le courant soit assez rapide pour produire l'entraînement d'une notable quantité de massicot.

Dans le cas où l'on aurait, par une fausse manœuvre, dépassé par trop la température convenable, on pourra produire un refroidissement rapide en dégageant les ouvertures FF et ouvrant en grand l'obturateur *j*. Les orifices II communiquent au moyen de tuyaux en tôle *ll*, facilement démontables, avec une caisse de même métal L, reliée à la cheminée par le canal *m*; de temps en temps on nettoiera la caisse L destinée à recueillir le massicot et le minium entraînés, qu'on chargera de nouveau sur la sole du four. Après chaque opération, on produira un refroidissement qui, tout en rendant le défournement et le chargement moins pénibles, préservera le massicot nouvellement étalé sur la sole d'un saisissement qui l'agglomérerait et rendrait nécessaire le tamisage du minium; or il est certain que le tamisage enlève de l'éclat au minium, on doit donc l'éviter. Il faut tamiser le massicot avant son introduction dans le four, éviter les coups de feu, défourner le minium et le livrer directement au commerce sans tamisage. Si l'agglomération se produisait, par suite de la mauvaise conduite du feu, il faudrait passer le minium au rouleau en bois qui, à ce qu'il semble, est beaucoup moins nuisible que le tamis.

Avec un four semblable à celui que je viens de décrire, en bonne allure et travaillant sans interruption, on peut produire environ quatre tonnes de minium par 24 heures. C'est vingt fois plus que ce que l'on obtient dans certaines usines où l'on veut utiliser pour la fabrication du minium la chaleur produite dans les fours où l'on prépare le massicot.

La dépense en combustible sera faible : une fois que le four aura atteint la température convenable, la masse énorme des maçonneries sera d'un grand secours pour maintenir la chaleur avec de faibles additions de combustible.

Bien que cette étude sur le minium soit loin d'être achevée, j'ai pensé que les essais que j'ai décrits et les conséquences que j'en ai tirées pouvaient être de quelque utilité à ceux qui s'occupent de la fabrication du minium; c'est la pensée qui m'a déterminé à livrer ce travail à la publicité.

NOTE

SUR

L'EMPLOI DE LA NITROGLYCÉRINE DANS L'EXPLOITATION DES GRANDES CARRIÈRES DE CALCAIRE-MARBRE DE LA VALLÉE DE LA VIRE PRÈS SAINT-LÔ.

Par M. H. HARLÉ, inspecteur général des mines.

Vers le commencement de 1868, à la suite d'expériences auxquelles avait assisté M. l'ingénieur des mines de Caen, l'essai de la préparation, sur place, de la nitroglycérine, et de son emploi, comme poudre de mine, fut provisoirement autorisé par M. le préfet de la Manche dans les carrières de calcaire-marbre exploitées par MM. Granger et compagnie, pour la fabrication de la chaux, au Hamel-Bazire, près Saint-Lô, sur le bord de la Vire.

Vers la fin de la même année, la compagnie chaufournière de l'Ouest, MM. L. Renard et compagnie, propriétaires des grandes carrières de Bahais et de la Roque-Genest, situées l'une à côté, l'autre en face du Hamel-Bazire, reconnaissant les avantages que présentait, depuis un an, l'emploi de la nitroglycérine chez leur voisins et concurrents, et pressés par leurs ouvriers qui, après avoir vu l'emploi de la nitroglycérine, ne voulaient plus de l'emploi de la poudre, demandèrent à pouvoir eux-mêmes faire dans leurs chantiers ce que leurs voisins faisaient avec succès.

Cette note est l'exposé de ce que j'ai vu dans une visite faite au Hamel-Bazire à l'occasion de l'instruction de cette demande.

J'y ai constaté que les avantages de l'emploi de la nitroglycérine, comme offrant une plus grande sécurité pour les ouvriers, en même temps qu'on y trouve une économie de main-d'œuvre, se trouvaient positivement établis, par une année entière d'expérimentation, pendant laquelle on a exploité, sans le moindre accident, 20.000 mètres cubes de calcaire-marbre très-dur, au moyen d'un millier de coups de mine, où l'on a employé de 350 à 400 litres de nitroglycérine, préparée sur place dans le laboratoire du Hamel-Bazire.

Cette préparation, telle que je l'ai vu pratiquer, est des plus simples (*).

On commence par faire dans un ballon en verre, de 5 litres, à col assez long, un mélange de 2 kilogrammes d'acide sulfurique très-concentré, marquant 66 degrés à l'aréomètre de Baumé, et de 1 kilogramme d'acide nitrique, également très-concentré, marquant 48 degrés, et comme il y a une forte production de chaleur pendant qu'on opère le mélange, on a soin de laisser le ballon plongé dans un baquet d'eau où il se refroidit.

Lorsqu'on veut ensuite préparer la nitroglycérine, on prend un des ballons contenant le mélange des acides, et on y verse 450 grammes de glycérine très-concentrée, marquant de 28 à 30 degrés à l'aréomètre. On a soin de ne verser la glycérine que peu à peu, en la fractionnant en huit ou neuf fois, et en agitant le ballon, tenu à la main par le col, dans un baquet d'eau, pour arrêter le développement de chaleur que produit la réaction des acides sur la glycérine, et, en même temps, empêcher le dégagement de vapeurs nitreuses qui se produiraient, si on laissait la température s'élever. On ne recommence à verser de la glycérine que lorsque la réaction paraît terminée sur celle

(*) Voir, sur l'emploi de la nitroglycérine, les *Annales du génie civil*, 4e année, page 548; 5e année, pages 368 et 561; 6e année, page 773, et 7e année, page 722. La formule de la composition de la nitroglycérine, donnée par M. Kopp, est $(C^6H^5(NO^4)^3O^6)$.

déjà versée, et, en opérant ainsi, on ne remarque que très-peu de vapeurs rutilantes dans le ballon.

L'opération dure vingt minutes, et on obtient de 3 décilitres et demi à 4 décilitres et demi de nitroglycérine.

On verse alors le contenu du ballon dans une terrine en grès, et on ajoute de l'eau, à différentes reprises, pour enlever l'acide sulfurique et laver par décantation la nitroglycérine qui se sépare au fond du vase où elle forme une couche d'un liquide blanchâtre, oléagineux, insoluble dans l'eau. On la recueille ensuite dans des éprouvettes, et, pour la garder jusqu'à son emploi, on la met dans des bouteilles qu'on a soin de laisser débouchées.

Laissée à l'air la nitroglycérine ne paraît pas dangereuse, elle brûlerait comme de l'huile. Versée sur une plaque, un coup de marteau fait détoner la partie frappée, mais sans que l'inflammation se communique au reste du liquide répandu. Mise dans une fiole qu'on jette à terre sur des pierres, la fiole se brise sans que la nitroglycérine, qui se répand, détone, mais lorsqu'on réunit l'effet d'une certaine pression à celui de la chaleur, alors il y a détonation instantanée.

Pour les coups de mine, il suffit que le trou soit rempli de sable, sans aucun bourrage, au-dessus de la nitroglycérine versée au fond, pour que l'inflammation par une petite cartouche de poudre ordinaire, trempant dans la nitroglycérine, produise tout son effet explosif.

Deux hommes sont occupés à cette préparation, et, dans une journée, un homme peut préparer de 5 à 6 litres. Ce sont également ces deux ouvriers qui, lorsqu'on veut faire partir les mines, portent aux trous de mine un panier de bouteilles de nitroglycérine, toujours laissées débouchées, versent la charge dans le trou et complètent les préparatifs de l'explosion.

Les trous sont percés sur $0^m,05$ de grosseur et, pour une profondeur du trou entre $0^m,60$ et 1 mètre, on règle la

charge de manière qu'elle corresponde, par mètre de profondeur, d'un cinquième à un tiers de litre.

Cette charge varie, surtout pour des trous plus profonds, avec le plus ou moins d'effet que doit produire le coup de mine.

J'ai vu tirer cinq coups, dans différentes positions, qui tous ont produit un grand effet, et voici quelles étaient les profondeurs des trous et les charges :

Coups de mine.	1	2	3	4	5
Profondeur du trou.	mètre. 1,65	mètre. 1,35	mètre. 1,20	mètre. 2,00	mètre. 0,90
Charge de nitroglycérine.	litre. 1	litre. 0,60	litre. 0,50	litre. 1,20	litre. 0,60

La mine n° 4 était une mine de pied, au bas d'un front de taille, et en y forçant un peu la charge, on maintient ce pied beaucoup plus droit qu'avec la poudre. L'effet plus puissant du coup de mine se propage en arrière du trou dans la masse, et on peut éviter de laisser des talus inclinés dont l'enlèvement est ensuite très-coûteux.

La charge de nitroglycérine, mesurée dans une éprouvette graduée, est versée dans le trou de mine, auparavant nettoyé et bien essuyé, lorsque la roche laisse suinter de l'eau.

On place ensuite, en la faisant pénétrer dans le liquide, une petite cartouche formée par un cylindre creux en bois, de $0^m,08$ de long sur $0^m,03$ de grosseur, rempli de poudre et fermé à ses extrémités par des tampons d'argile (une mèche Bickford, traversant le tampon supérieur, sert à produire l'inflammation), on remplit le reste du trou en y versant du sable, et la mine est prête à être enflammée.

M. Granger a bien voulu me donner les renseignements suivants comme éléments de la dépense :

Dans le calcaire de transition du Hamel-Bazire, le trou

de mine, de $0^m,03$ de grosseur, est payé, jusqu'à $1^m,50$ de profondeur, à raison de 2 francs le mètre. On peut ensuite compter la nitroglycérine à 10 francs le litre (*), et il faut ajouter $0^f,10$ pour la cartouche, et autant pour le bout de mèche.

J'aurais encore à faire remarquer que, l'explosion de la nitroglycérine étant plus instantanée que celle de la poudre, il en résulte dans la roche des fentes plus étendues; l'effet se produit à la fois sur une plus grande masse, et on ne remarque pas de projections de blocs à d'aussi grandes distances.

Tels sont les résultats pratiques de l'emploi de la nitroglycérine dans les chantiers du Hamel-Bazire, et on voit à quel point les opérations sont simples. Certainement, le maniement de cette substance, dans ces conditions, n'est pas plus dangereux que celui de la poudre; et, par son emploi, on évite plusieurs causes de danger, notamment le bourrage des mines. Les ouvriers y sont accoutumés, ils le trouvent avantageux, et, comme je l'ai déjà dit, ne voudraient plus revenir à l'emploi de la poudre.

(*) L'acide sulfurique coûte 20 francs les 100 kilog.; l'acide nitrique, 200 francs et la glycérine concentrée, 180 francs.

NOTE

SUR LES DIFFÉRENTES SUBSTANCES EXPLOSIBLES EMPLOYÉES DANS LES TRAVAUX DES MINES.

Par A. HENRY, ingénieur des mines.

I. — ÉLÉMENTS DE LA VALEUR COMPARATIVE DES DIFFÉRENTES SUBSTANCES EXPLOSIBLES QUI PEUVENT ÊTRE EMPLOYÉES DANS LES TRAVAUX DES MINES.

Pour se faire une idée exacte de la valeur relative d'une *poudre de mine* (*), il ne suffit pas de rechercher quel est le prix de la matière nécessaire pour produire un effet déterminé. Il faut encore étudier avec soin toutes les conditions qui caractérisent son emploi et sa manière d'agir dans les différentes circonstances où elle peut être appliquée.

Ces conditions sont de plusieurs sortes, et tiennent à la fois à la nature de la roche et aux propriétés de la poudre. Ainsi, l'emploi d'une substance quelconque occasionne toujours une certaine dépense de main-d'œuvre, et demande une certaine quantité de *travail propre à l'ouvrier*. D'un autre côté, il résulte de cet emploi une somme d'effet, un certain *travail propre de la poudre*, qui peut être produit avec une *sécurité plus ou moins grande* pour l'ouvrier. Nous allons voir comment les propriétés de la poudre et la nature des roches influent sur ces trois éléments.

(*) Je désigne, sous le nom générique de *poudres de mine*, toutes les substances explosibles qui peuvent remplacer la poudre ordinaire dans les travaux de mines, quel que soit d'ailleurs leur état physique.

Le travail de l'ouvrier comprend le forage, le chargement, le bourrage et l'allumage.

Pour produire un effet déterminé à l'aide d'un coup de mine, il faut, quelle que soit d'ailleurs la poudre employée, placer le centre d'action de la charge en un point occupant par rapport aux parois de la roche une position que l'expérience indique. Or, plus la poudre aura de force sous un volume donné, plus l'espace occupé par la charge sera faible; cet espace variera en raison inverse de la force de la poudre; dès lors, on pourra faire varier la section du trou dans le même rapport, tout en laissant le centre de la charge au même point. La main-d'œuvre relative au forage du trou sera donc d'autant plus faible que la poudre sera plus forte. On ne peut cependant pas dire qu'elle varie toujours en raison inverse de la force de celle-ci, car pour certaines substances, on ne pourrait faire les trous de mine assez petits pour cela; les fleurets seraient trop faibles, et ne présenteraient pas assez de résistance pour être employés. Dans ce dernier cas, on élargit donc relativement le coup de mine, mais on peut alors le faire moins profond. Quoi qu'il en soit, on peut toujours affirmer que plus la poudre sera forte, plus la main-d'œuvre de forage des trous sera faible.

Le chargement se fait de différentes manières; souvent on doit renfermer la charge dans une cartouche, soit en papier, soit en métal. On le fait presque toujours dans un but de sécurité, afin de ne pas répandre de poudre. D'autres fois, c'est indispensable, comme dans le cas où l'on emploie des matières liquides dans des trous trop inclinés sur la verticale, ou dirigés de bas en haut, ou bien encore quand la matière présente des propriétés toxiques, qui en rendent le maniement dangereux. Ces conditions ne nécessitent pas beaucoup de main-d'œuvre, en général, mais elles occasionnent un surcroît de dépense dans le cas des cartouches métalliques.

L'instantanéité de la déflagration de la poudre est la seule cause qui influe sur le bourrage. Si la matière brûle lentement, sa force se développe progressivement, et pour qu'elle ne se perde pas, il faut un bourrage très-énergique et pratiqué avec de l'argile battue à coups de masse. Si au contraire la matière détone très-rapidement, sa force se développe très-vite, et les gaz produits n'ont pas le temps de s'échapper, quand même le trou serait resté ouvert; dans ce cas, l'effet du coup de mine est presque indépendant du bourrage, et ce dernier n'a pas besoin d'être fait avec soin, ce qui diminue de beaucoup la main-d'œuvre, et augmente la sécurité en tarissant une source de nombreux accidents.

L'allumage se fait soit au moyen de canettes, soit au moyen de mèches dites de sûreté, avec ou sans capsules détonantes, soit enfin à l'aide de l'électricité. Ces différents procédés occasionnent des dépenses et des pertes de temps variables.

En général, on peut donc dire qu'au point de vue du travail de l'ouvrier, les meilleures poudres seront celles dont la force sera la plus grande sous un volume donné, dont la déflagration sera la plus instantanée, c'est-à-dire dont l'effet sera le plus brisant, et qui nécessiteront le moins de précautions dans le chargement tout en ne demandant aucun procédé d'allumage dispendieux, et en ne donnant que des fumées peu abondantes et inoffensives pour la santé des ouvriers.

Au point de vue de l'effet à produire et du travail propre de la poudre, l'influence des propriétés de la matière et de la nature de la roche est encore plus sensible que dans le cas précédent. Nous allons l'examiner en détail, en passant successivement en revue les principaux travaux auxquels la poudre peut être appliquée.

En général, lorsque l'on attaque des roches relativement tendres et friables, les poudres brisantes doivent être re-

jetées; dans ce cas, elles ne produiraient que peu d'effet, et broieraient simplement la matière dans un certain rayon autour de la charge. Les poudres lentes, au contraire, conviennent très-bien, à condition que les bourrages soient bien faits. Si la roche est très-dure et très-tenace, on pourra employer les poudres brisantes; mais à la condition qu'elles soient également très-fortes. On verra cependant par la suite qu'elles ne conviennent pas dans tous les cas. L'expérience seule peut déterminer les conditions dans lesquelles elles donnent de bons effets.

Dans les carrières de pierres de taille, dans les ardoisières, les houillères et certaines mines métalliques très-riches, on ne doit pas seulement se préoccuper de la quantité de matière abattue, mais aussi de son état; il faut éviter les menus fragments. On devra donc employer de préférence des poudres fortes, mais peu brisantes. Les poudres brisantes donnent beaucoup de menus et occasionneraient des pertes considérables.

Au contraire, dans les carrières de pierres à chaux et autres ouvrages semblables, dans les galeries à travers bancs, le fonçage des puits et l'abatage des minerais pauvres, disséminés dans la gangue, il importe de faire vite et beaucoup de besogne, sans qu'on ait à s'inquiéter de la plus ou moins grande quantité de menus produits. On pourra alors, sans inconvénients, employer des poudres très-brisantes si on n'y trouve pas de désavantage à d'autres points de vue.

Dans certains travaux de mines, on rencontre des roches fendillées ou à structure géodique, dans lesquelles il est souvent impossible de forer des coups de mine qui ne soient pas en communication avec l'extérieur, ou avec des poches considérables placées au sein de la masse. Dans ce cas, il faut nécessairement employer des poudres brisantes, afin d'atténuer autant que possible l'effet des fissures et des géodes. Avec des poudres lentes, on ne produirait souvent

aucun travail à moins de dépenser un temps considérable à fermer les fissures qui communiquent avec les trous de mine au moyen d'argile fortement battue.

Enfin, dans le fonçage des puits, dans les travaux en roches aquifères, il importe beaucoup que la poudre ne craigne pas l'eau, et qu'elle puisse même être allumée et faire explosion sous ce liquide, afin de ne pas avoir les *ratés* qui se produisent si souvent dans le cas où la poudre se détruit à l'humidité, et d'éviter le glaisage quelquefois difficile et toujours dispendieux des coups de mine.

Jusqu'ici, je n'ai pas parlé de la rapidité de l'exécution des travaux. Dans certains cas, on n'est pas pressé, et dans une certaine mesure, on aime mieux avancer lentement. Au contraire, il arrive souvent que la question de temps est capitale, comme dans le percement de certaines galeries d'écoulement, des tunnels de chemin de fer, comme celui du mont Cenis, qui nécessitent de grands capitaux longtemps improductifs. Dans ce cas, pour aller vite, on préfère souvent avec raison un procédé qui augmente le prix de revient mais qui diminue la durée des travaux. Or, on peut dire en général, que plus la main-d'œuvre est faible, plus le temps d'exécution sera court. A ce point de vue ce sont donc les poudres fortes et brisantes qui seront préférables, et cela d'autant plus, que dans les travaux dont il s'agit la question des menus est sans aucune importance.

Quant à la sécurité que présentent les différentes poudres, il suffit de dire qu'on devra s'attacher à la rendre la plus grande possible, et qu'on devra rejeter toute substance qui ne présenterait pas toute la fixité désirable et qui pourrait produire des accidents graves, quels qu'en soient d'ailleurs les avantages.

D'après ce qui précède, on voit qu'il est impossible de dire que la meilleure poudre de mine est celle qui réunit telle et telle condition, car des propriétés, qui dans certains cas deviennent des avantages sérieux, sont, dans d'autres,

autant d'inconvénients très-graves. Pour reconnaître les avantages et les inconvénients des différentes poudres et les comparer entre elles, il faudrait les appliquer successivement toutes dans les mêmes conditions et aux mêmes travaux, en les faisant employer par des ouvriers habiles et bien au courant de leurs propriétés, de manière à en tirer le maximum d'effet. Celle qui, à égalité de salaire pour les mineurs, donnerait le moindre prix de revient total, serait évidemment la meilleure. En répétant cette expérience dans des travaux différents : exploitations au jour, fonçage des puits, percement des galeries à travers bancs, chantiers d'abatage, et sur toute espèce de roches : roches dures, roches tendres, roches fendillées, roches aquifères, on déterminera la valeur réelle des différentes poudres, et on pourra dire ensuite, *à priori*, quelle est celle qui doit être employée dans un cas déterminé.

Malheureusement, ces expériences n'ont pas encore été faites; elles ne seront même probablement jamais tentées; on ne possède que des résultats isolés qui ne sont pas rigoureusement comparables, mais qui néanmoins permettent déjà de tirer certaines conclusions, et qu'on trouvera dans le courant de cette note.

II. — Substances explosibles employées dans les travaux des mines.

Jusque dans ces dernières années, la seule matière explosible employée dans les travaux des mines était la poudre ordinaire. Je ne rappellerai pas ses propriétés qui sont bien connues. Je dirai seulement que son insuffisance était notoire dans beaucoup de cas, notamment dans les travaux en roches aquifères ou fendillées, et que sa force et ses propriétés brisantes étaient trop limitées. Aussi a-t-on cherché à la remplacer par d'autres substances qui sont toutes des composés nitreux organiques, ou des dérivés

de ces composés. Les matières employées jusqu'ici sont : le *coton-poudre*, la *nitroglycérine*, la *dynamite*, la *dualine* et le *lithofracteur*. Je vais indiquer successivement les propriétés et la composition de ces différents corps.

1. *Coton-poudre.* — Chacun sait que le coton-poudre résulte de l'action de l'acide azotique sur le coton, et que cette action ne change nullement l'aspect extérieur de la substance. On peut le préparer soit avec du coton cardé, soit avec du coton filé ou tissé. Quand on le prépare sous le premier état, on le comprime toujours avant de l'employer, soit en le tordant en forme de corde, soit à l'aide de la presse hydraulique. M. Abel, chimiste anglais, qui a beaucoup expérimenté sur cette matière, est même parvenu à l'obtenir sous forme de grains solides formant une véritable poudre blanche.

Il paraîtrait que pour le conserver en toute sécurité, il faudrait, après l'avoir bien lavé à grande eau lors de sa préparation, le plonger dans une dissolution faible de potasse qui neutralise les dernières traces d'acide que l'eau n'avait pu enlever, et auxquelles on attribue la décomposition spontanée de la substance préparée depuis quelque temps et conservée en magasin, décomposition qui a souvent causé des accidents très-graves dont le retentissement a empêché l'usage du coton-poudre de se répandre.

Si l'on enflamme à l'air libre du coton-poudre cardé, tissé ou comprimé, il se produit une combustion rapide, accompagnée d'une grande flamme très-visible, mais ne donnant pas de fumée. La combustion est d'autant plus lente que l'atmosphère est plus raréfiée. Elle n'est jamais accompagnée d'explosion.

Si au contraire on parvient à enflammer directement les mêmes produits dans un espace confiné, il se produit une explosion, ne donnant presque pas de flamme visible, et pas de fumée, et dont l'intensité est d'autant plus grande que l'espace où elle se produit est plus resserré.

On peut cependant faire détoner le coton-poudre comprimé à l'air libre. Mais pour cela, il faut l'enflammer au moyen d'une matière fulminante placée au contact ou à petite distance. Dans ce cas, l'explosion est extrêmement vive, et ne produit pas de flammes. Elle peut se propager dans une traînée de coton-poudre comprimé, formée de petites masses placées à une faible distance les unes des autres. L'explosion serait au contraire très-faible quoique sensible encore, si le coton-poudre était à l'état cardé, quoiqu'on l'allumât par le même procédé; elle ne se communiquerait pas comme précédemment à une série de petites masses de coton-poudre comprimé.

Toutes les préparations fulminantes ne sont pas propres à enflammer le coton-poudre comprimé. Ainsi les mélanges fulminants de cyanoferrure de potassium et de picrate de potasse ou de chlorate de potasse, ne peuvent jamais le faire détoner, quelle que soit la proportion de matière employée. Ils ne font que le déchirer, en produisant quelquefois l'inflammation simple de quelques fragments qui brûlent sans faire explosion.

La facilité avec laquelle les fulminates produisent l'explosion du coton-poudre ne dépend nullement de leur pouvoir fulminant. Ainsi, quoique le fulminate d'argent soit bien plus détonant que le fulminate de mercure, il faut la même quantité minima de ces deux substances pour faire détoner le coton-poudre dans les mêmes conditions. Bien plus, l'explosion de quantités même considérables d'iodure ou de chlorure d'azote, qui sont les matières les plus fulminantes et les plus instables que l'on connaisse, ne se communique pas au coton-poudre placé au contact. Ainsi, la détonation de $0^{g},5$ d'iodure n'a fait que disperser la matière sans l'enflammer; avec $3^{g},5$ de chlorure, on a réussi une fois sur deux à produire la détonation, et cependant le chlorure est moins vif que l'iodure.

De même, l'explosion très-vive produite par près de

20 grammes de nitroglycérine n'a pas suffi pour enflammer le coton-poudre. Du reste, la manière dont le fulminate est disposé influe beaucoup sur le résultat; ainsi, tandis qu'une charge de $0^{g}.32$ de fulminate de mercure pur, enveloppée dans du papier métallique, suffit pour produire la détonation, il en faut de 1 à 2 grammes lorsque l'enveloppe est en papier ordinaire ou en bois.

D'autre part, ce n'est pas non plus la quantité de chaleur dégagée par l'explosion de la matière fulminante qui influe sur la facilité de la détonation du coton-poudre. Le fulminate des capsules dégage en effet plus de chaleur que le fulminate de mercure pur, et cependant la charge minima est beaucoup plus forte (*).

Enfin, si l'on considère l'effet produit par la détonation du coton-poudre, on trouve qu'il est cinq fois plus grand que celui de la poudre ordinaire si l'inflammation est directe et si la matière est enfermée dans une enveloppe résis-

---

(*) Tous ces faits ont été étudiés et rapportés par M. Abel. Pour les expliquer, il admet que la détonation d'une matière fulminante produit des ondulations d'une nature particulière qui, venant frapper une autre matière fulminante capable de donner des vibrations de même période, décomposent physiquement celle-ci, et facilitent sa décomposition chimique. Il appuie cette explication de quelques faits, notamment de l'explosion simultanée de plusieurs ateliers voisins dans les poudrières, explosion qui se propage quoique ces ateliers ne communiquent nullement ensemble.

Néanmoins cette théorie, que du reste M. Abel ne revendique pas comme sienne, me paraît réfutée par les faits. On a vu plus haut que l'explosion de la nitroglycérine ne produit jamais celle du coton-poudre, ce qui semblerait indiquer que les vibrations propres à ces deux substances ne sont pas du tout concordantes. Cependant on verra plus loin que l'explosion d'une quantité si petite qu'elle soit de coton-poudre fait toujours détoner la nitroglycérine, ce qui indiquerait au contraire une concordance parfaite entre les vibrations. De plus, on ne se rend pas un compte bien exact de la nature possible de ces vibrations. Il me semble qu'il vaut mieux se contenter de signaler les faits, si singuliers qu'ils soient, plutôt que de les expliquer par des théories aussi peu justifiées.

tante; il est presque doublé si cette inflammation a lieu à l'aide d'une substance fulminante. Dans ce dernier cas, le coton-poudre constitue une matière très-brisante.

Le coton-poudre est insoluble dans l'eau qui ne l'attaque nullement. Il est au contraire soluble dans un mélange d'éther et d'alcool; la dissolution obtenue est le collodion.

Exposé à une chaleur lentement croissante, il est assez fixe; il ne se décompose qu'à 150 degrés; alors il s'enflamme et détone s'il est comprimé.

Les chocs, même assez intenses, n'ont aucune action sur lui.

Sa fabrication ne présente pas de difficultés ni de dangers bien sérieux. Le séchage seul pourrait amener des accidents, si la température de l'étuve où il se fait n'était pas bien réglée.

Son transport et sa conservation ne semblent plus présenter d'inconvénients graves depuis qu'on le traite par l'eau alcaline avant de le sécher. On ne peut rien dire de bien certain sur le degré de sécurité de son emploi; il n'est pas encore assez répandu pour cela.

2. *Nitroglycérine.* — La nitroglycérine, découverte par Sobrero en 1847, resta sans application jusqu'en 1860, époque à laquelle M. Nobel commença à la préparer en grand pour les travaux des mines. Voici comment on peut l'obtenir : dans un ballon de verre de 5 litres de capacité, on mélange 2 kilog. d'acide sulfurique à 66° B. avec 1 kilog. d'acide azotique à 48° B. On plonge le ballon dans l'eau pour éviter l'élévation de la température, puis on y verse successivement, et en agitant continuellement, 450 grammes de glycérine concentrée, marquant de 28° à 30° B. Il faut continuer à refroidir le ballon, sans cela la réaction développerait des torrents de vapeurs rutilantes, et il pourrait se produire des projections dangereuses. L'opération dure 20 minutes, et produit en moyenne de 3 à 4 décilitres de nitroglycérine rassemblée au fond du ballon. On enlève

l'excès d'acide, et on lave à plusieurs reprises pour débarrasser complétement le produit de la liqueur acide qu'il retient encore.

Ainsi préparée, la nitroglycérine se présente sous la forme d'un liquide jaunâtre, oléagineux, de densité 1, 6.

Elle est insoluble dans l'eau, mais soluble dans l'alcool, l'éther et d'autres produits organiques.

Elle se congèle à la température de 8 degrés C. au-dessus de zéro.

C'est un poison violent.

Si on l'enflamme à l'air libre, elle brûle rapidement, mais sans détonation. Elle détone au contraire très-violemment si elle est contenue dans un espace confiné. Dans tous les cas, elle brûle sans fumée, et se transforme complétement en un produit gazeux composé d'azote, d'acide carbonique et de vapeur d'eau.

Un choc brusque et violent la fait détoner, mais n'agit que sur la partie choquée directement : la détonation ne se communique pas au reste de la masse (*). On peut jeter une bouteille pleine de nitroglycérine sur un tas de pierres sans produire son explosion.

Soumise à une chaleur graduellement croissante, sa température peut s'élever jusqu'à 195 degrés sans qu'il se produise d'explosion.

Au delà, la détonation a lieu.

Si l'on fait passer un courant électrique intense à travers la nitroglycérine, elle commence par jaunir, puis détone tout à coup très-violemment, après une minute et demie d'action de l'électricité. Si au contraire on la soumet à une série continue d'étincelles très-fortes, produites par la bouteille de Leyde ou la bobine de Rumkorff, elle noircit et détone au bout de trente secondes.

(*) Ce fait constitue une objection sans réplique à la théorie dont j'ai parlé plus haut.

La nitroglycérine détone très-violemment si l'on enflamme, au contact ou à une petite distance, une certaine charge de matière fulminante. Sous ce rapport, elle est bien plus vive que le coton-poudre.

Toutes les matières fulminantes possibles, même la poudre ordinaire et le coton-poudre, employées en quantité très-petite, produisent l'explosion de la nitroglycérine.

Cette propriété fait de ce liquide un corps éminemment dangereux.

Il a provoqué des accidents terribles, fait sauter plusieurs navires et plusieurs convois. Aussi son emploi dans les mines a-t-il été formellement interdit en Belgique, où cependant il s'était très-vite répandu et où il rendait de grands services. De même, un acte du parlement anglais en a défendu le transport; on ne peut l'employer en Angleterre qu'à la condition de le fabriquer sur place. Cependant, il continue à être appliqué en Suède où il ne paraît pas dangereux. Cela tient probablement au climat. En effet, la température étant presque toujours inférieure à 8 degrés, à l'époque des transports qui ont lieu pendant l'hiver, la nitroglycérine est gelée. Or, à cet état, elle ne détone pas.

On peut aussi la rendre inexplosible en l'additionnant d'alcool méthylique ou esprit de bois; pour lui rendre ses propriétés, il suffit de la traiter par l'eau qui lui enlève l'alcool.

En France, la nitroglycérine est prohibée, comme toutes les matières explosibles autres que la poudre de mine ordinaire. Cependant, l'administration en a toléré l'emploi dans les carrières de Hamel-Bazire, près Saint-Lô (Manche), à la condition de la fabriquer sur place. Il en est ainsi depuis 1868, et jusqu'ici on n'a eu aucun accident à regretter.

Néanmoins, je le répète, l'emploi de la nitroglycérine est très-dangereux, surtout à cause de la gravité des accidents qu'il cause plutôt que par la fréquence de ces accidents. C'est pour parer à cet inconvénient que M. Nobel a préparé la dynamite.

3. *Dynamite.* — La dynamite est un mélange formé de 75 p. 100 de nitroglycérine, et de 25 p. 100 de silice pulvérisée. Cette silice, que l'on trouve dans plusieurs formations géologiques, est très-friable; elle est soluble en grande partie dans la potasse et possède de grandes propriétés absorbantes.

Ainsi constituée, la dynamite se présente sous forme d'une masse pâteuse, de couleur jaune rougeâtre, inattaquable par l'eau.

Le froid la durcit et la rend beaucoup plus difficile à enflammer. Au-dessous de 6 degrés elle ne fait plus explosion. Allumée à l'air libre, par les procédés ordinaires, la dynamite brûle lentement, en fusant, comme le ferait de la poudre ordinaire mouillée ou comprimée. Elle produit une flamme d'une teinte jaune caractéristique. Elle donne un mélange gazeux formé d'azote, d'acide carbonique et de vapeur d'eau, accompagné de traces de vapeurs nitreuses, sensibles à l'odorat. La silice reste comme résidu fixe.

Si l'on enflamme la dynamite dans un espace très-restreint, elle détone. Mais pour cela, il faut que les parois de cet espace soient très-résistantes.

Ainsi, on a pu placer sur un feu de bois un baril cerclé de fer et fortement bondé, et contenant 5 kilog. de dynamite, sans avoir pour cela d'explosion. A un moment, le baril s'est déchiré lentement, et la substance a brûlé comme à l'air libre. Le même résultat a été obtenu en remplaçant le baril par une caisse en tôle mince.

L'inflammation directe de la dynamite dans des espaces restreints est difficile; elle ne peut se produire à l'aide des mèches ordinaires dites de sûreté, ni des canettes. Pour l'obtenir d'une façon sûre, et produire une détonation énergique, il faut l'allumer au moyen d'une charge fulminante.

Dans ce cas elle détone vivement, qu'elle soit à l'air libre ou placée dans un espace confiné.

Le choc d'un marteau sur une enclume fait détoner violemment la dynamite, mais seulement la partie directement choquée. L'inflammation ne se communique pas au reste de la masse qui est simplement projetée.

Le choc de la pierre sur la pierre produit très-difficilement cette détonation.

Le choc du fer sur le bois, ou du bois sur la pierre ne la produit jamais.

Ainsi, on a pu laisser tomber impunément un baril renfermant 5 kilogrammes de dynamite sur un tas de pierres, et cela d'une hauteur de 31^{m},60. Le baril et son contenu restèrent intacts.

Bien plus, sous la face inférieure d'une pierre pesant 100 kilogrammes, on attacha une cartouche de dynamite, et on laissa tomber le tout sur le sol d'une hauteur égale à la précédente. La cartouche fut écrasée, la dynamite dispersée ; mais il n'y eut ni inflammation ni détonation.

Enfin, un tube de fer-blanc rempli de dynamite et placé sur le sol, a pu être écrasé sur la chute d'un bloc de pierre sans que la matière fît explosion.

Si l'on dispose de petites masses de dynamite au voisinage l'une de l'autre, on peut très-bien en faire détoner une sans que la détonation se communique aux autres. Mais l'expérience ne réussit pas toujours.

La dynamite, comme la nitroglycérine, ne se décompose spontanément à l'air que très-lentement, et sans jamais donner d'explosion, à moins que la température ne s'élève trop. Du reste, ces cas de décomposition spontanée n'ont été que très-rarement observés.

4. *Dualine.* — La dualine, inventée par le lieutenant Dittmar, et préparée à Charlottenburg, consiste en un mélange de nitroglycérine et de sciure de bois traitée par l'acide azotique, et transformée ainsi en pyroxiline.

Elle se présente sous la forme d'une matière légère, conservant l'aspect de la sciure de bois, un peu plus pâteuse seulement que cette dernière substance. L'eau ne l'attaque pas.

Allumée à l'air libre, elle brûle lentement sans fumée ni résidu fixe autre que les cendres du bois.

Si elle est renfermée dans un espace clos, sans être comprimée, on ne parvient pas à la faire détoner en l'allumant par les procédés ordinaires ; ainsi, un baril rempli de dualine et placé sur un feu de bois, n'éclate pas ; il se fend lentement, et la dualine brûle sans détoner. De même, si on place une charge de cette substance dans un trou de mine mal bourré, elle ne s'enflamme pas à l'aide de mèches ou de canettes ordinaires. L'inflammation et la détonation n'ont lieu que si le bourrage est énergique.

Dans tous les cas, l'explosion d'une capsule fulminante produit toujours la détonation violente de la dualine.

Une très-forte étincelle électrique produit le même effet.

Sous l'influence des chocs, la dualine se comporte comme la dynamite. On a pu en remplir un obus que l'on a tiré dans un canon, sans qu'il éclatât ni au départ ni à l'arrivée. Il paraît que la dualine ne se congèle pas par le froid et qu'elle conserve ses propriétés explosibles à toutes les températures. Elle est beaucoup moins brisante que la dynamite.

Non comprimée, elle possède une faible densité ; c'est un grave inconvénient.

5. *Lithofracteur.* — Le lithofracteur est fabriqué à Deutz près de Cologne, par MM. Krebs frères et compagnie. Sa composition est tenue secrète. Cependant, à la suite d'un examen rapide que j'ai fait sur un échantillon au laboratoire de l'École des mines, il m'a paru être composé surtout de nitroglycérine, de sciure de bois traitée par l'acide nitrique, et d'une matière inerte qui semble être de la silice. Il renferme en outre un peu de soufre, une matière

noire qui paraît être de la poudre ordinaire, et un sel soluble qui est un chlorure. L'effet de ce sel est de rendre fusible le résidu de la combustion qui dès lors ne peut se répandre en fumée lors de l'explosion.

Ainsi constitué, le lithofracteur se présente sous la forme d'une substance un peu pâteuse, d'un gris noir foncé, et pouvant se prendre facilement en masse par l'effet d'une faible compression.

Allumé à l'air libre, le lithofracteur se comporte comme la dynamite, et brûle même un peu moins vite; il laisse un résidu assez fortement aggloméré qui peut se fondre complétement à la température du rouge. L'inflammation ne se propage que très-lentement dans sa masse. On peut impunément en tenir à la main une petite cartouche pendant qu'elle brûle; j'ai fait cette expérience moi-même un grand nombre de fois.

Placé dans un espace fermé, il est complétement impossible à enflammer par les moyens ordinaires, mèches ou canettes.

On ne peut y arriver qu'à l'aide d'une capsule fulminante, et alors l'inflammation produit une détonation très-violente. Cette détonation se produit même à l'air libre, toutes les fois qu'on emploie le même procédé d'allumage.

Il est complétement inattaquable par l'eau. La poudre ordinaire qu'il renferme est protégée par un enduit de nitroglycérine que ce liquide ne peut enlever.

Le froid ne le modifie pas. On peut le faire détoner même à une température de 12°,5 au-dessous de zéro.

Le choc du marteau sur une enclume le fait détoner violemment. Sous ce rapport, il se comporte exactement comme la dynamite. On a pu aussi en charger un obus et le tirer dans un canon sans que cet obus éclatât, lorsqu'il vint rencontrer le sol, et s'y enfoncer à plusieurs mètres de profondeur.

III. — Mode d'emploi des différentes substances explosibles. Résultats d'expériences.

On connaît le mode d'emploi de la poudre ordinaire dans les mines. On sait qu'on allume généralement les coups de mine à l'aide de canettes, de mèches de sûreté et quelquefois de l'étincelle électrique.

Mais pour les substances dont il vient d'être parlé, on a vu que ces moyens sont généralement insuffisants, et que pour produire leur détonation, on doit les allumer à l'aide d'une matière fulminante faisant explosion, soit au sein, soit au contact de la matière à enflammer. La dualine seule fait exception, mais seulement dans le cas de bourrages très-énergiques. Dans le cas contraire, elle rentre dans la loi commune.

Un procédé très-simple, et qui suffit dans tous les cas, a été indiqué par M. Nobel, et appliqué tout d'abord à la nitroglycérine. Voici en quoi il consiste :

L'allumage se fait au moyen d'une mèche de sûreté; on garnit l'extrémité de cette mèche d'une longue capsule fulminante, et on la plonge à l'intérieur de la cartouche à enflammer, au centre, et à la partie supérieure de la masse. On attache le papier qui entoure la cartouche à la mèche au moyen d'une ligature, puis on descend le tout dans le trou de mine.

La *fig.* 4, Pl. I, montre la disposition d'une cartouche préparée.

Comme ces matières sont toutes très-brisantes, elles ont une action presque indépendante du bourrage; aussi, dans les trous secs, se contente-t-on de placer à la main, ou avec un simple bourroir en bois, du sable ou de l'argile par-dessus la cartouche, seulement pour la maintenir en place.

Puisque le bourrage est inutile, il est complétement superflu aussi de glaiser les trous pour fermer les fissures qui pourraient les faire communiquer avec l'intérieur.

Enfin, puisque la matière ne se détruit pas par l'eau, il n'est pas besoin de sécher les trous. S'ils sont pleins d'eau naturellement, on ne les vide même pas; on descend la charge au fond, et l'eau qui reste par-dessus sert de bourrage et suffit parfaitement.

Dans ce dernier cas, il n'y a que quelques précautions de détail à prendre. Pour empêcher l'eau de pénétrer dans la capsule et de mouiller le fulminate, il faut la serrer avec soin tout autour de la mèche ; il convient même de ramollir un peu à la lampe la gutta-percha, et de la ramener avec les doigts sur la capsule, afin de produire un joint étanche entre cette dernière et la mèche. De plus, il faut placer toute la charge dans une seule et même cartouche, sans solution de continuité, parce que l'eau s'interposant entre deux portions voisines de matière, pourrait empêcher l'inflammation de se communiquer. Dans les trous secs, cette dernière précaution est inutile ; pour charger le trou, on y met le nombre de cartouches nécessaire, puis par-dessus le tout, une petite cartouche portant la mèche et la capsule. Le feu se communique toujours très-bien à toute la masse. Dans le cas où l'on emploie de la nitroglycérine, les cartouches sont métalliques ; dans tous les autres cas, il suffit de les faire en papier.

On pourrait à la rigueur se passer de cartouches préparées à l'avance, et employer la matière directement; mais ce serait beaucoup moins commode et cela demanderait trop de soins.

Je vais maintenant donner quelques résultats d'expériences qui m'ont été fournis, soit par les exploitants des mines où j'ai vu employer ces matières, soit par les inventeurs ou leurs délégués, ou que j'ai recueillis dans différentes publications.

1. *Coton-poudre.* — Je ne puis rien dire au sujet du coton-poudre; je ne l'ai pas vu employer, et à ma connaissance, il ne s'est pas beaucoup répandu. Cela tient proba-

blement à ce qu'il est moins énergique et tout aussi dangereux et dispendieux que les autres matières congénères, qui du reste ont été préparées pratiquement presqu'à la même époque que lui.

2. *Nitroglycérine.* — Dès l'apparition de la nitroglycérine, et surtout depuis que M. Nobel eut imaginé de l'enflammer au moyen d'une mèche garnie d'une capsule fulminante, l'emploi de cette substance s'est vulgarisé très-rapidement en Suède, en Belgique, en Prusse, en Angleterre et même en Amérique. L'avantage considérable qu'elle possède vis-à-vis de la poudre ordinaire de pouvoir être employée sans bourrage et sous l'eau, avait surtout frappé les mineurs ; sa grande force expansive permettait en outre d'attaquer des roches que la poudre aurait difficilement entamées. Partout où il en était fait usage, on reconnaissait ses bons effets par un abaissement notable dans les prix de revient et une plus grande rapidité dans le travail. Malheureusement des accidents terribles par leurs conséquences sont venus montrer que la nitroglycérine pure est un des corps les plus dangereux que l'on connaisse.

Le steamer l'*Européen* fut détruit en 1866 par l'explosion de plusieurs caisses de cette substance. Cette explosion, qui eut lieu dans le port d'Aspinwall, amena la mort de quinze hommes. Presque à la même époque, un quartier de San-Francisco était ébranlé et en partie détruit par l'explosion de deux barils de la même substance. Quelque temps auparavant, la même chose arrivait à Sidney (Australie), où l'explosion des magasins de M. Molisen, causée par la présence de deux caisses de nitroglycérine, renversait un quartier tout entier. Enfin, on n'a pas oublié le trop célèbre accident arrivé dans les carrières de porphyre de Quénast, en Belgique.

Bien d'autres malheurs ont été causés par les explosions de nitroglycérine, soit dans les fabriques mêmes, comme à Stockholm et à Deutz, soit dans les mines où cette sub-

stance était employée. C'est ce qui fait que la nitroglycérine ne sera plus et ne doit plus être employée en grand ; elle est trop dangereuse.

3. *Dynamite.* — Si la nitroglycérine présente de très-graves inconvénients au point de vue de la sécurité lorsqu'elle est employée à l'état de pureté, il n'en est plus de même lorsqu'elle est mélangée à des matières inertes. Cette différence provient probablement de ce qu'alors la nitroglycérine ne peut plus s'écouler au dehors, comme elle le fait à l'état liquide, et aller s'enflammer accidentellement quelquefois très-loin du point où elle est déposée. De plus, la présence des matières inertes rend son inflammation un peu moins facile, et cela sans diminuer notablement ses propriétés expansives et brisantes, à moins que la proportion de ces matières ne soit exagérée. On ne doit en mettre que ce qu'il faut pour retenir la nitroglycérine comme le ferait une éponge à trous très-petits, et former avec elle une pâte de laquelle rien ne puisse s'écouler. On n'a pas encore signalé d'accidents arrivés avec ces mélanges.

La dynamite commence aujourd'hui à être presque partout employée. Elle a remplacé la nitroglycérine avec avantage. Dans le voyage de mission que j'ai accompli l'été dernier, je l'ai vue en usage à Védrin, près de Liége, au Rocheux, près de Spa, à Moresnet et à Engis.

A Védrin, elle n'était encore employée qu'à titre d'essai ; on en était très-satisfait.

Au Rocheux, elle était définitivement appliquée. Elle rendait d'excellents services pour l'abatage de la pyrite en roche qui est là d'une dureté exceptionnelle, et que l'on abat en très-gros blocs. Les coups de mines à la poudre ordinaire ne produisaient souvent aucun effet.

Je vais transcrire ici un passage d'une note que M. Bouhy, directeur général de la société de la Nouvelle-Montagne à Engis, a bien voulu me communiquer, et qui est l'exposé des résultats acquis par une expérience de plusieurs mois.

« Depuis quelque temps on a introduit la poudre dyna-
« mite dans les travaux des mines métalliques de la société
« de la Nouvelle-Montagne à Engis.

« On a cherché à l'employer dans le creusement des ga-
« leries à travers bancs, travaux qui sont toujours laissés
« à l'entreprise. Les ouvriers, après plusieurs essais, ont
« préféré continuer avec la poudre ordinaire. Dans les ter-
« rains tendres, ils n'obtenaient pas d'avantage ; dans les
« terrains durs, ils trouvaient que l'avancement leur coû-
« tait plus cher qu'avec la poudre ordinaire, sans être pour
« cela plus rapide. De plus, quand ils espéraient augmen-
« ter l'effet en accroissant la charge et la profondeur des
« trous, il se produisait des ratés. Il est même des ouvriers
« qui ont éprouvé des maux de tête dans les endroits mal
« aérés, comme cela arrive souvent au front de taille d'une
« galerie à travers bancs lorsque celle-ci a acquis une cer-
« taine longueur. On est cependant décidé à faire de nou-
« veaux essais dans ces galeries, et il arrivera peut-être que
« les ouvriers finiront par tirer bon parti de la dynamite.

« Il faut cependant dire que les roches que l'on avait à
« traverser sont très-dures, et qu'on n'avait pu y employer
« la nitroglycérine qui partout ailleurs donnait des résul-
« tats satisfaisants. Comme il arrive souvent que l'ouvrier
« n'aime pas à changer ses habitudes de travail et que la
« routine est parfois la plus grande ennemie d'une bonne
« invention, la société de la Nouvelle-Montagne avait chargé
« le propagateur de la nitroglycérine en Belgique de l'em-
« ploi de cette substance dans ses travaux à travers bancs,
« se réservant d'en imposer l'usage à ses ouvriers s'il était
« établi qu'il y eût avantage à s'en servir.

« En demandant au propagateur d'opérer lui-même, on
« devait compter qu'il saurait trouver les conditions les plus
« favorables de travail dans les terrains qu'il aurait à tra-
« verser, et qu'il n'aurait plus qu'à donner les indications
« nécessaires à deux ou trois brigades d'ouvriers. Mais après

« trois mois d'essais, cet expérimentateur déclara qu'il ne « pouvait obtenir un résultat meilleur qu'avec la poudre « ordinaire, et la société dut renoncer à employer la nitro- « glycérine dans ces circonstances. La dureté de la roche « était telle que l'avancement mensuel d'une galerie de « 1m,80 de haut sur 1m,20 de large ne pouvait dépasser « 3 mètres à 3m,50. On n'a donc pas été surpris de voir que « dans les mêmes terrains on ne pouvait tirer un bon parti « de la dynamite.

« D'ailleurs, les bons effets de cette poudre doivent sur- « tout se faire sentir quand la section des galeries dans les- « quelles on l'emploie est très-grande ; les galeries de mines « ordinaires sont trop petites pour permettre à sa puissance « de produire tout son effet utile, parce que la roche n'est « pas dégagée sur une assez grande surface. On doit obte- « nir, au contraire, de très-bons effets dans les carrières, « dans les grands tunnels, dans les vastes excavations de « mines, partout où la surface libre est suffisamment déve- « loppée.

« Ce qui le prouve bien, c'est que si dans les galeries à « travers bancs on n'a pu employer la dynamite avec avan- « tage, il n'en a pas été de même aux chantiers d'abatage « où le front de taille est plus développé, et dans le fonçage « des puits où la surface libre est beaucoup plus grande que « dans une galerie.

« Dans le fonçage des puits, au milieu de terrains aqui- « fères et durs, il y a positivement un avantage réel à em- « ployer la dynamite, parce que, lorsque le trou de mine est « à la profondeur convenable, on n'a qu'à y introduire une « charge préparée d'avance, et à y mettre le feu sans s'in- « quiéter le moins du monde du bourrage qui est suffisam- « ment produit par l'eau qui remplit le trou. Dans ce cas, « avec la poudre ordinaire, il faut employer des cartouches « métalliques ou assécher complétement le trou ; de plus, « faut opérer un bourrage soigné; toutes ces opérations du-

« rent souvent une demi-heure, et encore il se produit beau- « coup de ratés. La dynamite présente donc là un grand « avantage.

« Pour l'abatage des minerais dans les gîtes compactes et « durs, fissurés et renfermant des géodes ou des excavations « et où le front de taille est développé, l'avantage de la dy- « namite est encore plus marqué que dans le fonçage des « puits. Il arrive souvent qu'une mine chargée à la poudre « ordinaire ne produit aucun effet utile, parce que les gaz « s'échappent par une fissure ou une excavation en commu- « nication avec le trou. Si, lorsque ce cas se présente, on « fait une charge de dynamite, le coup produit tout son « effet, sans que pour le bourrage on ait jamais besoin « d'employer la masse ; un simple bourroir en bois suffit « toujours.

« On a constaté à la Nouvelle-Montagne que dans les « massifs de minerais durs et fissurés dont il vient d'être « question, l'emploi de la dynamite avait produit une dimi- « nution de 2 francs dans le prix de revient de la tonne de « minerai abattu. On a même pu exploiter des parties de « gîtes, reconnues inexploitables avec la poudre ordinaire, « parce que la moitié au moins des coups de mine partaient « sans produire d'effet.

« Les trous de mine doivent avoir un diamètre qui ne « dépasse pas 0m,03. Leur profondeur ne doit pas être « moindre que 0m,35 ; elle va très-bien jusqu'à 1m,50.

« Les cartouches de dynamite ont 2c,5 à 2c,75 de diamètre.

« On a reconnu à la Nouvelle-Montagne qu'une cartouche « de 0m,03 de hauteur fait le même effet qu'une de 0m,14 « remplie de poudre ordinaire et de même diamètre. On es- « père obtenir mieux encore lorsque les ouvriers seront plus « habitués à l'emploi de la nouvelle substance. »

On a constaté en effet que la force expansive de la dynamite était de huit à dix fois plus grande que celle de la poudre ordinaire.

J'ajouterai à ce qui précède que dans les minerais fissurés et géodiques dont parle M. Bouhy, il serait possible à des ouvriers intelligents de faire sauter beaucoup de roches sans faire de trous, en profitant simplement des fissures et des excavations naturelles pour y déposer les charges de dynamite. Il est constaté que la dynamite peut encore produire de bons effets dans ce cas.

A Moresnet, j'ai vu employer la dynamite dans les conditions suivantes :

Dans une galerie de traçage de $1^m,80$ de haut sur $1^m,20$ de large, poussée à travers une calamine siliceuse très-dure, on avait fait au front de taille quatre trous de $0^m,75$ de profondeur, mais dirigés normalement à la paroi et répartis également sur toute la surface. On chargea chaque trou d'une cartouche de $0^m,20$ à $0^m,25$ de longueur, et l'on fit partir les quatre coups simultanément au moyen de l'électricité. Malgré la direction normale des trous, l'effet de l'explosion s'est fait sentir au delà même du fond, et sauf quelques morceaux qui restaient dans les angles et qui durent être abattus ensuite, la galerie se trouvait avancée du coup de près de $0^m,80$. Toute la masse détachée était presque pulvérisée; la charge était trop forte.

Je dois ajouter aussi que je suis retourné au front de taille aussitôt après l'explosion, avec le maître mineur qui m'accompagnait. Il y avait une fumée assez intense, mais je n'en ai nullement été incommodé. Les ouvriers se sont remis au travail immédiatement. Ils se servaient de dynamite depuis longtemps déjà, et ne se plaignaient d'aucune gêne produite par la fumée. Cependant la galerie était déjà très-longue, et n'était pas ventilée.

Dans une excavation au jour, où l'on exploite du calcaire pour servir de remblai dans la mine, on avait foré, dans un banc très-épais, incliné d'environ 45 degrés sur l'horizon, un trou de $2^m,60$ de profondeur et de $0^m,025$ de diamètre. On l'a chargé à peu près sur le tiers de sa longueur. La charge

était au moins à 2 mètres de toute fissure ou paroi dégagée. Par suite de l'explosion, il s'est détaché deux énormes blocs, ayant chacun 2 à 3 mètres cubes de volume, l'un au-dessus, l'autre au-dessous du coup de mine. Rien n'a été projeté; mais sur toute sa longueur, le trou se trouvait élargi de près de $0^m,15$, par suite de la pulvérisation de la roche environnant la chambre de combustion. Cet effet n'est pas une particularité arrivée fortuitement dans ce cas; il est constaté par l'expérience qu'il se produit toujours. Quand on considère attentivement le front de taille d'un chantier où l'on emploie la dynamite, on y reconnaît facilement des espèces de nids hémisphériques; ce sont les places des coups de mine qui sont ainsi marquées. Tandis que l'action de la poudre ne se produit pas toujours jusqu'au fond du trou, celle de la dynamite va toujours au delà, et pulvérise la roche sur un certain rayon, de manière à produire les cavités en question. Si cette particularité constitue un avantage sérieux au point de vue du volume abattu, elle occasionne un inconvénient grave quant à l'état de la roche détachée, et donne lieu à beaucoup de menus. Cela tient aux propriétés éminemment brisantes de la dynamite.

Je pourrais citer beaucoup d'autres résultats d'expériences relatives à l'emploi de la dynamite; je préfère me borner là, et renvoyer à la collection de documents recueillis sur la matière et publiés tout dernièrement par M. Paul Barbe, propriétaire des mines de fer de Liverdun (Meurthe). On trouvera dans cette brochure, intitulée *la Dynamite*, le résumé complet de toutes les données que l'on possède aujourd'hui sur cette poudre.

4. ***Dualine.*** — Je n'ai pas vu employer la dualine; aussi je me contenterai de résumer les divers résultats d'expériences que son inventeur m'a communiqués, et qui sont tous attestés par des ingénieurs ou des exploitants de mines. Pour cela, il me suffira de citer ceux qui sont rela-

tifs aux expériences faites à la houillère de Dudweiler, près de Saarbrück, le 17 juin 1869, dans des galeries à travers bancs, ou dans des galeries de traçage dans la couche de houille. Le tableau suivant les résume.

Numéros	NATURE de la roche.	Nombre.	PROFONDEUR des trous.	CHARGE de dualine.	EFFET PRODUIT.	QUANTITÉ de poudre ordinaire produisant le même effet.	Observations.
			mètres.	grammes.	mètres cubes.	grammes.	
1	Schistes durs. .	1	0,32	95	1 de déblais.	340	(1)
2	Grès durs. . . .	1	0,60	67	1/3 de déblais.	250	(2)
3	Grès durs. . . .	1	0,46	38	1/10 de déblais.	»	(3)
4	Schistes et sphérosidérite très-dure.	1	0,95	125	2 de déblais.	1.062	(4)
5	Charbon.	2	0,92 0,92	77 77	2 tonnes de charbon, dont 1 demi-tonne de menus.	540	(5)
6	Charbon.	2	0,95 0,95	31 31	La masse était tombée, mais simplement divisée en gros fragments.	»	(6)

(1) Le coup était bien bourré; il fut allumé avec des canettes.
(2) Idem.
(3) Le trou était plein d'eau. La charge fut allumée avec une mèche à capsule, sans bourrage.
(4) Le trou était au toit. La couche de sphérosidérite avait 0m,10 d'épaisseur.
(5) La sous-cave avait 1 mètre de profondeur. Les deux trous étaient à la sortie supérieure de la couche.
(6) Idem.

De ces expériences, il semble résulter que la dualine a une force expansive environ quatre fois plus grande que celle de la poudre ordinaire, et qu'elle n'est pas très-brisante. Elle donne en effet moins de menu charbon que cette dernière.

Au point de vue de la salubrité, on a constaté à Dudweiler que les ouvriers n'étaient pas incommodés en venant reprendre leur travail au front de taille d'une galerie mal ventilée où l'on venait de faire partir successivement cinq coups de mine.

5. *Lithofracteur.*—Je n'ai vu aucune mine où le lithofracteur fût employé. C'est une préparation assez récente et qui n'est pas encore très-répandue. J'ai seulement assisté

à quelques expériences faites à l'usine de MM. Herbst frères à Call (Eifel), sur des loups de fourneaux à plomb. Ces masses ferreuses sont extrêmement difficiles à attaquer; formées par un enchevêtrement de fonte et de scories très-basiques imparfaitement fondues, elles présentent une ténacité excessive, et ne se laissent forer que très-difficilement par les burins. Aussi, lorsqu'on cherche à les débiter pour les repasser dans les fourneaux, on n'y fait pas de trous de mine proprement dits; on utilise, pour y placer les charges, les cavités qui s'y rencontrent naturellement.

Avec la poudre ordinaire, cette opération serait impossible; le prix de la poudre employée serait de beaucoup supérieur à la valeur de la matière obtenue. C'est pour remédier à cet inconvénient que l'on voulait appliquer le lithofracteur.

J'ai vu faire des essais assez nombreux sur des masses très-difficiles à attaquer, et dont on avait déjà enlevé tout ce que la poudre ordinaire pouvait faire sauter. De plus, on mettait des charges très-faibles. Néanmoins plusieurs réussirent et donnèrent des résultats réellement surprenants.

Ainsi, dans une petite cavité existant à la surface d'une masse dont la moindre dimension était de 0m,75 au moins, on a vidé une cartouche de lithofracteur de 0m,15 à 0m,20 de longueur sur 0m,025 de diamètre; on a recouvert la charge avec de l'argile, et mis le feu à l'aide d'une mèche à capsule. Les environs de la charge furent lancés en éclats, et la masse fendue par une fissure qui la partagea en deux blocs; mais la séparation n'était pas tout à fait complète, les blocs restèrent adhérents.

Sur une masse plus petite, ayant la forme d'un prisme couché de 0m,25 de côté sur 0m,60 de longueur, on plaça une cartouche qu'on recouvrit de terre, et que l'on comprima avec un bloc plus petit. Après la détonation, le gros bloc était séparé en deux parties, et le petit divisé en frag-

ments qui avaient été lancés de tous les côtés dans l'espace.

Voici d'ailleurs d'autres résultats d'expériences faites dans le même sens, et qui m'ont été communiquées par M. Krebs.

(Essen, 28 septembre 1869). Une masse de fonte de $1^m,40$ de longueur, $0^m,75$ de largeur sur $0^m,50$ d'épaisseur, pesant 3.500 kilog., reposait sur le sol par un bout et sur de la ferraille par l'autre, de manière à présenter une inclinaison sur l'horizon d'environ 45 degrés. La face supérieure était plane et polie. On plaça sur cette face 3 kilog. de lithofracteur que l'on recouvrit d'argile humide. On mit le feu à l'aide d'une mèche à capsule. Par suite de l'explosion, la masse se fendit nettement en deux morceaux séparés.

Les expériences qui suivent ont été faites par l'autorité militaire prussienne, dans le but d'étudier les propriétés du lithofracteur au point de vue de l'attaque et de la défense des places, de la destruction des blindages, etc. Elles montrent bien la puissance explosive de cette substance et ses effets sur les différents matériaux de construction.

1° *Bois.*—Un rondin de $0^m,30$ de diamètre sur $1^m,25$ de longueur fut complétement déchiré par une charge de 132 grammes placée en son milieu.

Un tronc de $0^m,53$ de large sur $0^m,45$ de long fut brisé avec une charge de 500 grammes placée dans un trou profond de $0^m,20$.

2° *Fonte.* — Une enclume de fonte pesant 1.500 kilog. fut partagée en huit fragments de 125 à 150 kilog. chacun par l'effet de deux charges successives de 1.500 et de 750 grammes de lithofracteur, placées dans des trous juste assez grands pour les recevoir.

En employant des charges variant de 130 à 260 grammes, sans creuser de trous, on débita tous les morceaux obtenus en fragments de 50 kilog., et pour cela on usa environ 4.500 grammes de lithofracteur.

Une plaque de fonte, longue de 2 mètres, large de $0^m,37$ et épaisse de $0^m,10$, fut brisée en quatre morceaux égaux par l'effet d'une charge de 310 grammes placée à sa surface.

Enfin, à l'aide d'une charge de 4 kilog., sans trou pour la recevoir, on détacha d'une enclume en acier fondu pesant 2.500 kilog. une masse de 1.250 kilog, divisée en quatre gros morceaux et environ soixante petits fragments.

3° *Fer forgé.* — Sur deux tronçons de bandages de roues de wagon, placés sur le sol et distants de 2 mètres, on disposa six autres bandages serrés l'un contre l'autre. Sur le tout, on plaça 2 kilogr. de lithofracteur, qu'on recouvrit avec quelques tranches de gazon. Par suite de l'explosion, deux bandages furent rompus en deux morceaux, deux autres en trois; les deux derniers furent simplement ployés.

Dans une deuxième expérience, on disposa neuf bandages sur deux couches, en les plaçant en sens inverse l'un de l'autre, et de champ. Sur le tout, on disposa $7^k,500$ de lithofracteur, qu'on recouvrit de $0^m,60$ de terre. Tous les bandages furent rompus en deux ou trois tronçons.

4° *Pierre.* — A la surface d'un bloc de basalte, d'un pied cube de volume, on plaça une charge de 110 grammes. Le bloc fut brisé en sept ou huit morceaux.

5° *Maçonnerie.* — Un bloc de maçonnerie de briques, d'un mètre cube de volume, fut partagé en plusieurs fragments par une charge de 125 grammes.

Une charge de 500 grammes enleva à un mur en briques un volume de maçonnerie de 3 mètres cubes. Tout fut divisé en petits fragments. Une charge égale fit, dans un mur de pierre de $0^m,80$ d'épaisseur, une brèche de 35 décimètres quarrés.

6° *Terre.*—Une charge de $7^k,500$, placée à $2^m,30$ au-dessous du sol, produisit un entonnoir de 2 mètres de diamètre sur $0^m,65$ de profondeur, et une large crevasse qui se prolongeait jusqu'à 6 mètres du centre de cet entonnoir.

7° *Action sous l'eau et à distance.* — On a reconnu que sous l'eau, l'action du lithofracteur peut s'exercer à quelques pieds de distance; au delà, elle ne se fait plus sentir, parce qu'elle se porte surtout sur le liquide qu'elle projette avec une grande force.

Cette propriété permettrait l'emploi du lithofracteur pour le sautage des blocs sous-marins.

Voici du reste deux expériences :

On plaça une plaque de tôle de chaudière à vapeur, de $0^m,006$ d'épaisseur, sous l'eau, à une distance de $1^m,60$ d'une charge de 4 kilogr. de lithofracteur : elle fut brisée en son milieu.

La même expérience réussit également avec une plaque de $0^m,012$ d'épaisseur placée à 1 mètre d'une charge de $7^k,500$ (*).

Pour étudier l'influence du choc, on chargea un obus avec 300 grammes de lithofracteur; il fut tiré avec 500 grammes de poudre ordinaire, dans un canon. L'obus s'enfonça à $2^m,65$ dans le sol, mais n'éclata pas. Cette expérience, répétée un grand nombre de fois, donna toujours le même résultat.

IV. — Conditions de sécurité dans la fabrication, le transport, le magasinage et l'emploi des poudres de mine.

Après m'être étendu assez longuement sur les propriétés et les effets des différentes poudres de mine, je vais donner quelques indications sur le degré de sécurité qu'elles peuvent présenter dans les occasions diverses où on les

(*) En répétant des expériences analogues, soit avec la dynamite, soit avec le lithofracteur, on reconnut bien vite que ces matières pouvaient devenir des engins de pêche très-expéditifs. Quand on en fait détoner une charge sous l'eau, tous les poissons qui existent dans un certain rayon autour de la charge sont ou tués ou étonnés, et viennent à la surface de l'eau où on les prend facilement à la main ou avec des râteaux.

manie, et sur les précautions à prendre pour les rendre aussi inoffensives que possible.

Je ne dirai rien de la poudre ordinaire; je ne parlerai pas non plus en particulier du coton-poudre; son emploi n'est pas assez développé : on fera bien, du reste, lorsqu'on s'en servira, de prendre les mêmes précautions que pour les autres substances dont il est question dans cette note, quoiqu'il soit moins dangereux.

C'est la nitroglycérine qui forme la base des autres poudres de mine; comme le montrent ses propriétés, et comme l'ont malheureusement fait voir les terribles accidents qu'elle a causés, c'est un corps très-dangereux, surtout à cause de son état liquide. On peut dire en principe que cette substance ne devrait jamais être transportée, même en quantité minime, et que si l'on est forcé de le faire par suite de conditions majeures, on devrait toujours la rendre inexplosible par l'addition d'une quantité convenable d'alcool méthylique. Il faudra donc établir la fabrique de nitroglycérine dans l'endroit même où l'on doit l'utiliser.

Cette fabrique devra toujours être éloignée de toute espèce de constructions en matériaux résistants, pouvant devenir des projectiles dangereux lors d'une explosion qui détruirait ces constructions. Les ateliers de fabrication seront petits, isolés les uns des autres et séparés par des murs en terre. Ils seront couverts par des hangars très-légers, ouverts, ou fermés par des murs en torchis. Ils devront être placés dans un enclos et assez loin des limites pour qu'aucun projectile lancé du dehors fortuitement ou avec intention ne puisse les atteindre. La clôture la meilleure sera une forte haie bien fourrée, ou un large fossé palissadé.

Dans chaque atelier, on n'opérera jamais que sur des quantités relativement minimes, et l'on prendra toutes les précautions possibles pour empêcher l'élévation de tempé-

rature; c'est dire que l'eau devra être très-abondante. Enfin on n'emploiera aucun ustensile perméable à la nitroglycérine, c'est-à-dire que le bois devra être complétement proscrit. On se servira de fioles en verre et de bassins en métal.

Autant que possible, on évitera d'avoir une grande quantité de nitroglycérine préparée à l'avance; dans tous les cas, le dépôt de cette substance devra être isolé des ateliers, et les ouvriers devront y transporter leurs produits sitôt qu'ils seront préparés.

Lorsqu'on utilisera la nitroglycérine pour la fabrication de la dynamite, de la dualine ou du lithofracteur, il faudra suivre les mêmes prescriptions. L'opération la plus dangereuse sera celle du mélange; cependant il peut se faire sans beaucoup d'effort mécanique, parce que la nitroglycérine s'infiltre très-bien dans les pores des corps solides. Afin de maintenir une séparation aussi complète que possible entre les ouvriers et d'éviter leur agglomération, on fera bien, je crois, de rendre les ateliers de mélange distants de ceux de préparation.

Comme précédemment, les produits devront être enlevés des ateliers aussitôt qu'ils seront préparés.

Les dépôts et magasins doivent être soumis aux mêmes prescriptions que les ateliers; ils se composeront de petits hangars séparés, recevant chacun une quantité relativement minime de substance. On devra s'arranger de manière à les rendre le plus inutiles possible, c'est-à-dire à régler la fabrication sur les expéditions.

Comme je l'ai dit plus haut, la nitroglycérine ne devrait jamais être transportée; mais il n'en est pas de même des trois autres substances : la dynamite, la dualine et le lithofracteur. Les deux dernières sont d'invention trop récente pour qu'il y ait des dispositions légales particulières prises à leur occasion; mais l'analogie de composition et de propriétés qu'elles présentent avec la dynamite fait croire que

leur degré de sécurité est le même, et que les dispositions relatives à cette dernière suffisent dans tous les cas.

Or, l'expérience a montré que la dynamite n'est réellement pas dangereuse, et qu'il n'est pas nécessaire de prendre à son égard des dispositions par trop exceptionnelles.

En Belgique et en Prusse, on l'a assimilée aux poudres ordinaires, c'est-à-dire que son transport, interdit sur les chemins de fer, ne peut avoir lieu sur les routes et les canaux qu'à condition d'employer des voitures ou des bateaux spéciaux, ne portant aucune autre marchandise, et munis d'une signal apparent qui les fasse reconnaître au loin et recommande la prudence à leur approche.

L'arrêté du roi Léopold II prescrit en outre que la dynamite devra être enfermée dans des récipients ou barils entourés de tresse de paille de tous côtés et ne présentant pas d'ouverture dépassant 1 centimètre quarré de superficie. Il interdit tout naturellement de garnir les cartouches de capsules avant de les transporter; il n'oblige pas à éteindre les feux sur le passage du convoi.

En Autriche, à la suite de nombreuses expériences, on a conclu que le transport de la dynamite ne présentait pas plus de dangers que celui du pétrole, des alcools, éthers, etc., et l'on a autorisé récemment les chemins de fer à l'effectuer. On a seulement prescrit, comme mesures de prudence, certaines précautions à prendre dans la composition des trains et le garage des wagons. On oblige notamment les destinataires à enlever les marchandises aussitôt qu'elles sont arrivées; elles ne doivent pas séjourner dans les gares.

Enfin, par suite d'une décision récente, le transport de la dynamite par chemins de fer a été aussi autorisé en Angleterre.

D'ordinaire, les poudres de mine dont il est question sont expédiées en cartouches, formées d'une simple enveloppe de fort papier. Ces cartouches ont des longueurs varia-

bles. Il vaut mieux qu'il en soit ainsi, afin que les ouvriers qui emploient ces substances aient à les manier le moins possible, et que toute la manipulation se fasse dans les ateliers de fabrication ou les dépôts.

Si l'on exécute des travaux au jour, le magasin dans lequel on conserve l'approvisionnement de matière explosible devra être construit comme les magasins des fabriques. Les caisses renfermant les cartouches seront placées sur des planches isolées du sol au moyen de tréteaux. Les approches du magasin seront bien défendues.

Dans une mine, le meilleur magasin sera un bout de galerie abandonnée ou une excavation faite exprès, n'ayant qu'une seule issue défendue par une porte solidement close et garnie de plusieurs serrures différentes, afin que l'accès en soit impossible à tout autre qu'à l'agent spécialement chargé de la distribution. Ce dépôt devra en outre être isolé des quartiers de la mine en exploitation, afin que s'il vient à sauter, l'effet de l'explosion ne puisse se faire sentir dans les chantiers. On évitera du reste d'avoir un approvisionnement considérable, et si la consommation est forte, on établira plusieurs dépôts semblables pour les différents quartiers de la mine.

Les ouvriers ne pourront jamais avoir à leur disposition un approvisionnement de poudre pour plus d'un poste. On devra aussi leur interdire de préparer d'avance leurs cartouches ; ils ne devront les garnir de la capsule fulminante qu'au moment de les employer.

Pour la dynamite, on a vu que le froid la durcit, et l'on a constaté qu'alors ses effets étaient beaucoup moindres. Pour qu'elle développe toute sa force, il faut qu'elle soit pâteuse. Pour cela, les ouvriers n'ont qu'à mettre les cartouches dans leurs poches ; la chaleur du corps suffit. Cette pratique est sans danger. Dans toutes les mines de Belgique et de Prusse où j'ai vu employer la dynamite, elle était en vigueur, et elle n'a encore causé aucun accident.

Dans le cas où l'on se servirait de nitroglycérine, on devrait toujours l'employer dans des cartouches métalliques, et ne jamais la verser directement dans les trous de mine. Du reste, il est probable que l'emploi direct de cette substance diminuera de plus en plus, et qu'elle sera complétement remplacée par ses dérivés.

En suivant les prescriptions qui précèdent, je crois qu'on arrivera facilement à éviter tous les accidents. Dans tous les cas, s'il s'en produit, ils auront un caractère tout à fait local, et n'atteindront pas cette gravité qui effraye les populations et donne aux substances qui les causent une si triste célébrité.

V. — Conclusions.

Pour terminer cette notice, il ne me resterait plus qu'à comparer et classer les poudre de mines qui en font l'objet ; mais, comme je l'ai dit plus haut, les résultats d'expériences ne sont ni assez nombreux ni assez variés pour qu'on puisse se prononcer définitivement sur la valeur relative de ces substances. Pourtant on peut dire en général que leur emploi devra faciliter l'exploitation des mines et rendre de très-grands services dans beaucoup de cas, notamment dans les grands travaux de construction de chemins de fer. En effet, si l'on considère seulement la dynamite, sur laquelle on possède déjà beaucoup de données, on voit qu'elle diminue notablement le prix de revient de l'abatage des roches dans certains cas. Son effet est environ cinq fois plus grand que celui de la poudre ordinaire, et son prix n'est pas cinq fois plus élevé (*). De plus, la rapidité

(*) La dynamite coûte 4f,50 le kilog. en Belgique.
La dualine coûte 3f,75 le kilog.
Le prix du lithofracteur, dont il existe trois qualités, m'est inconnu.

d'exécution est beaucoup plus grande. Pour plus de renseignements, je renvoie à la brochure déjà citée de M. Paul Barbe (pages 64 et suivantes), qui établit en détail la comparaison entre la dynamite et la poudre ordinaire dans différents travaux.

En général, je crois que de tout ce qui précède on peut tirer les conclusions suivantes :

Si l'on attaque des roches tendres et friables, on conservera l'emploi de la poudre ordinaire, ou l'on se servira de dualine que l'on comprimera peu et que l'on allumera sans capsule, s'il est possible. Pour les roches tenaces, il faudra au contraire recourir à la dynamique ou au lithofracteur.

De même, dans les carrières de pierres de taille, les deux dernières substances seraient trop brisantes; il en serait également ainsi dans l'abatage de la houille ou des minerais massifs. Dans ces cas, on devra donc se servir de poudre ordinaire ou de dualine; mais dans les autres travaux : carrières de pierres à chaux, grandes tranchées et tunnels de chemins de fer, abatage des minerais pauvres et durs, chantiers en terrains aquifères, fissurés ou géodiques, fonçage des puits, on peut dire sûrement que l'emploi de la dynamite ou du lithofracteur doit être préféré. Pour l'avancement des galeries, on ne peut rien dire de général : le choix de la poudre à employer devra être réglé d'après les propriétés et l'état de la roche.

On peut cependant dire que si elle est fissurée ou aquifère, la dynamite y donnera de meilleurs résultats que la poudre ordinaire.

Malheureusement, l'introduction et la fabrication de ces nouvelles poudres de mine sont interdites dans notre pays; de sorte que nous devons rester simples spectateurs, et nous ne pouvons que constater les résultats obtenus chez nos voisins sans pouvoir en profiter.

Bien plus, par suite du monopole que l'État s'est réservé pour la fabrication des poudres, c'est chez nous que la poudre de mine ordinaire coûte le plus cher.

Cependant l'industrie des mines aurait plutôt besoin d'être encouragée qu'imposée, car c'est, avec l'agriculture, la source de toute prospérité, et l'on ne peut pas dire qu'elle soit précisément très-florissante en France.

Du reste, si primitivement l'État s'est réservé le monopole des poudres dans le but d'établir un impôt sur cette industrie, il serait urgent de réduire notablement cet impôt, ou même de le supprimer complétement, afin de nous mettre au même niveau que nos voisins et de nous permettre de soutenir la concurrence que les lois douanières actuelles les autorisent à nous faire. Si, au contraire, on n'a eu pour but, en élevant le prix de la poudre de mine au double au moins de son prix de revient, que d'en empêcher l'emploi comme poudre de chasse ou de munition, emploi difficile, il est vrai, mais possible encore si son prix était très-faible, on ne devrait pas être arrêté par la même considération pour ce qui est relatif aux substances nouvelles, car ces dernières ne peuvent absolument pas servir dans des armes à feu qu'elles briseraient inévitablement. On ne peut donc pas craindre qu'une fois fournies, elles servent à un autre but que celui qui leur est destiné.

Enfin, les expériences faites par les officiers du génie prussiens et autrichiens, ont montré la possibilité de l'emploi de ces matières dans les travaux d'attaque et de défense des places. Pourquoi ne nous en servirions-nous pas dans le même but? Je ne m'appesantis pas sur cette question que je n'ai pas mission de traiter, je ne fais que l'indiquer.

Il serait donc très-désirable que la fabrication et l'emploi des nouvelles substances explosibles fussent laissés libres, et simplement soumis à une réglementation de prudence.

Indications sur l'emploi de l'électricité pour l'allumage

des coups de mine. — On sait depuis longtemps que l'explosion simultanée de plusieurs coups de mine produit un effet plus grand que les explosions successives de ces mêmes coups de mine. On ne peut arriver à la simultanéité complète que par l'emploi de l'électricité.

Je vais terminer cette note en indiquant le procédé suivi à Moresnet, et que j'ai vu fonctionner très-bien en septembre dernier.

On se sert de dynamite. Dans une petite cartouche de cette substance, destinée à enflammer la charge entière, on fait pénétrer une règle de bois, de la longueur du trou de mine et formée de deux plaques collées l'une à l'autre. Entre ces deux plaques de bois courent deux fils de fer très-fins et isolés; les extrémités de ces fils aboutissent à une capsule fulminante fixée au bas de la règle, et placée à l'intérieur de la cartouche. Les deux fils servent de conducteurs pour l'étincelle électrique. La *fig.* 5, Pl. I, représente la disposition de la règle et de la cartouche.

L'étincelle est produite par un appareil très-simple, et surtout très-peu délicat. Il consiste en un cylindre de gutta-percha vulcanisée, qui peut en tournant frotter contre un coussin et développer de l'électricité. Les fils de la cartouche sont mis en communication à l'aide de fils télégraphiques avec deux petites boules communiquant directement l'une avec le coussin frotteur, l'autre avec un peigne placé vis-à-vis du cylindre de gutta-percha. Toute la machine est renfermée dans une boîte en bois, fermée de toutes parts, et d'où sortent seulement les deux boules auxquelles on accroche les fils. Le mouvement de rotation du cylindre est produit à l'aide d'une clef à canon que le chef mineur doit toujours garder avec lui, afin qu'en touchant à la machine pendant qu'on exécute la charge, des ouvriers imprudents ne puissent produire l'étincelle et causer des accidents (*fig.* 6, Pl. I). Cette machine est de très-petite dimension, et cependant un ou deux tours suffisent toujours

pour produire l'étincelle si les fils sont bien isolés, ce à quoi l'on doit toujours veiller. Dans une galerie, la manière la plus sûre est de les accrocher à des supports en porcelaine fixés aux chapeaux des cadres de boisage. De cette façon, ils ne fouettent pas contre les parois, et restent bien isolés.

Dans l'expérience à laquelle j'ai assisté à Moresnet, la charge, la préparation et l'explosion simultanée de quatre coups de mine n'ont pas demandé plus de 10 minutes. Je crois le procédé excellent, et applicable dans beaucoup de cas. L'appareil électrique surtout est bien préférable aux systèmes toujours plus délicats et plus coûteux qui sont fondés sur l'induction.

Mai 1870.

La note qu'on vient de lire était à l'imprimerie depuis le mois de juin 1870. Par suite des événements qui sont survenus, la publication des *Annales des mines* avait été suspendue depuis cette époque.

Dans ces derniers temps, pendant le siége de Paris notamment, on a beaucoup agité la question des matières explosibles en général, et de la dynamite en particulier.

A Paris, la commission d'armement du ministère des travaux publics a cherché à faire fabriquer cette dernière substance. On n'a réussi que difficilement à produire une dynamite renfermant beaucoup moins de nitroglycérine que celle de Nobel (25 à 35 p. 100, je crois), et qui n'a pu rendre que de très-faibles services à la défense.

En dehors de Paris, M. Paul Barbe, dont j'ai cité plus haut la brochure, après avoir traité avec Nobel, a obtenu de la délégation du gouvernement de Tours, l'autorisation de fabriquer la dynamite, de la vendre, soit au gouvernement, soit aux particuliers, et de la faire transporter par chemins de fer. L'interdiction dont je demandais la levée dans la note qui précède n'existe donc plus.

M. Barbe, dont l'usine est établie à Port-Vendres, a eu l'idée de fabriquer différentes espèces de dynamites plus ou moins fortes, ou plus ou moins brisantes, selon la quantité de nitroglycérine

qu'elles renferment; c'est un excellent moyen pour généraliser l'emploi de ces substances, car, comme on l'a vu plus haut, les propriétés de la poudre doivent être en rapport avec celles de la roche à abattre.

Juin 1871.

MÉMOIRE

SUR LE SIEBENGEBIRGE ET L'EIFEL.

Par M. R. ZEILLER, ingénieur des mines.

Les roches volcaniques du Siebengebirge et de l'Eifel ont été déjà décrites plus d'une fois par les géologues allemands, principalement par MM. d'OEynhausen et de Dechen. Je n'ai pas la prétention de rien ajouter de nouveau à leurs observations; mais ayant recueilli, mon camarade A. Henry et moi, dans le voyage de mission que nous avons fait ensemble en 1869, une collection assez complète de ces roches pour l'École des mines, j'ai pensé qu'il ne serait pas sans intérêt de réunir les quelques notes que nous avions prises sur le terrain; j'ai eu plus d'une fois recours aux ouvrages de M. de Dechen pour les compléter.

I. — LE SIEBENGEBIRGE.

Le Siebengebirge est un petit groupe de montagnes placé sur la rive droite du Rhin, au bord méridional de la grande plaine qui s'étend depuis Düren et Bonn jusqu'à Cologne et au-dessous de cette ville. L'élévation en est assez faible et ne dépasse guère 400 à 450 mètres (*); cependant, quand on les voit des environs de Cologne rompant seules la monotonie de la plaine, on est porté à les juger beaucoup plus hautes, et ce n'est qu'en arrivant à leur pied même que l'on reconnaît son erreur. Les mon-

(*) Le niveau du Rhin, à Königswinter, est à la cote 47 mètres.

tagnes du Siebengebirge se présentent sous la forme de cônes à pente assez abrupte, souvent tronqués au sommet, et presque isolés les uns des autres. Ce n'est guère que de Bonn qu'on peut découvrir à la fois les sept qui ont fait donner à tout le groupe son nom de Siebengebirge (Sept-Montagnes). On aperçoit d'abord à l'est les plus élevées : l'OElberg (464 mètres), couronné par un escarpement basaltique; à sa droite le cône trachytique du Lohrberg (442 mètres). Au delà apparaît la Löwenburg (459 mètres), sur laquelle se projette la crête du Nonnenstromberg (337 mètres). A celui-ci se rattache le Petersberg (334 mètres), dont le sommet en forme de plateau supporte un ancien couvent. Enfin le massif se termine à droite par la Wolkenburg (328 mètres), dont les flancs sont ouverts par d'immenses carrières pour l'exploitation du trachyte; et par le cône escarpé du Drachenfels (326 mètres), surmonté d'une vieille tour féodale. Le croquis (*fig.* 1, Pl. II) peut donner une idée de cet ensemble.

Avant de détailler davantage la topographie du Siebengebirge, j'ajouterai qu'il se relie au sud à la chaîne au milieu de laquelle coule le Rhin, et qui est entièrement constituée par des schistes et des grauwackes de l'époque dévonienne. Quelques cônes basaltiques percent néanmoins les formations anciennes; je citerai en particulier le Minderberg et le Dattenberg, aux environs de Linz, célèbres par les magnifiques colonnes prismatiques de leurs carrières; le basalte se retrouve également sur la rive gauche, au-dessus de Königswinter, en masses considérables qui forment au bord du fleuve de grands escarpements divisés en beaux prismes réguliers. Au nord, le terrain s'abaisse peu à peu, et l'on voit apparaître les couches tertiaires. Quelques mamelons basaltiques peu élevés bordent encore la rive droite du fleuve, mais ils disparaissent bientôt pour faire place à l'interminable plaine qui s'étend jusqu'au pied des hauteurs de Bensberg.

On peut remarquer, dans le massif proprement dit des Sept-Montagnes, trois chaînons principaux partant du point le plus élevé du groupe, et entre lesquels s'ouvrent les deux vallées du Mittelbach et du Rhöndorfer Bach, qui débouchent dans le Rhin, l'une en amont, l'autre en aval de Königswinter (*).

Le chaînon moyen est le plus important; il est entièrement formé de sommets trachytiques, et part du Lohrberg pour se terminer au Drachenfels. Cette dernière montagne est, parmi les sept, celle qui a le plus de réputation; cela tient à son aspect pittoresque et à la belle vue dont on jouit de son sommet, qui est devenu un but de promenades pour de nombreux touristes. Le Drachenfels s'élève au-dessus du Rhin par des pentes très-escarpées, résultant de ce que, depuis le commencement du XIV^e^ siècle jusqu'au nôtre, on n'a cessé d'exploiter le pied de la montagne pour fournir des matériaux pour la construction de la cathédrale de Cologne. Les carrières s'échelonnaient les unes au-dessus des autres jusqu'au sommet et menaçaient d'amener la destruction complète des ruines qui couronnent le Drachenfels, quand on se décida à renoncer à l'emploi du trachyte pour l'achèvement de l'édifice, ayant reconnu, un peu tard, que cette roche s'altère sensiblement à l'air et ne présente pas toutes les garanties de solidité désirables.

La partie orientale du cône du Drachenfels est la seule qui semble n'avoir pas été touchée par la main de l'homme; elle présente une pente assez régulière de 35 à 38 degrés. A 60 mètres environ au-dessous du sommet, on rencontre le col qui la sépare de la Wolkenburg; cette montagne présente de loin une forme trapézoïdale parfaitement régulière : elle aussi a été, depuis longtemps, mise en exploitation, et l'on n'a pas respecté les ruines qui couvraient son sommet. D'immenses carrières en étages s'ouvrent sur

(*) Voir la carte du Siebengebirge, Pl. II, *fig.* 6.

ses flancs et principalement sur le versant méridional, faisant apparaître la division de toute la masse de la montagne en énormes prismes verticaux, qui font ressembler de loin le front de taille des carrières à un immense jeu d'orgues. Le trachyte de la Wolkenburg est, comme je l'indiquerai plus loin, différent de celui du Drachenfels : il se taille mieux et résiste plus énergiquement à la décomposition; aussi est-il fort employé pour les constructions, mais surtout à l'intérieur des habitations. En continuant vers l'est, le chaînon que je considère suit toujours la même direction, qui est à peu près E.-N.-E., jusqu'à un sommet qui porte le nom de Jungfernhardt, et à partir duquel il s'infléchit vers le sud-est, pour prendre la direction N. 100° E., qu'il conserve jusqu'au Lohrberg; cette montagne est à peu près conique, et présente trois sommets, dont le plus élevé est celui du milieu. Du Lohrberg se détache un très-court chaînon placé un peu au nord du premier et courant parallèlement à lui : le vallon étroit qui les sépare débouche dans la vallée du Mittelbach. Le Lohrberg est en quelque sorte le point central de la grande masse de trachyte des Sept-Montagnes; il est le plus élevé de tous les sommets formés par cette roche; aussi appartient-il, ainsi que l'OElberg et la Löwenburg, à la ligne de partage des eaux entre le Rhin et le Pleissbach, affluent de la Sieg; c'est à ses pieds que prend naissance le ruisseau du Mittelbach, que j'ai déjà cité. Ses eaux coulent dans une vallée assez resserrée d'abord entre deux lignes de sommets trachytiques et s'élargissant ensuite jusqu'au Rhin : le lit du ruisseau est creusé dans le tuf ou conglomérat trachytique, qui atteint sur la rive gauche une assez grande puissance et forme une série de croupes basses appuyées sur le chaînon principal, entre lesquelles courent plusieurs ruisseaux de peu d'importance. Un cône trachytique parfaitement régulier vient percer cette masse, c'est le Hirschberg, situé au N.-O. de la Wolkenburg. Avant de se jeter dans le Rhin, le Mittelbach traverse

une bande étroite de terrain tertiaire au Quegstein, puis le dépôt diluvien connu sous le nom de lœss, et en dernier lieu les alluvions formées par le fleuve lui-même.

La rive droite du ruisseau est formée par le second des trois chaînons que j'ai indiqués, mais celui-ci est moins régulier que le précédent, et une profonde dépression le sépare presque en deux vers son milieu. L'OElberg forme l'extrémité de la partie orientale; c'est le sommet le plus élevé de tout le massif. Sa base est formée de trachyte, recouvert au nord par les tufs ou conglomérats trachytiques. La partie supérieure de la montagne est un cône de basalte coupé au sud par un escarpement vertical qui lui donne cette forme caractéristique qu'on a souvent comparée à la crête d'un casque. Vers le nord, l'OElberg s'étend en pente douce, séparant le Pleissbach du Lutterbach, son affluent. Le chaînon trachytique qui part de l'OElberg s'avance sur la rive droite du Mittelbach jusqu'à la Grande-Rosenau, pour se replier là vers le nord et se terminer par une montagne assez basse, le Stenzelberg (288 mètres), où se trouvent les carrières les plus importantes des Sept-Montagnes. La rive droite du Mittelbach, dans la partie inférieure du cours de ce ruisseau, est bordée par deux sommets basaltiques, le Nonnenstromberg et le Petersberg. Le premier est séparé de la Grande-Rosenau par un col dont le point le plus élevé est à 260 mètres d'altitude environ et où passe une fort belle route conduisant de Königswinter à Heisterbacherrott et à l'abbaye d'Heisterbach. Le Nonnenstromberg est une crête allongée s'abaissant, au nord et au sud, par des pentes rapides. Un col peu profond le sépare du Petersberg, cône basaltique régulier, à la base duquel on trouve, au sud, les tufs trachytiques et un lambeau de trachyte, et au nord, une assez grande étendue de couches tertiaires descendant vers l'Altebach par une pente douce et uniforme, interrompue seulement par le piton boisé du Falkenberg (225 mètres).

Le chaînon principal, dont j'ai parlé d'abord, présente vers le sud des pentes rapides, au pied desquelles coule le Rhöndorferbach, dans une vallée étroite, bordée sur l'autre rive par le troisième chaînon, dont le point extrême est le sommet de la Löwenburg ; cette montagne est constituée par une roche particulière, la dolérite, qui a percé le trachyte, et formé au-dessus de lui un cône régulier, couronné au sommet par de grands escarpements rocheux sur lesquels on voit encore les ruines d'un vieux château. De la Löwenburg, le chaînon se dirige vers l'O.-N.-O. jusqu'au sommet du Bockeroth, au pied duquel sont ouvertes les intéressantes carrières de Kühlsbrunnen. Là il s'infléchit brusquement pour prendre l'orientation N. 150° O., presque parallèle à celle du chaînon principal. Il se termine au Breiberg (324 mètres), dont la crête trachytique sort des schistes qui forment la base de la montagne, et dans lesquels le ruisseau de Rhöndorf s'est creusé un lit très-profond dans toute la partie inférieure de son cours.

Tous les sommets des Sept-Montagnes sont couverts de bois, qui rendent souvent fort difficile l'étude géologique du sol. Il est à remarquer que, malgré la forte proportion de silice que renferme le trachyte, les végétaux qui croissent sur cette roche ne sont pas exclusivement ceux des sols siliceux ; il s'y mêle, et surtout sur les trachytes peu chargés d'orthose, comme à la Wolkenburg et au Stenzelberg, plusieurs espèces d'arbres des forêts à sol calcaire, notamment les cornouillers et l'érable champêtre ; cela tient sans doute à ce que ces roches ne contiennent qu'une faible quantité de silice libre.

Schistes et Grauwackes. — La formation la plus ancienne que l'on rencontre dans le Siebengebirge se compose de couches plissées formées de schistes avec quelques bancs de grauwacke ; au sud, elles apparaissent sur une étendue fort considérable ; mais dans les Sept-Montagnes, elles sont

généralement recouvertes par des formations plus récentes et ne se montrent que sur un petit nombre de points : à la vallée de Rhöndorf, sur le versant nord-ouest du Drachenfels, et le long du Rhin, derrière le village d'Oberdollendorf. Leur direction varie entre N. 47° E. et N. 70° E., soit en moyenne N. 59° E. ; elle coïncide donc exactement avec celle du système du Hundsrück. Les éruptions trachytiques et basaltiques ne semblent pas avoir eu d'influence sur la position des couches dévoniennes, car aux environs des points où elles se sont fait jour, on ne trouve aucune irrégularité dans la stratification de ces couches, non plus que dans la direction des feuillets schisteux, restée parallèle à celle qu'on observe au sud, dans une région où rien n'est venu modifier leur allure primitive.

Fossiles. — Les schistes sont excessivement pauvres en fossiles et il est fort difficile d'en trouver : on en a cependant recueilli quelques-uns au pied du versant nord-ouest du Drachenfels, dans un banc de grauwacke ; ce sont les *Spirifer speciosus* Schlot.-*Leptæna semiradiata* Sow.-*Leptæna dilatata* Römer. Dans une autre localité, au sud du Siebengebirge, près du village de Menzenberg, on a trouvé en outre diverses térébratules, des spirifer, un cyathocrinus et plusieurs orthis (*O. Sedgwigii*, *O. Murchisoni*, *O. strigosa*, etc.) (*). Ces diverses espèces suffisent pour établir l'identité des couches anciennes des Sept-Montagnes avec celles des environs d'Ems et de Coblentz, et les faire ranger à la base du terrain dévonien.

Failles et filons. — Des failles nombreuses ont disloqué ces couches ; nous en avons observé plusieurs sur la rive gauche de la vallée de Rhöndorf ; elles étaient sensiblement parallèles comme direction, et orientées à peu près N. 140° à 145° E. ; les rejets qu'elles avaient produits étaient géné-

(*) *Geognostischer Führer in das Siebengebirge*, par M. H. von Dechen. Bonn, 1861.

ralement fort peu étendus. On rencontre aussi quelques filons métallifères, principalement au sud de la Löwenburg, aux environs de Honnef; la plupart ont été exploités; mais aujourd'hui les travaux sont presque abandonnés, et les petites fonderies du Schmelzerthal sont tout à fait en ruines. Ces filons sont tous à gangue de quartz, et renferment les uns de la galène et de la blende, les autres des pyrites de fer et de cuivre. Deux des exploitations ont autrefois présenté ce fait intéressant, qu'on a rencontré des filons de basalte ou de tuf basaltique en contact avec le filon métallifère (*), ce qui semble indiquer nettement une réouverture des anciennes failles. Quant à la direction des filons, il est à peu près impossible, dans l'état actuel des travaux, d'en faire une étude suffisante pour arriver à des résultats sérieux, et pour reconnaître si ces filons se groupent autour d'une orientation générale, et à quels systèmes de montagnes ils se rattachent.

Trachyte. — Je ne reviendrai pas sur la position qu'occupe dans les Sept-Montagnes la grande masse de trachyte, ayant signalé la composition des différents chaînons à mesure que je les décrivais. Je rappellerai seulement que cette roche forme une bande continue qui s'étend de l'ouest à l'est, depuis le Drachenfels jusqu'à Ittenbach, au delà du Lohrberg, sur une longueur de près de 5 kilomètres, et à laquelle se rattachent deux autres petits chaînons, dont l'un s'arrête au Stenzelberg, et dont l'autre forme le bord méridional de la vallée de Rhöndorf. En outre, le trachyte se trouve sur quelques autres points du massif, où il forme des lambeaux ou des sommets isolés : tels sont le Hirschberg, qui s'élève derrière Königswinter, au nord de la Wolkenburg, le Possberg, situé au sud-est de la Löwenburg et séparé seulement par cette montagne des autres

(*) *Geognostischer Führer in das Siebengebirge*, par M. H. von Dechen. Bonn, 1861.

sommets trachytiques du chaînon méridional, et le Mantel, croupe de trachyte placée entre l'abbaye d'Heisterbach et le Stenzelberg, et se reliant peut-être à cette dernière montagne sous la couche de lœss qui les sépare. Je citerai encore les lambeaux qu'on rencontre sur les pentes du Petersberg et du Nonnenstromberg, celui qui se trouve au pied S.-E. du Drachenfels, enclavé dans les schistes, et celui qui apparaît au milieu des tufs trachytiques, sur la rive droite du Mittelbach, au pied de la Petite-Rosenau.

Le trachyte se retrouve encore sur plusieurs points peu éloignés du Siebengebirge, mais n'appartenant plus à ce massif : les plus voisins sont les trois sommets du Hemmerich, du Mittelberg, et du Bruder-Kunzberg, qui viennent percer la grauwacke au sud-est de la Löwenburg, derrière Honnef. On rencontre encore quelques collines trachytiques : à l'est, sur les bords du Pleissbach; à l'ouest, aux environs de Berkum et d'Oberwinter, à 7 ou 8 kilomètres du Drachenfels; et enfin, beaucoup plus loin vers le sud-ouest, dans l'Eifel, près de Kelberg et de Köttelbach. Mais je ne dirai rien de ces différents points, qui ne font pas partie du massif des Sept-Montagnes.

Age des trachytes. — Il est difficile de fixer l'époque à laquelle les trachytes ont paru au jour, toutes les formations intermédiaires entre le terrain dévonien et le terrain tertiaire faisant absolument défaut dans le Siebengebirge. On peut seulement déterminer le moment où se sont terminées les éruptions trachytiques, et dire que c'est vers le milieu de l'époque miocène. Ce sont les tufs trachytiques qui fournissent la preuve de ce que j'avance; ils occupent, comme on peut le voir sur la carte ci-jointe, une grande étendue à la base des sommets de trachyte solide, et ils se superposent en divers points, comme je l'indiquerai plus loin, aux couches inférieures, formées de grès et de conglomérats siliceux, de la formation tertiaire, désignée par les géologues allemands sous le nom de terrain de

braunkohle. Ils sont, au contraire, recouverts au nord par les étages supérieurs de cette formation. Leur âge est alors fixé avec certitude, et il est permis d'admettre que les trachytes solides sont à peu près contemporains. Ce second point est, il est vrai, loin d'être complétement éclairci : en plusieurs endroits, les tufs semblent plus récents que les trachytes; dans d'autres, au contraire, ils paraissent recouverts par eux, et j'ajouterai qu'on connaît quatre ou cinq filons de trachyte solide dans le tuf trachytique. Il est fort probable qu'il y a eu plusieurs éruptions successives de ces roches, et j'indiquerai plus loin les rapports de superposition qu'on peut observer entre les tufs et les trachytes. Mais, dans tous les cas, on ne connaît aucun exemple de trachytes ou de tufs ayant percé les couches supérieures du terrain de braunkohle, et l'on doit admettre que l'époque miocène a vu la fin, sinon le commencement des éruptions qui les ont produits.

Pour terminer ce qui concerne les rapports des trachytes avec les roches sédimentaires, j'ajouterai qu'ils ont percé les couches dévoniennes : on sait, en effet, qu'ils n'ont commencé à paraître qu'après la fin de la période secondaire; et l'on peut trouver ici des preuves directes établissant qu'ils sont postérieurs aux schistes. Je citerai d'abord les plissements des couches, indiquant que les lambeaux de schistes des Sept-Montagnes se reliaient autrefois sans interruption avec la grande masse de terrains anciens qui s'étend au sud. Ensuite vient ce fait, qu'on observe au pied méridional du Drachenfels, de deux masses de trachyte séparées l'une de l'autre, même en profondeur, par les schiste et les grauwackes. Enfin, j'ajouterai qu'on rencontre fréquemment dans le trachyte des morceaux de schiste empâtés, et à défaut d'autres preuves, celle-ci serait convaincante. Ces morceaux ont tantôt les angles arrondis ou émoussés, tantôt les arêtes parfaitement nettes et vives.

Composition des trachytes. — Bien que formant dans les Sept-Montagnes une masse presque continue, le trachyte est loin d'y présenter un aspect et une composition uniformes : on peut distinguer deux variétés principales, largement représentées l'une et l'autre. La première est à pâte généralement claire, et renferme de grands cristaux d'orthose vitreux ou sanidine, dont les dimensions atteignent souvent plusieurs centimètres : elle contient d'ordinaire très-peu d'amphibole. La seconde, qui, d'après les analyses qui en ont été faites, est un peu moins acide, présente une pâte plus compacte, le plus souvent de couleur foncée, où l'on ne découvre pas à la simple vue de feldspath cristallisé; on y voit en revanche une assez grande quantité d'amphibole hornblende, et même de fort gros cristaux de ce minéral; en outre, la densité de cette variété est un peu plus forte que celle de la précédente (2,74 au lieu de 2,68). C'est le trachyte à grands cristaux de feldspath qui forme le Drachenfels et presque tous les sommets du chaînon principal. La Wolkenburg, le Stenzelberg, la Rosenau et une grande partie du chaînon septentrional sont constitués par le trachyte syénitique; il est à remarquer que, presque partout, on passe brusquement d'une variété à l'autre, par exemple des deux côtés de la Wolkenburg.

Mais, le plus souvent, les broussailles qui couvrent le sol empêchent de saisir les points de passage; il en est ainsi sur la rive droite du Mittelbach : en partant de l'OElberg pour descendre la vallée, on rencontre d'abord le trachyte à grands cristaux; puis tout d'un coup apparaît le trachyte gris sans orthose, qui cède au bout de quelques pas la place au premier comme s'il formait un filon; mais ici encore on ne peut observer le contact; le trachyte gris reparaît ensuite plus loin, sur les flancs du Froschberg, où on l'exploite.

Outre celles que je viens de citer, l'on rencontre dans le Siebengebirge deux autres variétés, dont l'une peut à peine

être considérée comme un trachyte ; ce serait du moins le type extrême et le plus acide de la série ; je veux parler de la sanidinophyre, qui ne se trouve qu'en un seul point du massif. L'autre, qui n'est également représentée qu'à un seul endroit, dans la carrière dite *am Kühlsbrunnen*, se distingue par l'absence presque complète de cristaux jointe à la couleur claire de la pâte, et par sa texture schisteuse.

Quant aux éléments minéralogiques de ces diverses variétés, ils n'offrent rien de bien particulier ; on remarque seulement, en faisant l'analyse de la sanidine du Drachenfels, qu'elle renferme une assez forte proportion de soude ; aussi a-t-on discuté la question de savoir si c'était bien de l'orthose vitreux ; Abich avait proposé d'en faire une espèce à part, sous le nom de Kalialbit ; mais on reconnaît facilement par l'examen des cristaux et la mesure de leurs angles, qu'ils appartiennent bien au cinquième système, et doivent être, par conséquent, rapportés à l'orthose. Divers chimistes ont fait des analyses de ces cristaux, et on a obtenu, en moyenne, les résultats suivants (*) :

		Quantités d'oxygène.	
SiO^3	65,90	34,30	
Al^2O^3	18,50	8,65	8,80
Fe^2O^3	0,50	0,15	
CaO	1,00	0,28	
MgO	0,30	0,12	
KO	10,00 à 8,00	1,70 à 1,30	3,00
NaO	3,50 à 4,00	0,90 à 1,00	
HO	0,40 à 0,50		
	100,00		

On voit que les quantités d'oxygène de la silice, des sesquioxydes, et des protoxydes, sont bien entre elles dans le rapport de 12 : 3 : 1. A côté de l'orthose vitreux, on a reconnu dans les trachytes du Siebengebirge un autre feldspath, appartenant au sixième système cristallin,

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

comme le montrent les stries qu'on aperçoit sur les facettes des cristaux ; c'est de l'oligoclase vitreux ; une analyse, faite par le docteur Bothe, a donné :

		Quantités d'oxygène.	
SiO^3	63,16	32,79	
Al^2O^3	22,14	10,34	11,09
Fe^2O^3	2,51	0,75	
CaO	2,07	0,59	
MgO	0,65	0,25	3,15
KO	1,34	0,23	
NaO	8,13	2,08	
	100,00		

Les nombres 32,79 ; 11,09 et 3,15 sont entre eux comme 8,90 ; 3 et 0,90 ou comme 9 : 3 : 1 ; ce sont bien les nombres qui caractérisent l'oligoclase. Quant au quartz, on ne le rencontre qu'exceptionnellement dans les trachytes, en cristaux excessivement petits ; mais il semble, d'après les analyses, qu'il y ait un peu de silice libre disséminée dans la pâte de ces roches. La hornblende ne présente aucune particularité dans sa cristallisation. Elle renferme un peu de titane comme le montre l'analyse suivante, due à Rammelsberg (*).

		Quantités d'oxygène.
SiO^3	39,62	20,56
TiO^2	0,19	0,07
Al^2O^3	14,92	6,96
Fe^2O^3	10,28	3,08
FeO	7,67	1,70
MnO	0,24	0,05
CaO	12,65	3,61
MgO	11,32	4,53
KO	2,18	0,37
NaO	1,12	0,29
HO	0,48	
	100,67	

Son poids spécifique est de 3,266.

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

Quant au mica qu'on trouve dans les trachytes, c'est toujours du mica noir magnésien. Le fer oxydulé, qui se présente en petits grains octaédriques, renferme une assez forte proportion de manganèse, et peut-être du titane.

Je passe maintenant à l'étude détaillée des diverses variétés de trachyte, en commençant par les plus acides, et partant de la sanidinophyre.

Sanidinophyre. — Cette roche ne se rencontre en place qu'en un seul point du Siebengebirge, sur la pente sud de la Petite Rosenau, au bord d'un chemin creux descendant vers le Mittelbach, et elle ne s'y montre que sur une très-faible étendue. Elle est composée d'une pâte très-compacte rappelant les pétrosilex, d'une couleur grise assez claire, et à cassure esquilleuse; dans cette pâte sont noyés des cristaux, généralement assez petits et mal définis, d'orthose vitreux, à éclat légèrement nacré, et moins fendillés que ceux qu'on rencontre dans d'autres trachytes, dans ceux du Drachenfels, par exemple; ils ne se laissent pas détacher de la masse, dans laquelle ils sont solidement enchâssés. On remarque en outre quelques paillettes de mica noir, de très-petits cristaux de fer oxydulé magnétique, et çà et là de petites mouches d'un minéral jaune, translucide, qui ne peut être que du sphène. On ne trouve pas de quartz dans cette roche; cependant il s'y rencontre exceptionnellement de petites veines de chalcédoine blanchâtre.

La roche de la Petite Rosenau a été longtemps considérée comme une phonolithe (Klingstein); c'est sous ce nom que l'avait indiquée M. Jean Reynaud, dans sa notice sur les formations volcaniques des bords du Rhin (*). M. G. Bischof en a fait l'analyse (**), et il a trouvé :

(*) *Annales des mines*, 3e série, tome II.
(**) H. von Dechen. Ouvrage cité.

		Quantités d'oxygène.
SiO^3	79,39	41,24
Al^2O^3	11,70	5,46
Fe^2O^3	1,08	0,32
CaO	0,45	0,13
MgO	0,26	0,10
KO	3,14	0,53
NaO	3,98	1,02
HO	0,65	
	100,65	

Le poids spécifique est de 2,475. La présence de l'eau, indiquée par une perte de 0,65 p. 100 à la calcination, est décelée directement par l'odeur argileuse qu'exhale la roche. Les chiffres qui précèdent montrent que l'on a entre la silice, les sesquioxydes et les protoxydes, les rapports : 21,40 : 3 : 0,92. Le premier chiffre est trop élevé pour que la pâte de la roche puisse être considérée comme uniquement feldspathique; il faut qu'il y ait de la silice libre, et en admettant pour le feldspath de la masse la même composition que celle des cristaux, analysés à part, on trouve que la sanidinophyre de la Kleine Rosenau renferme

65,12 de sanidine,
et 34.88 de silice libre.
100,00

Il semble qu'il y ait eu dissolution du feldspath dans l'acide silicique, puisque le tout forme une masse compacte et qu'on n'y voit pas de quartz cristallisé.

Les parties de la roche altérées paraissent prendre une texture plus grenue; leur couleur est changée aussi et passe au blanc laiteux, si bien qu'elles se rapprochent beaucoup par leur aspect de la pâte des trachytes du Drachenfels; ceux-ci ne diffèrent guère, d'ailleurs, de la sanidinophyre, au point de vue de la composition, que parce qu'ils contiennent une proportion de silice beaucoup moins considérable.

Si l'on ne rencontre la sanidinophyre en place qu'à la Kleine Rosenau, on en trouve fréquemment des blocs assez gros dans les tufs trachytiques; ces blocs ont dû venir au jour avec les tufs, et être enlevés par eux aux parois des canaux par lesquels ils sont sortis, ce qui porte à penser que cette roche est plus abondante en profondeur qu'à la surface. Les échantillons provenant des blocs épars dans les tufs ne diffèrent de ceux de la Petite Rosenau que parce que la pâte est un peu plus foncée, et tire sur le verdâtre; peut-être aussi les paillettes de mica noir sont-elles plus abondantes.

Trachyte à grands cristaux de feldspath. — Le type de cette variété nous est fourni par les roches du Drachenfels. Elles sont formées d'une pâte feldspathique cristalline grain très-fin, de couleur blanche ou d'un blanc grisâtre, tout à fait grise même quelquefois, dans laquelle on aperçoit une quantité de petits cristaux de feldspath, plus ou moins brillants, généralement assez mal formés, et solidement enchâssés dans la pâte; les uns sont incolores et presque transparents : ils présentent les formes du cinquième système cristallin, et doivent être considérés comme de l'orthose vitreux; les autres, qui sont souvent tout à fait soudés aux premiers, sont d'un blanc de neige et à peu près opaques; ils sont moins nets et moins réguliers que les cristaux de sanidine, mais ils sont, comme eux, vitreux et craquelés; aussi est-il fort difficile de reconnaître les stries qui caractérisent les feldspaths du sixième système; sur quelques-uns cependant, on les voit apparaître d'une façon évidente, notamment dans les trachytes à pâte grise, comme ceux de la carrière de Steinchen. L'analyse que j'ai citée plus haut montre que ce second feldspath est de l'oligoclase vitreux. Quant à la texture, la pâte est d'ordinaire assez serrée; en quelques points elle est poreuse, et présente de petites cavités irrégulières. Au milieu de la masse apparaissent des cristaux d'orthose vitreux, qui atteignent souvent 4 ou 5 centimètres de

longueur ou de largeur; les uns se présentent sous la forme de prismes rectangulaires avec de petites troncatures sur les arêtes; c'est la réunion des faces P, g_1, $a_{\frac{1}{2}}$ et $e_{\frac{1}{2}}$ (*fig.* 2); les autres, plus nombreux, sont plats et beaucoup moins épais; les faces g_1 sont très-développées; on y distingue en outre les faces M et P, avec les troncatures a_1 et $e_{\frac{1}{2}}$ (*fig.* 3); le plus souvent, les cristaux qui affectent cette seconde forme sont maclés suivant le groupement dit de Carlsbad; on s'en aperçoit facilement à l'examen de la cassure transversale, dans laquelle on voit les deux cristaux accolés briller d'éclats différents, par suite de l'orientation différente des facettes de clivage. Nœggerath avait cru reconnaître dans les trachytes du Drachenfels que, pour les cristaux de la seconde forme, les faces g_1 de tous les cristaux étaient parallèles entre elles; il semble en effet au premier coup d'œil qu'il en soit ainsi, mais un examen plus attentif fait reconnaître que ce parallélisme n'est pas un phénomène constant et ne s'observe que sur quelques échantillons; il paraît être purement accidentel. Tous ces cristaux sont fendillés comme s'ils avaient été chauffés et mis au contact de l'eau; ils sont extrêmement fragiles. Toutes les lignes de craquelure qu'on voit à leur surface semblent presque parallèles, ou du moins dirigées à peu près dans le même sens, comme si les cristaux étaient hachés par des plans parallèles au plan diagonal h_1 du prisme primitif.

Ces grands cristaux de feldspath ont les faces nettes et lisses, mais presque ternes; leur cassure offre au contraire un éclat nacré généralement assez vif. Ils sont peu adhérents à la pâte de la roche, et se laissent d'ordinaire détacher assez facilement sans se briser; quelques-uns d'entre eux semblent avoir subi comme un faible retrait, car on observe des vides le long de certaines faces entre elles et la pâte qui les entoure; c'est là qu'on trouve quelquefois du quartz en primes hexagonaux extrêmement petits, ter-

minés à un bout ou même aux deux par une pyramide régulière; il semble alors que les vides résultent plutôt de ce qu'il y aurait eu là une décomposition de la pâte feldspathique, dont les cristaux de quartz seraient le résultat. C'est aussi dans ces vides, ainsi que dans les petites cavités que présente parfois la pâte de la roche, qu'on rencontre la *tridymite*, minéral cristallisé en lamelles hexagonales excessivement minces, que les minéralogistes allemands considèrent comme une nouvelle espèce de quartz. Mais, le plus souvent, il n'y a aucune discontinuité, et la pâte ne semble s'être solidifiée qu'après la formation des cristaux : elle s'est moulée exactement sur eux, et quand on a détaché un cristal, on en voit apparaître l'empreinte on ne peut plus nette. Peut-être pourrait-on admettre d'après cela que le feldspath se trouvait dissous dans la masse en fusion, et y a cristallisé librement, jusqu'au moment où s'est faite la solidification, qui aurait eu lieu brusquement, comme celle d'une liqueur sursaturée; c'est alors que se seraient formés les très-petits cristaux de feldspath qui font corps avec la pâte proprement dite; en même temps, l'eau contenue dans la masse se serait dégagée, comme il arrive pour les laves, et elle aurait craquelé les grands cristaux de sanidine.

Outre l'orthose et l'oligoclase, le trachyte à grands cristaux renferme de petites paillettes assez abondantes de mica noir, le plus souvent hexagonales, et de très-petits cristaux de fer oxydulé attirables à l'aimant; ces deux minéraux sont disséminés dans toute la masse, et se rencontrent même fort souvent dans l'intérieur des gros cristaux de sanidine. La hornblende se présente aussi sous forme de petits prismes à six pans noyés dans la pâte; mais elle est extrêmement rare. Enfin, l'on trouve quelquefois du sphène en petits cristaux translucides jaunes de miel, et offrant la forme en toit qu'on est habitué à considérer comme particulière au sphène brun opaque, et qui résulte

de la réunion des faces P, b_1 et a_1; c'est la variété qu'on a appelée séméline. On a, je crois, constaté aussi la présence du titane dans les petits grains de fer oxydé dont je viens de parler.

Abich et Rammelsberg ont analysé la roche du Drachenfels, après en avoir enlevé les grands cristaux de sanidine et avoir traité la masse restante par l'acide chlorhydrique; cet acide en dissout les 0.08 à 0,10, sans doute parce qu'il y a attaque partielle de l'oligoclase. L'analyse, ne portant que sur la partie insoluble, n'a, par conséquent, pas le même intérêt que si elle donnait la composition de la roche intacte; je transcris néanmoins ci-dessous les résultats obtenus (*) :

	Abich.		Rammelsberg.	
		Quantités d'oxygène.		Quantités d'oxygène.
SiO^3.	67,08	34,84	65,07	33,80
TiO^2.	0,38	0,15	»	»
Al^2O^3.	15,64	7,31	16,13	7,54
Fe^2O^3.	4,60	1,38	5,17	1,55
Mn^3O^4.	0,16	0,05	»	»
CaO.	2,25	0,64	2,74	0,78
MgO.	0,97	0,39	0,67	0,27
KQ.	4,66	0,79	4,44	0,75
NaO.	4,11	1,06	4,77	1,23
HO.	0,45		0,70	
	100,30		99,69	

Ces chiffres correspondent aux rapports :

SiO^3.	11,96	11,26
R^2O^3.	3,00	3,00
RO.	0,99	1,00

qui caractériseraient l'orthose ou l'albite.

Mais dans le traitement par l'acide chlorhydrique, il y a

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

certainement dissolution d'une partie des bases renfermées dans les cristaux d'oligoclase, tandis que la silice qui leur correspond reste dans la partie insoluble; on devrait donc, au lieu des rapports que je viens d'indiquer, trouver des chiffres intermédiaires entre ceux qui caractérisent l'orthose et ceux qui caractérisent l'oligoclase. Il est à remarquer, du reste, qu'il en est ainsi pour la proportion relative de soude et de potasse, qui est ici de $\frac{1}{1}$, ou à peu près. Mais on ne peut déterminer combien de sanidine et combien d'oligoclase il y a dans la pâte de la roche; on n'a exactement, en effet, que la teneur en silice, qui est de 65 à 67 p. 100; on ne peut non plus s'assurer si cette silice est tout entière saturée par les bases, ou si elle est partie libre, partie combinée; eût-on d'ailleurs l'analyse complète, il serait bien difficile de tenir compte du mica, de l'amphibole et du fer oxydulé, et d'arriver à établir la proportion dans laquelle entre chacun des éléments minéralogiques; en tout cas, on voit que le trachyte du Drachenfels est notablement moins acide que la sanidinophyre; il a en même temps un poids spécifique plus considérable : 2,689 au lieu de 2,475.

Le trachyte à grands cristaux de sanidine forme, comme je l'ai dit, une bonne partie des montagnes du Siebengebirge : le Drachenfels, le Geisberg, la Jungfernhardt, l'OElendberg, et presque tout le chaînon central, jusqu'au Lohrberg inclusivement, le Scheerköpfe, l'OElberg, le Hirschberg, et une partie du Wasserfall et de la Rosenau; on le trouve encore au Bockeroth et sur divers points du chaînon placé au sud de la vallée de Rhöndorf; mais son aspect varie un peu suivant les différents endroits. Au sommet du Drachenfels, il offre une pâte presque blanche dans laquelle les petits cristaux de feldspath semblent disparaître; mais avec un peu d'attention, on les distingue par leur éclat de la masse avec laquelle leur couleur les faisait confondre; à mi-hauteur, sur le versant nord, au pied du

cône qui supporte la ruine, la pâte est plus grise, et les petits cristaux feldspathiques blancs qui y sont noyés donnent à la masse un aspect moucheté particulier. Le trachyte de la carrière de Steinchen, à la base même de la montagne, présente cet aspect beaucoup plus marqué encore : ici, la pâte est d'un gris bleuâtre; les petits cristaux qu'elle renferme sont moins brillants et passent au blanc laiteux; quelques-uns d'entre eux sont altérés et devenus rosés; enfin, il est à remarquer qu'ici la forme dominante des grands cristaux de sanidine est l'espèce de prisme rectangulaire que j'ai indiquée en premier lieu. Le sphène semble plus fréquent dans les échantillons du sommet. Le pied du Grand OElberg, ainsi que la pente sud du Wasserfall, est formé d'un trachyte à grands cristaux, à pâte d'un gris jaunâtre et à éléments très-confus; les grands cristaux d'orthose y sont beaucoup plus solidement fixés, et ne semblent pas atteindre d'aussi grandes dimensions qu'au Drachenfels. Le sphène n'y est pas très-rare, et se présente parfois en cristaux très-bien formés. En face de l'OElberg, on retrouve le trachyte avec sanidine sur la rive gauche du Mittelbach : on l'exploite même sur le flanc d'une petite montagne appelée Userotts Knippchen; il se présente là sous un aspect assez éloigné déjà du vrai type, et pourrait presque être considéré comme un passage vers la variété syénitique : la pâte est grise, compacte, et renferme une assez grande quantité de petits cristaux de feldspath blancs; mais les grands cristaux de sanidine sont bien peu nombreux : leurs dimensions sont très-réduites et atteignent à peine $0^m,01$; enfin ils sont solidement enchâssés dans la masse et ne sauraient en être séparés. L'amphibole, très-très-rare au Drachenfels et à l'OElberg, ne l'est plus ici, et se présente en petites aiguilles à six pans, assez brillantes, disséminées dans toute la masse avec le mica noir. Le sphène se retrouve encore dans cette variété. A mesure qu'on revient de ce point vers le Drachenfels, le trachyte

devient de plus en plus acide; à l'OElendberg et à la Jungfernhardt, on retrouve de grands cristaux d'orthose vitreux; la hornblende disparaît presque, et plus loin on ne trouve plus que le type décrit d'abord, à pâte d'un gris bleuâtre. J'ai rencontré encore ce même type de trachyte formant un filon dirigé N. 4° à 6° E., dans le tuf trachytique sur le versant oriental du Lohrberg. La pâte est d'un gris bleuâtre et renferme de petits cristaux de feldspath vitreux, mais peu de grands cristaux. La hornblende paraît manquer absolument. Les autres filons de trachyte connus dans les tufs des Sept-Montagnes, au nombre de quatre, appartiennent aussi à la variété à grands cristaux; ils renferment plus ou moins d'amphibole.

Un mot encore sur la structure en grand de cette roche. On ne l'observe bien qu'au Drachenfels, qui est presque le seul point où le trachyte à grands cristaux ait été exploité sur une vaste échelle : il se trouve divisé par deux systèmes de plans verticaux, à peu près à angle droit l'un sur l'autre, ce qui lui donne la forme de prismes droits plus ou moins réguliers; le fissurement paraît se faire un peu plus facilement suivant une des deux directions, de telle sorte qu'au sommet la masse est divisée par plans presque parallèles, et prend l'aspect de couches relevées. A la carrière de Steinchen, à la base du Drachenfels, plusieurs de ces fissures se prolongent du haut en bas de la carrière et d'un côté à l'autre; elles sont remplies par une substance couleur de rouille, qui paraît être un silicate d'alumine, contenant en outre du fer, un peu de manganèse, de la chaux et des alcalis; Noeggerath l'a nommée ehrenbergite : il est probable qu'elle provient simplement de l'action des eaux atmosphériques sur le trachyte; elles auraient déposé dans les fissures les éléments enlevés à la masse.

Trachyte de Kühlsbrunnen. — Cette variété présente une texture presque uniforme; la pâte est serrée, un peu

cristalline, d'un gris tirant sur le verdâtre; elle a un éclat gras qui fait songer au talc; elle est formée de très-petits cristaux feldspathiques en lamelles, sur lesquels il est à peu près impossible de distinguer les stries caractéristiques du sixième système; cependant M. Gustave Rose a pu reconnaître, sur la cassure transversale de certains échantillons, des gouttières qui prouvent qu'une partie au moins du feldspath est de l'oligoclase; dans la masse on aperçoit çà et là quelques rares cristaux de sanidine, peu développés. On n'y voit ni mica ni hornblende; on distingue à la loupe de petites cavités qui, dans les parties exposées à l'air depuis un certain temps, sont tapissées d'un enduit ocreux. La structure est presque schisteuse, et les échantillons s'obtiennent le plus souvent en plaques, à la surface desquelles on aperçoit les rares cristaux de sanidine, qui semblent placés parallèlement aux plans de schistosité.

Le poids spécifique de la pâte est de 2,701, des analyses ont été faites par MM. G. Bischof et le docteur Bothe; ils ont trouvé (*) :

	Le premier.		Le second.	
		Quantités d'oxygène.		Quantités d'oxygène.
SiO^3	64,21	34,36	62,11	33,27
Al^2O^3	16,91	7,93	19,45	9,09
Fe^2O^3	6,69	2,01	5,02	1,51
Mn^3O^4	»	»	1,15	0,36
CaO	0,49	0,14	1,29	0,37
MgO	0,18	0,07	0,29	0,11
KO	4,41	0,75	3,98	0,68
NaO	5,13	1,32	6,01	1,55
HO	1,00	»	»	»
	99,02		99,30	

Les quantités d'oxygène correspondent aux rapports :

SiO^3	10,07	3 83
R^2O^3	3,00	3,00
RO	0,69	0,74

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

Mais il est probable qu'une partie au moins du fer doit être à l'état de fer oxydulé, et en ne comptant plus que l'alumine, ces rapports deviennent :

SiO^3	12,62	10,65
R^2O^3	3,00	3,00
RO	0,86	0,89

Il y a certainement un mélange d'orthose et d'oligoclase, comme le montre l'examen minéralogique et comme le prouve aussi la proportion relative de soude et de potasse indiquée par l'analyse; il est vraisemblable que l'oligoclase domine; peut-être y a-t-il un peu de silice libre, peut-être aussi une partie est-elle combinée avec la magnésie et quelques-unes des autres bases pour former un minéral analogue au talc, qui donnerait à la masse cet éclat gras particulier; en ce cas, on pourrait considérer la roche qui nous occupe comme correspondant, parmi les roches vitreuses. à la protogyne, de même que la roche du Drachenfels correspond aux granites.

Cette variété de trachyte ne se rencontre que sur un seul point du Siebengebirge, dans les carrières dites de Kühlsbrunnen, sur la rive gauche de la vallée de Rhöndorf, et elle n'apparaît là que sur une étendue très-faible.

Trachytes syénitiques. — Je range dans cette classe tous les trachytes qui ne renferment que de très-petits cristaux de feldspath, et dans lesquels l'amphibole est, parmi les éléments cristallisés, celui qui domine. Il est difficile de trouver, pour représenter cette classe, un type bien caractérisé, car les roches qui en font partie se montrent en chaque point sous un aspect différent, et les deux variétés principales, celle de la Wolkenburg et celle du Stenzelberg, bien que se rapprochant assez l'une de l'autre, ne sont pas assez semblables pour être choisies comme types. On peut dire seulement, en termes généraux, que ces roches sont formées d'une pâte à grain assez fin, quelquefois tout à fait

compacte, et de couleur très-variable, le plus souvent foncée. On rencontre le gris plus ou moins clair, le gris jaunâtre, le gris verdâtre, et même le rouge, dans quelques variétés. Dans la pâte, on aperçoit à la loupe de très-petits cristaux de feldspath fort nombreux et assez brillants; ils sont quelquefois tout à fait incolores, et on les confondrait avec la masse si on ne les voyait miroiter; d'autres fois, ils sont d'un blanc un peu jaunâtre ou laiteux, et se détachent sur le fond plus sombre.

En les examinant avec attention, on y reconnaît les stries caractéristiques des feldspaths du sixième système cristallin, bien qu'il soit assez difficile de distinguer les stries produites par une macle de celles qui résultent simplement de l'état craquelé et fissuré du felspath vitreux; en tous cas, on ne peut affirmer que les trachytes amphiboliques ne renferment que de l'oligoclase, et qu'il n'y ait pas aussi de l'orthose vitreux, soit en lamelles cristallines, soit simplement disséminé dans la pâte. Toutes ces roches renferment une grande quantité d'amphibole hornblende, disséminée dans la masse sous forme d'aiguilles noires de 3 ou 4 millimètres de longueur; les unes sont des cristaux complets, et présentent six pans formant un hexagone presque régulier; les autres sont brisées dans le sens de la longueur, et l'on voit miroiter leurs faces de clivage. Outre ces petites aiguilles, on rencontre, mais seulement dans les variétés bien caractérisées, de gros cristaux de hornblende entiers ou clivés, qui atteignent quelquefois $0^m,04$ à $0^m,05$ de longueur. Souvent les petites aiguilles d'amphibole sont altérées et remplacées en tout ou partie par une substance de couleur jaune paille peu consistante; dans les parties de la roche exposées à l'air, elles finissent même parfois par disparaître complétement, laissant leur empreinte marquée dans la pâte moins altérable. Les trachytes syénitiques présentent aussi du mica noir ou bronzé, en paillettes brillantes, arrondies ou hexagonales; mais ce

minéral y est beaucoup moins abondant que dans les trachytes à grands cristaux de sanidine, et quelquefois même il paraît manquer complétement. On rencontre en outre quelques grains ou cristaux extrêmement petits de fer oxydulé magnétique disséminé dans la masse, mais en très-faible quantité ; je n'ai vu de sphène dans aucun échantillon. Le quartz semble faire défaut ici plus complétement encore que dans les deux séries que nous avons étudiées précédemment. Quelques variétés renferment de la calcite en noyaux ou en géodes, et parfois en quantité notable; mais ce n'est jamais qu'un minéral exceptionnel.

Les trachytes syénitiques ont un poids spécifique un peu plus fort que les trachytes à grands cristaux ; la densité de celui de la Wolkenburg est de 2,739. Des analyses ont été faites par G. Bischof pour le trachyte de la Wolkenburg et par Rammelsberg pour le trachyte du Stenzelberg ; ces deux chimistes ont constaté que l'acide chlorhydrique étendu attaquait ces roches en dissolvant une partie de la silice et des sesquioxydes, et une faible portion des bases alcalines et alcalino-terreuses, soit en tout 14 à 15 p. 100 de la masse totale ; c'est sans doute l'oligoclase qui cède ainsi une partie de ses éléments. Les résultats des analyses ont été (*) :

	Trach. de la Wolkenburg.		Trach. du Stenzelberg.	
		Quantités d'oxygène.		Quantités d'oxygène.
SiO^3. . . .	62,38	32,41	59,22	30,76
Al^2O^3. . . .	16,88	7,89	13,59	6,35
Fe^2O^3. . .	7,35	2,20	5,55	1,66
FeO.	»	»	4,03	0,89
CaO.	3,49	1,00	5,13	1,46
MgO.	0,82	0,33	1,66	0,66
KO.	2,94	0,50	4,64	0,79
NaO.	4,42	1,14	5,31	1,37
HO.	0,87	»	1,25	
	99,13		100,38	

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

On voit que ces roches sont moins acides encore que celles que nous avons examinées d'abord. En comparant les quantités d'oxygène, on trouve les rapports :

SiO^3.	9,71	11,52
R^2O^3.	3,00	3,00
RO	0,89	1,94

Il semble qu'il doit y avoir un mélange d'orthose et d'oligoclase ; c'est ce que tendrait à prouver aussi la proportion dans laquelle on trouve la soude relativement à la potasse, proportion plus faible que celle qui a été donnée plus haut par l'analyse de l'oligoclase. Mais il faudrait tenir compte de la présence de l'amphibole qui doit, d'après l'analyse que nous avons citée, introduire une proportion de bases plus forte que celle qui entre dans la composition des éléments feldspathiques. On ne peut, du reste, établir exactement la composition minéralogique en partant d'une analyse faite sur la masse de la roche : il faudrait séparer, et analyser à part les divers éléments, ce qui présente des difficultés presque insurmontables.

Je prends maintenant les différents trachytes de la série, en commençant par l'étude de celui de la Wolkenburg. Dans les carrières de Vogelskaue, situées sur le versant méridional de la montagne, la roche exploitée présente une pâte excessivement serrée, d'un gris un peu bleuâtre dans les cassures fraîches, d'un gris jaunâtre dans les parties altérées à l'air ; les cristaux de feldspath qu'elle renferme sont très-petits, incolores et assez brillants. Outre les petites aiguilles de hornblende, on remarque par-ci par-là quelques très-gros cristaux de ce minéral. Enfin, le mica noir est fort peu abondant dans cette variété. La calcite n'y est pas très-rare ; elle forme dans la masse des noyaux cristallins ou des géodes ; mais elle est toujours entourée d'une couche noire plus ou moins épaisse, constituée presque essentiellement par du mica. Il semble que ce soient des

fragments d'une roche gneissique, empâtés par le trachyte qui les aurait enlevés dans la profondeur. Peut-être cette association du mica noir et de la chaux carbonatée résulterait-elle d'un départ qui se serait effectué entre les éléments mêmes du trachyte ; mais, outre qu'on ne se rend pas bien compte de ce qui se serait passé dans cette décomposition, il faut ajouter qu'on retrouve ces masses de mica noir, seules, empâtées dans d'autres trachytes, comme ceux du Drachenfels. Cette même variété de trachyte se retrouve au col qui sépare la Wolkenburg du Drachenfels, dans une petite carrière abandonnée. Ici la pâte est un peu plus claire, mais c'est la seule différence; cependant, sur quelques points, on remarque dans la roche des veines à peu près parallèles, couleur de rouille, tout à fait semblables à celles que j'ai signalées dans la carrière de Steinchen ; le mica noir est peut-être un peu plus abondant que dans les échantillons de Vogelskaue. Le sommet de la montagne présente aussi quelques petites carrières abandonnées; dans celles qui se trouvent au bord du versant sud-est, on retrouve la même roche que dans les carrières de Vogelskaue; mais, vers le point culminant, on voit apparaître une variété rouge d'un aspect tout différent : la pâte est à grains fins, rouge pâle et criblée de petits cristaux de feldspath vitreux, d'un blanc laiteux, semblant parfois un peu altérées et kaolinisés, et qui atténuent la teinte de la masse en la mouchetant de blanc. Cette roche renferme une assez forte proportion de mica noir en paillettes, et elle est très-riche en amphibole; mais on ne rencontre ici que de petites aiguilles et pas de gros cristaux, et presque toujours ces aiguilles sont profondément altérées, et comme cariées à l'intérieur : les cristaux semblent intacts sur leurs faces, mais ceux qui sont fendus dans la longueur se montrent décomposés, et remplis par une substance jaunâtre ou ocreuse. Cette particularité se présente même dans l'intérieur de la roche, dans les parties non altérées par les agents

atmosphériques ; elle est sans doute liée à la même cause que la coloration de la pâte : il semble probable qu'elles proviennent l'une et l'autre d'une altération profonde subie par toute la masse au moment de sa venue au jour; car, par la position de celle-ci relativement au trachyte gris qui forme le reste de la montagne, il ne paraît pas qu'on puisse la considérer comme une variété réellement distincte. Vers le nord-ouest, cette roche semble se modifier un peu : les cristaux de feldspath se fondent dans la pâte, qui, sauf quelques points, devient beaucoup plus pâle et passe au gris rougeâtre un peu terne. L'amphibole s'y présente, du reste, de la même façon que dans les parties tout à fait rouges. Le trachyte gris amphibolique se retrouve, auprès de la Wolkenburg, au Bolvershahn, où il a été exploité ; mais au Schallerberg, on voit reparaître la variété du Drachenfels.

Dans le chaînon septentrional, le trachyte syénitique est exploité sur une fort grande échelle, dans les immenses carrières du Stenzelberg. La pâte y est à grains assez fins, un peu plus grossiers cependant qu'à la Wolkenburg; sa couleur varie du gris au gris jaunâtre et au gris rougeâtre un peu sombre ; elle renferme de petites parties feldspathiques, qui parfois font entièrement corps avec elle et lui donnent une teinte légèrement nacrée, et qui, d'autres fois, sont isolées et se détachent sur le fond par leur couleur blanche et leur éclat ; quelquefois certains de ces petits cristaux semblent participer de la teinte rougeâtre de la pâte et devenir eux-mêmes un peu rosés. Le mica noir est disséminé dans toute la masse en petites paillettes brillantes, un peu plus nombreuses que dans les trachytes de Vogelskaue. Enfin, les roches du Stenzelberg renferment d'ordinaire une grande quantité de petites aiguilles d'amphibole et souvent de très-gros cristaux. Ceux-ci sont parfois réunis en certains points de la masse, de manière à former des nids qui dépassent souvent la grosseur du poing ;

les cristaux qui s'y trouvent sont enchevêtrés les uns dans les autres, en partie brisés, et cimentés, soit par la pâte même de la roche, soit par un mélange de feldspath transparent et de mica noir. Quelquefois les gros cristaux isolés sont criblés de cavités irrégulières, tapissées d'un enduit blanchâtre qui paraît être une variété d'opale : on trouve même des points où cette sorte de décomposition s'étend à toute la masse; cela se produit surtout dans les parties à pâte nacrée : l'amphibole semble disparaître complétement, et la masse se trouve criblée en tous sens de petites cavités plus ou moins profondes, dans lesquelles on aperçoit de petits grains concrétionnés de couleur blanche opaline, et qui rayent le verre.

Je mentionnerai un dernier caractère qui différencie la roche du Stenzelberg de celle des carrières de Vogelskaue, c'est qu'elle est beaucoup moins altérable et ne change pas de couleur dans les parties exposées à l'air. Il est à remarquer enfin qu'ici les variétés rongeâtres ne se rencontrent pas seulement sur quelques points particuliers : on les trouve disséminées dans la masse et formant des taches plus ou moins étendues au milieu de la tranche grise ou bleue de certaines parois de la carrière; elles diffèrent à peine, d'ailleurs, du type ordinaire, et ne présentent pas les mêmes singularités que les trachytes rouges du sommet de la Wolkenburg.

On retrouve les trachytes du Stenzelberg jusque sur le versant méridional de la Grande Rosenau; ce sont encore eux qui forment la croupe du Mantel, derrière l'ancienne abbaye d'Heisterbach; seulement ici la pâte est plus claire et son grain un peu plus fin et plus serré; les parties feldspathiques y sont d'un blanc un peu laiteux et se détachent mieux sur le fond.

Je rapporterai à la même classe les trachytes qu'on exploite sur les flancs du Froschberg : ils ne se distinguent de ceux que je viens d'examiner que par leur pâte plus claire, dont la couleur varie du gris blanchâtre au gris jaunâtre; les petits cristaux de feldspath qui s'y trouvent sont plus distincts et un peu plus éclatants. Enfin l'on n'y rencontre pas de gros cristaux d'amphibole hornblende, mais seulement de petites aiguilles de ce minéral. Il semble que ce soit cette roche qui constitue la petite masse trachytique isolée que l'on rencontre au bord du Mittelbach, au pied sud de la Kleine Rosenau; mais ici l'on remarque un grand nombre de blocs à texture scoriacée, ce qui est assez rare à observer dans les roches trachytiques; ils sont tout à fait bulleux, et les parois des cavités qui criblent la masse sont noires et comme vitrifiées; la pâte est bleuâtre, avec de petits cristaux de feldspath blancs et quelques aiguilles de hornblende. Enfin, dans le chaînon du sud, les trachytes syénitiques se rencontrent sur quelques points, notamment au Bockeroth et au Breiberg.

Leur structure en grand s'observe nettement en deux points : à la Wolkenburg dans les carrières de Vogelskaue, et au Stenzelberg. Toute la masse est divisée en énormes prismes verticaux, quadrangulaires, pentagonaux ou hexagonaux, qui s'élèvent depuis le fond de la carrière jusqu'au haut du front de taille, c'est-à-dire sur 30 mètres de hauteur à Vogelskaue; ces prismes ont 1 mètre à $1^{m},50$ de diamètre. Il est bien rare d'y apercevoir des fissures horizontales, comme cela se rencontre souvent pour les prismes de basalte; dans ces prismes, la roche est altérée tout le long des faces, à une profondeur plus ou moins grande suivant les cas : à Vogelskaue, la teinte jaunâtre qui marque l'altération s'étend jusqu'à $0^{m},03$ des plans de séparation des colonnes. On observe au Stenzelberg une particularité singulière : de temps en temps, les ouvriers mettent à nu certaines colonnes qui, au lieu d'être massives comme les autres, semblent formées de couches concentriques plus ou moins épaisses, comme les couches d'accroissement d'un arbre, ou comme une série de tuyaux emboîtés les uns

dans les autres. Ce fait n'est pas encore bien expliqué, et il est difficile de trouver des hypothèses plausibles. La division en prismes étant généralement le résultat d'un retrait produit lors du refroidissement, on pourrait peut-être admettre que la solidification s'est faite irrégulièrement, et a commencé par certains points; ceux-ci ont alors été les premiers à subir l'action du retrait, qui s'est fait successivement, produisant ainsi autour de ces centres une série de couches concentriques; puis, à un certain moment, il s'est fait sentir à la fois dans tout le reste de la masse, qui s'est fissurée définitivement et divisée en colonnes à peu près régulières comme formes et comme dimensions.

Trachyte dioritique. — Il me reste à mentionner une roche que son aspect particulier ne permettrait guère de réunir à la série précédente, et qui ne peut cependant être considérée que comme un trachyte. La pâte en est extrêmement serrée et compacte, de couleur noire, un peu translucide quand elle est en esquilles; elle renferme un assez grand nombre de petits cristaux de feldspath un peu vitreux, qui offrent les stries des feldspaths du sixième système, et paraissent être de l'oligoclase; mais l'élément le plus abondant est l'amphibole, qui se présente en aiguilles noires, le plus souvent clivées, et brillant d'un éclat assez vif; ces aiguilles se trouvent même parfois enchevêtrées dans de petites masses de feldspath qu'on aperçoit çà et là formant des taches blanches sur la tranche des échantillons. Le mica paraît faire complétement défaut; on rencontre disséminés dans la masse quelques rares cristaux, toujours très-petits, de fer oxydulé. J'ajouterai que cette roche est dure, fait feu au marteau, et ne présente d'altération par les agents atmosphériques que sur une épaisseur excessivement mince, 2 ou 3 millimètres tout au plus. Malgré sa dureté, elle ne paraît pas contenir de quartz; elle est d'ailleurs moins acide encore que les variétés décrites précédemment, et ne renferme que 55 p. 100 de

silice; sa densité est d'environ 2,80. La grande quantité d'amphibole qu'elle renferme m'a porté à la rapprocher des roches dioritiques, auxquelles elle semble correspondre dans l'époque récente.

Nous n'avons jamais rencontré cette roche qu'en gros blocs épars à la surface du sol, et malgré nos recherches, nous n'avons pu la trouver en place; elle se montre ainsi sur une partie des pentes de la Lövenburg, sur une croupe voisine appelée le Lokemich, et nous l'avons retrouvée dans un sentier entre le Geisberg et la Jungfernhardt, au milieu des trachytes à grands cristaux; peut-être forme-t-elle des filons dans les trachytes proprement dits, mais l'abondante végétation qui couvre le sol empêche de s'en assurer.

Filons dans les trachytes. — On n'a rencontré dans les Sept-Montagnes qu'un très-petit nombre de filons coupant les trachytes. Je citerai en premier lieu un filon de $0^m,15$ à $0^m,20$ de puissance, dirigé N. 152° E., presque vertical, et qui coupe le trachyte syénitique entre le Stenzelberg et la Grande Rosenau; il est rempli par une espèce de jaspe compacte, d'un gris jaunâtre, qui raye le verre, mais doit être rapporté plutôt à l'opale qu'au quartz en raison de la proportion d'eau qu'il renferme et qui varie de 5 à 7 p. 100. Ce minéral se retrouve dans les carrières du Stenzelberg, où il forme des veines; on peut sans doute attribuer sa formation à l'action d'eaux minérales qui auront en partie décomposé le trachyte; ce qui tend à le prouver, ce sont les veines irrégulières que je viens d'indiquer au Stenzelberg. On retrouve des filons analogues dans les tufs trachytiques.

On remarque, à peu de distance de ce filon de jaspe, un filon à peu près parallèle, plongeant vers l'est, et rempli de tuf trachytique blanc; sa puissance est de $0^m,20$ à $0^m,25$.

Je citerai ensuite quelques filons de basalte, diversement orientés, qu'on rencontre au milieu du trachyte, principalement au sud du massif; l'un des plus nets se présente

dans la carrière de Kühlsbrunnen; il est à peu près vertical, large de 1m,40 et dirigé N. 146° E.; le trachyte ne paraît pas avoir subi d'altération au contact du basalte; celui-ci se présente sous un aspect un peu particulier : il est amygdaloïde, et renferme de l'agate et de la calcite : j'en reparlerai du reste plus loin, en décrivant les basaltes.

Il me reste, enfin, à mentionner l'existence de quelques filons de trachyte dans le trachyte même : j'ai parlé plus haut d'une masse de trachyte gris amphibolique qui apparaît dans le trachyte à grands cristaux sur le flanc du Wasserfall, entre l'OElberg et le Froschberg : c'est un filon de 10 à 12 mètres de puissance, qui paraît à peu près vertical et dirigé environ N. 145° E. On observe le même fait au Schallerberg : le trachyte à grands cristaux est coupé par un filon de trachyte gris, dirigé N. 160° E. (*). A la Grande Rosenau, on trouve dans un chemin creux le trachyte syénitique faisant suite à la variété du Drachenfels, et leur contact a lieu suivant un plan vertical dirigé N. 145° E.; le trachyte à grands cristaux est altéré le long de ce contact, tandis que le trachyte gris est divisé en plaques parallèles au plan de séparation. Enfin, Zehler a observé (**), sur le versant méridional du Bockeroth, entre Honnef et la Löwenburg, un filon de trachyte à grands cristaux de sanidine coupant le trachyte syénitique du Breiberg.

Age relatif des diverses variétés de trachyte. — Les faits que je viens de citer sont les seuls sur lesquels on puisse s'appuyer pour émettre quelques suppositions sur les époques auxquelles les diverses variétés de trachyte sont venues au jour, car, sauf les points que je viens d'indiquer, on n'a nulle part observé le contact des trachytes syénitiques et des trachytes à grands cristaux. Les tufs trachytiques, qui sont coupés par quelques filons de trachyte, ne peuvent

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.
(**) H. von Dechen. Ouvrage cité.

fournir des renseignements bien sûrs, car les différents dépôts de tuf qu'on rencontre dans les Sept-Montagnes ne sont pas nécessairement contemporains. On peut seulement affirmer qu'une partie des trachytes à grands cristaux avaient déjà paru quand les trachytes amphiboliques sont arrivés, et il est probable qu'entre les trachytes de la Wolkenburg et ceux du Drachenfels, on observerait les mêmes relations qu'on observe à la Rosenau, si le contact était découvert. Cela conduirait à penser, en généralisant, que les trachytes les plus acides sont venus au jour les premiers, et qu'ils se sont succédé dans l'ordre où nous les avons décrits jusqu'à l'apparition des roches basaltiques, plus basiques. Mais le fait rapporté par Zehler montre que les choses ne se sont pas passées aussi simplement, et qu'il y a des trachytes à grands cristaux plus récents que les trachytes gris ; il y a donc eu alternance, et les diverses variétés que nous avons étudiées ont pu se succéder plusieurs fois, et dans un ordre quelconque ; aussi est-il inutile de s'arrêter plus longtemps sur ce sujet, qu'on n'a pas assez de données pour étudier complétement.

Tufs trachytiques. — Ils se rencontrent dans le Siebengebirge en masses plus ou moins étendues, situées le plus souvent au pied des montagnes de trachyte solide. On les voit apparaître au sud entre la Löwenburg, le Lohrberg et le Scheerköpfe, reposant sur les schistes dévoniens; en descendant la vallée de Rhöndorf, les trachytes les remplacent d'abord, mais les tufs reparaissent bientôt en lambeaux étroits, comme à Kühlsbrunnen; puis les uns et les autres disparaissent, et la vallée se trouve creusée dans les schistes seuls; cependant, sur la rive droite, on aperçoit encore une petite bande de tuf sur les pentes du Bolvershahn. Mais c'est dans la vallée du Mittelbach que les tufs trachytiques ont leur puissance maximum : ils remplissent tout le fond de cette vallée, depuis la Margarethen Kreuz jusqu'à

Königswinter, remontant sur les deux rives sur les flancs des chaînons qui bordent le ruisseau. Au nord, ils s'étendent fort loin, mais sont en partie recouverts par les couches tertiaires; et aux environs de Siegburg et sur les bords du Pleissbach, ils paraissent céder la place aux tufs basaltiques. Enfin, on les rencontre encore sur la rive gauche du Rhin, autour de Marienforst et de Muffendorf, entre Godesberg et Rolandseck.

Relations des tufs avec les trachytes. — Avant d'indiquer les rapports de superposition qu'on peut observer dans les Sept-Montagnes entre les tufs et les trachytes, je rappellerai qu'on a beaucoup discuté l'origine même de ces tufs trachytiques : Noeggerath n'y voyait que le résultat de la destruction des trachytes solides par les eaux, et leur avait donné le nom de *conglomérat trachytique.* Il les considérait comme formés de blocs roulés, qui se seraient peu à peu altérés et kaolinisés en quelque sorte, de façon à former un tout compacte. Mais il est bien difficile d'admettre que la masse énorme de conglomérat qu'on observe dans le Siebengebirge et tout autour de ce massif puisse provenir de la destruction des montagnes de trachyte solide. Du reste, ce conglomérat présente beaucoup plutôt l'aspect d'une sorte de lave boueuse analogue à celles qu'on observe dans les pays volcaniques, aux environs du lac de Laach, par exemple. De plus, il renferme des cristaux de feldspath vitreux, d'assez grandes dimensions, et l'on s'expliquerait difficilement comment ceux-ci auraient pu rester intacts, tandis que le bloc qui les contenait se décomposait et se brisait. Je me range donc à l'avis de Horner, qui considérait ces *tufs* trachytiques comme un produit direct d'éruptions volcaniques; ce sont de véritables trachytes diamorphiques, qui ont dû venir au jour à l'état boueux, mêlés avec une proportion d'eau notable, et qui, par suite de cet état physique, se sont répandus dans le fond des vallées formées par les plissements des couches dévoniennes. Il a

pu arriver d'ailleurs que, sur certains points, ces tufs auront été remaniés plus tard par les eaux; mais ce serait là l'exception et non la règle : il s'en présente cependant des exemples, et l'on trouve, paraît-il, au nord du Siebengebirge, près de Vinxel, une couche de conglomérat trachytique renfermant des blocs de basalte roulés et des morceaux de fer carbonaté argileux enlevés aux couches tertiaires qui recouvrent ailleurs les tufs trachytiques.

Je passe maintenant aux relations qu'on peut observer entre ces tufs et les trachytes solides. Bien que les tufs soient exploités sur plusieurs points par des carrières souterraines profondes, il est rare qu'on puisse voir leur contact avec les trachytes, et l'on ne sait généralement pas s'ils les recouvrent ou sont recouverts par eux. Cependant on connaît quelques endroits où le contact est découvert, et je vais indiquer comment il se présente. Dans une carrière ouverte au flanc méridional du Bolvershahn, près de la Wolkenburg, on trouve le trachyte gris syénitique recouvert par une couche de tuf blanchâtre de 2 mètres à 2m,50 d'épaisseur. La surface de séparation est à peu près plane et plonge vers l'ouest avec une inclinaison de 40 à 45 degrés. Il en est de même dans une autre carrière plus petite ouverte sur le versant est de la même montagne. Au pied de la Grande-Rosenau, en allant de Königswinter au Stenzelberg, on observe encore le même fait : le tuf est superposé au trachyte gris dans une ancienne carrière, et le plan de séparation plonge vers l'ouest, faisant avec l'horizon un angle de 40 degrés. J'ajouterai qu'on connaît à peu près au même endroit un filon de tuf dans le trachyte, comme je l'ai indiqué un peu plus haut. Sur tous ces points, le tuf est nécessairement plus récent que les trachytes solides qu'il perce ou qu'il recouvre; mais en d'autres endroits, il est au contraire recouvert ou percé par les trachytes, et par conséquent plus ancien qu'eux : je citerai d'abord un fait observé à l'entrée d'une des grandes carrières de Vogelskaue

à la Wolkenburg (*) : on trouve au contact du trachyte gris un lambeau de tuf, qui ne paraît pas en relation avec les tufs du Bolvershalm ; la surface de séparation est plane, dirigée N. 90° E., et plonge vers le nord sous un angle de 75 à 80° ; le trachyte, placé au nord du tuf, paraît donc reposer sur lui ; mais la forte inclinaison du plan de contact pourrait faire croire à un filon de tuf, si l'on n'observait en même temps que le trachyte est sur ce point divisé en prismes, placés normalement à la surface de séparation, ce qui montre clairement que le tuf était déjà là lors de la venue au jour du trachyte. On trouve à la carrière de Kühlsbrunnen le tuf et le trachyte placés dans une position analogue : leur surface de contact est dirigée N. 100° E., et plonge vers le sud, de telle sorte que le tuf est sous le trachyte ; mais l'inclinaison est si forte, qu'on ne peut affirmer que le trachyte soit le plus récent, n'ayant plus ici aucune particularité pour se guider ; il y a même plutôt des raisons de croire que les tufs sont ici plus récents que les trachytes : on remarque en effet, en un point où le contact est découvert, que le trachyte est strié en divers sens et profondément fissuré ; cet effet pourrait être dû à l'ouverture d'une faille, et à la venue au jour, par cette faille, de tufs boueux, dont le frottement aura produit sur les parois les stries dont je viens de parler.

Dans tous les cas, il ne peut y avoir d'incertitude pour les filons de trachyte qui percent les tufs, et l'âge relatif ne peut être ici l'objet d'un doute : des cinq filons connus, trois se rencontrent dans la petite masse de tuf située entre la Löwenburg et le Lohrberg ; l'un d'eux a été mentionné déjà : c'est celui qu'on rencontre au bord du sentier qui va de la Löwenburg à la Margarethen Kreuz ; il est dirigé N. 4 à 6° E., plonge légèrement vers l'ouest, et atteint $1^m,50$ de puissance. Le second se trouve au pied méridional du

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

Lohrberg ; sa puissance est de $1^m,30$; il est dirigé N. 15 à 20° E. et plonge vers l'est. Le troisième est placé au pied de la Löwenburg, et, comme les précédents, constitué par un trachyte bleuâtre à grands cristaux de sanidine, presque identique à celui qui forme le Lohrberg ; aussi paraît-il probable que les trois filons dont je viens de parler se relient à la masse de cette montagne ; mais il est impossible de s'en assurer, car la végétation est trop abondante et trop serrée pour qu'on puisse suivre les affleurements à quelque distance.

On voit par ces différents exemples que, tantôt les tufs paraissent postérieurs aux trachytes, et tantôt sont plus anciens qu'eux : il est vraisemblable que pour les tufs comme pour les trachytes, il y a eu plusieurs époques d'arrivée différentes : les variations qu'ils présentent dans leur composition paraissent le prouver, et d'ailleurs, l'on a observé des filons de tuf dans des tufs plus anciens : ainsi, à quelque distance d'un des filons de trachyte cités plus haut, entre le Lohrberg et le Scheerköpfe, on rencontre dans les tufs un filon de $0^m,15$ de puissance, dirigé N. 65° E., et à peu près vertical, rempli par du tuf grisâtre peu compacte. Remarquons en passant que c'est encore là une preuve de l'origine éruptive des tufs trachytiques. Il est probable que chaque éruption de trachyte solide a été précédée ou accompagnée de tufs boueux, et l'on aurait tort de vouloir établir entre ces deux roches une relation d'âge unique et générale.

Je rappelle seulement ici que les tufs sont placés dans la vallée du Mittelbach sur les couches inférieures du terrain de braunkohle, et sont recouverts au nord par les couches supérieures du même terrain. Quant au basalte, il est plus récent, en général, que les tufs trachytiques, car il les a percés et coupés sous forme de filons, comme on le verra un peu plus loin.

Composition des tufs trachytiques. — Ces tufs sont formés

d'une pâte blanche, qui paraît être simplement une sorte de kaolin et happe à la langue très-fortement. On distingue le plus souvent, noyés dans cette pâte, une quantité de petits grains de feldspath vitreux non altéré, qui donnent à la roche l'aspect oolithique; on rencontre même parfois des cristaux de sanidine très-bien formés, qui ont $0^m,01$ et plus de longueur et présentent la forme aplatie de ceux du Drachenfels. De petites paillettes de mica noir brillant, fort nombreuses, sont disséminées dans la masse. L'amphibole fait complétement défaut, mais on trouve çà et là de très-petits grains de fer oxydulé, et, plus rarement, de petits cristaux jaunâtres de sphène. On voit que, au point de vue de la composition minéralogique, les tufs ne semblent différer des trachytes véritables que par l'état du feldspath qu'ils renferment. Dans quelques bancs, l'on aperçoit dans la masse grenue dont je viens de parler et qui est de couleur grisâtre, des taches tout à fait blanches, qui ne sont autre chose que des morceaux plus ou moins gros de cette espèce de kaolin qui constitue la pâte, mais ne contenant pas de grains de feldspath vitreux. La roche prend alors quelque ressemblance avec un véritable conglomérat; et ce sont ces morceaux de kaolin que Noeggerath considérait comme des fragments de trachyte roulés et décomposés. Il semble plus juste de les regarder comme correspondant, dans les tufs, aux grands cristaux de feldspath vitreux des trachytes solides, le feldspath, au lieu d'être cristallisé, se trouvant ici sous un état en quelque sorte amorphe et diamorphique.

L'analyse des tufs trachytiques a été faite par G. Bischof sur des échantillons provenant de l'Ofenkuhlerberg, et elle a donné (*) :

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

SiO^3	63 à 66,00
Al^2O^3	21 à 18,00
Fe^2O^3	4 à 5,00
CaO	1 à 0,50
MgO	0,45
KO	3,10
NaO	3 à 2,00
HO	4 à 4,50
	100,00

On voit que les quantités de silice et d'alumine sont un peu variables : néanmoins la composition se rapproche assez de celle des trachytes du Drachenfels, sauf la richesse plus grande en alumine, expliquée par la présence du kaolin. En négligeant la présence du mica, on trouve que, d'après l'analyse précédente, on pourrait regarder la roche comme formée de

65 à 70 d'orthose vitreux,
avec 35 à 30 de kaolin,

ce qui s'accorde assez bien avec les résultats de l'examen minéralogique. Mais il est possible qu'il y ait aussi de l'oligoclase et un peu de silice libre.

Outre les éléments dosables, l'analyse fait reconnaître dans les tufs des Sept-Montagnes de petites quantités d'acide sulfurique, d'acide phosphorique, de chlore et des traces de fluor. On avait du reste remarqué déjà, sur les parois des chambres d'exploitation souterraines, la formation d'efflorescences blanches renfermant des sulfates d'alumine et de fer, de la magnésie, des alcalis et du chlore. La présence de ces quelques corps simples : chlore, fluor, phosphore et soufre, conduit à penser que les eaux qui ont délayé les tufs étaient, au moins en partie, des eaux éruptives, et vient fournir encore un argument contre la théorie de la formation des tufs trachytiques par simple destruction des trachytes solides à la surface du sol.

Les tufs ne se présentent pas constamment sous le même

aspect dans les différents points du Siebengebirge où on les rencontre: j'ai déjà signalé l'une des variétés les plus remarquables, celle qui renferme des morceaux de kaolin non mêlés de grains de sanidine; c'est celle qu'on observe le plus fréquemment, et on la voit paraître plusieurs fois dans la vallée du Mittelbach, alternant avec les tufs grenus auxquels on pourrait donner le nom de variété oolithique. Ainsi, sur la croupe de l'Ofenkuhlerberg, à l'entrée d'une des carrières souterraines ouvertes dans les tufs, j'ai observé ces deux variétés superposées l'une à l'autre à diverses reprises, comme je l'indique par le croquis (*fig.* 4); la surface de séparation des différents bancs était à peu près plane, et légèrement inclinée vers le nord-ouest, presque parallèlement à la surface du sol. Cet exemple indique bien qu'il y a eu plusieurs éruptions de tufs successives, et l'on doit en conclure que les divers lambeaux séparés qu'on rencontre dans le Siebengebirge peuvent fort bien n'être pas rigoureusement contemporains.

En d'autres points, la couleur même du tuf change : ainsi les tufs qu'on rencontre en allant de Königswinter au Quegstein sont formés d'une pâte d'un gris jaunâtre, comme s'ils étaient un peu mélangés d'argile ocreuse; peut-être ont-ils été remaniés par les eaux.

Enfin, il arrive souvent que les tufs renferment des blocs ou des morceaux plus ou moins gros de roches étrangères, principalement des débris de schistes et de grauwacke un peu altérés; on en trouve en grande abondance dans toute la masse de tufs qui s'étend entre le Lohrberg et le Scheerköpfe, dans une partie des tufs qui couvrent les pentes nord du Drachenfels, et dans ceux qu'on rencontre entre le Hirschberg et la Wolkenburg. Il est tout naturel que les tufs, étant venus au jour en perçant les roches dévoniennes, en aient enlevé des fragments nombreux sur leur passage.

Les tufs contiennent souvent aussi des morceaux de trachyte qui atteignent même quelquefois de très-grandes

dimensions : ces morceaux sont altérés sur leur pourtour extérieur, et un peu kaolinisés. Les variétés qu'on peut observer le plus fréquemment se rattachent aux trachytes à grands cristaux plus ou moins chargés d'amphibole hornblende et à la sanidinophyre; mais on n'a jamais trouvé les variétés syénitiques de la Wolkenburg ou du Stenzelberg, et cette preuve s'ajoute aux précédentes pour faire considérer les tufs comme éruptifs; car, dans l'autre hypothèse, les roches de ces deux montagnes devraient figurer dans le conglomérat aussi bien que celles du Drachenfels ou de la Kleine Rosenau. Ce n'est que sur quelques points du Siebengebirge qu'on trouve ainsi des blocs de trachyte dans les tufs : je citerai en particulier le versant nord du Drachenfels; mais dans le reste de la vallée du Mittelbach, à l'Ofenkuhlerberg par exemple, les tufs ne renferment de débris d'aucune sorte, ni schistes, ni trachytes.

En revanche, on y rencontre quelquefois, paraît-il (*), des empreintes de feuilles d'arbres dicotylédonés et des fragments de branches passés à l'état de charbon roux, comme le bois longtemps enfoui. L'état de conservation de ces empreintes montre que les tufs, quand ils ont coulé, n'étaient certainement pas à une bien haute température; ils se trouvaient sans doute délayés dans l'eau et formaient une boue plus ou moins liquide.

Filons de jaspe opale. — Je mentionne seulement en passant, et avant d'aborder l'étude des roches basaltiques, la présence dans les tufs de filons de jaspe opale gris ou jaunâtre identiques à ceux que j'ai signalés plus haut dans les trachytes : M. de Dechen en cite plusieurs qui se rencontrent aux environs de l'abbaye d'Heisterbach. Nous en avons observé un autre au pied sud de la Kleine Rosenau : il était fortement oblique sur le chemin, qui le coupait sur une assez grande longueur; aussi a-t-il été à peu près im-

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

possible de mesurer sa puissance et sa direction; le jaspe qui le remplissait était veiné de gris et de jaune.

Je ne reviendrai pas sur les filons de trachyte qui coupent les tufs, et quant à ceux de basalte, j'en parlerai un peu plus loin.

Roches basaltiques. — Je réunis dans cette classe, aux basaltes proprement dits, la roche doléritique de la Löwenburg; elle s'en rapproche par sa composition et sa basicité ainsi que par son âge, et ne pouvait être étudiée avec les trachytes.

Dolérite. — Elle ne se rencontre dans les Sept-Montagnes qu'à la Löwenburg, dont elle constitue tout le cône, et sur une petite montagne voisine appelée le Lokemich, où elle ne paraît que sur une très-faible étendue, et dans un endroit tellement couvert de broussailles, qu'on peut à peine y trouver quelques blocs de rocher sortant de la terre végétale. La base de la Löwenburg est presque complétement entourée de trachyte ou de tufs, et bien qu'on ne puisse observer le contact de ces roches avec celle qui compose la montagne, en voyant celle-ci s'élever en forme de cône régulier bien au-dessus des premières, on est convaincu qu'elle les a percées et s'est épanchée sur elles.

Composition de la dolérite. — Cette roche est formée d'une pâte grise foncée, dans laquelle on reconnaît une grande quantité de lamelles cristallines très-nettement striées, qui paraissent être du feldspath labrador : dans la masse on aperçoit un grand nombre de petites aiguilles noires, dont les unes sont du pyroxène augite, et les autres de l'amphibole hornblende, comme le prouve la mesure des angles effectuée au goniomètre. La roche renferme en outre des grains de fer oxydulé magnétique, peut-être titanifère, et un peu de péridot d'un jaune verdâtre. M. le docteur G. vom Rath croit avoir reconnu en outre la présence de la

néphéline sous forme de petits prismes accolés et enchevêtrés (*) ; je n'ai pu découvrir ce minéral : en examinant la tranche de la roche au microscope, on n'y voit que les lamelles de labrador, qui, en partie soulevées et détachées de la masse par l'effet du coup de marteau, ressemblent parfois, à cause de leurs stries, à une série de cristaux prismatiques. Enfin l'on rencontre quelquefois dans cette roche de la pyrite magnétique, et des géodes renfermant des rhomboèdres de chabasie. D'après la composition que je viens d'indiquer, la roche de la Löwenburg se rapporte complétement à la définition que MM. Dufrénoy et E. de Beaumont ont donnée de la dolérite (**) ; c'est bien un mélange grenu de cristaux de labrador et de pyroxène, renfermant du fer oxydulé et de l'amphibole; elle correspondrait, parmi les roches vitreuses, aux diabases anciens, et, avec le trachyte dioritique dont il a été précédemment question, elle compléterait la série qui part des trachytes, représentants des granites et des syénites, pour arriver aux véritables basaltes.

La dolérite de la Löwenburg a un poids spécifique de 2,90 à 2,94; elle a été analysée par MM. G. Bischof et G. vom Rath, et renferme (***) :

	D'après M. G. Bischof.		D'après M. G. vom Rath.
		Quantités d'oxygène.	
SiO^3.	55,68	28,93	55,01
Al^2O^3.	13,68	6,39	13,64
Fe^2O^3.	14,48	4,34	12,69
CaO.	7,11	2,03	8,52
MgO.	3,93	1,57	6,22
KO.	1,89	0,32	1,61
NaO.	3,23	0,83	4,31
	100,00		100,00

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.
(**) *Explication de la carte géologique de la France*, tome I.
(***) H. von Dechen. Ouvrage cité.

Il y a en outre 1,00 à 1,50 p. 100 d'eau, et des traces de chlore, d'acide sulfurique et d'acide phosphorique. Les quantités d'oxygène que je viens d'indiquer correspondent aux rapports :

SiO^3	8,09
R^2O^3	3,00
RO	1,33

Mais on n'en peut rien déduire pour la composition de l'élément feldspathique, puisque ces chiffres sont relatifs au mélange du feldspath avec l'amphibole, le pyroxène et le péridot. M. G. vom Rath, en séparant au moyen de l'aimant le fer oxydulé, a reconnu qu'il formait 1,50 p. 100 de la masse totale. Il ne semble pas qu'il y ait de quartz libre, et d'ailleurs la roche ne raye le verre qu'aux points où elle renferme des grains de fer oxydulé. J'ajouterai qu'elle est dure à briser et fait feu au marteau ; elle résiste énergiquement aux agents atmosphériques, et ne se montre pas altérée à plus de $0^m,001$ de la surface. Elle forme au-dessus du versant oriental de la Löwenburg de grands escarpements dans lesquels elle apparaît fissurée suivant une série de plans verticaux et horizontaux, qui la divisent en énormes blocs à peu près réguliers ; on observe, d'ailleurs, une structure semblable sur plusieurs sommets basaltiques des Sept-Montagnes.

Basaltes. — Les basaltes proprement dits n'apparaissent dans le Siebengebirge qu'au nord des sommets trachytiques : c'est ainsi que sur la rive droite du Mittelbach s'élèvent le Grand OElberg, le Nonnenstromberg et le Petersberg, qui sont les trois sommets basaltiques principaux. Au premier se rattache presque le Petit OElberg, qui n'en est séparé que par une bande étroite de tufs. Au pied du cône du Petersberg se retrouvent deux autres petits sommets peu importants : le Falkenberg, au nord, qui sort du milieu des couches tertiaires, et le Kutzenberg, au sud, qui forme au bord

du Mittelbach un mamelon presque insensible. En s'éloignant encore vers le nord, on rencontre le basalte à la Dollendorfer Hardt, au Grand et au Petit Weilberg, et au Limberg, au-dessus du village de Wiese. En mentionnant encore le mince lambeau de basalte qu'on trouve au milieu des trachytes, entre le Scheerköpfe et Ittenbach, j'aurai passé en revue tous les points appartenant à cette roche dans le massif du Siebengebirge proprement dit. Mais tout autour, le basalte forme encore nombre de montagnes ou de collines remarquables, sinon par leur hauteur, du moins par l'exploitation dont elles sont l'objet ; je citerai en particulier la Casseler Ley et le Langenberg, près d'Oberdollendorf ; le Minderberg, l'Erpeler Ley, le Dattenberg, etc., au sud du groupe, aux environs de Linz ; et enfin le Godesberg, Rolandseck, et l'Unkeler Ley, sur la rive gauche du Rhin. Outre les masses importantes que je viens de nommer, le basalte forme dans les Sept-Montagnes et aux environs plusieurs filons plus ou moins puissants sur lesquels j'aurai à revenir.

Enfin il faut rattacher aux basaltes les tufs qui les ont précédés ou accompagnés, et qu'on rencontre au nord-est, dans les environs de Siegburg, hors du groupe du Siebengebirge.

Relations des basaltes avec les trachytes et les tufs trachytiques.— On peut, en jetant les yeux sur la carte, voir que les montagnes basaltiques ont le plus souvent leur base entourée de trachytes ou de tufs trachytiques : je ferai à ce sujet la même remarque que pour la dolérite, et je dirai qu'il est évident d'après cela que le basalte a percé les formations trachytiques ; mais il ne manque pas de preuves péremptoires, et ce sont les filons de basalte, dont j'ai déjà dit quelques mots, qui nous les fournissent. Je rappellerai qu'on en connaît quelques-uns dans les trachytes solides, en particulier autour du Scheerköpfe et à Kühlsbrunnen ; mais on en a relevé un bien plus grand nombre dans les tufs

trachytiques, et la liste à peu près complète en est donnée par M. de Dechen (*); je n'en citerai ici que quelques-uns: le chemin qui conduit de la vallée du Mittelbach aux carrières de tuf de l'Ofenkuhlerberg est coupé par un filon de basalte de 2 mètres de puissance, qui est dirigé N. 146° E., et est à peu près vertical. Entre le Hirschberg et la Wolkenburg, on en rencontre deux, dirigés l'un et l'autre N. 142° E. et plongeant un peu vers l'est; l'un a environ 1m,50 de puissance, et l'autre près de 6 mètres; le basalte de tous deux est amygdaloïde. Il en est de même des deux filons de Kühlsbrunnen; j'ai déjà cité l'un d'eux qui coupe le trachyte; l'autre coupe à la fois le trachyte et le tuf, et le premier doit être aussi dans le même cas, mais on ne peut s'en assurer. Enfin, au pied sud du Wasserfall, on rencontre dans les tufs un large filon de basalte un peu amygdaloïde, dirigé N. 143° E. et plongeant à l'est sous un angle de 85°. On en rencontre encore plusieurs autres, qui sont orientés de même; mais je reviendrai plus loin sur cette question des directions, et je me contente d'ajouter qu'on connaît dans les tufs trachytiques une trentaine de filons de basalte. Cela suffit pour montrer que la majeure partie au moins des basaltes du groupe que nous étudions sont plus récents que les tufs trachytiques; on connaît cependant un exemple de basalte un peu antérieur aux tufs, dans une des carrières de la Casseler Ley, près d'Oberdollendorf (**). Le tuf trachytique forme là une couche fortement inclinée vers l'est et plongeant vers l'intérieur de la montagne : cette couche est coupée par le chemin d'accès de la carrière, et l'on trouve au-dessous, à une distance de 1 mètre à 1m,50, une nappe de basalte recouverte de tuf basaltique, et séparée par une bande d'argile du tuf trachytique; mais par-dessus celui-ci s'étend une nouvelle

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.
(**) H. von Dechen. Ouvrage cité.

nappe de basalte parallèle à la première et qui présente cette particularité de se relier à un filon basaltique de 0m,75 à 1 mètre de puissance, dirigé H. 9, c'est-à-dire N. 115° E., et qui coupe la couche de tuf trachytique. La nappe de basalte inférieure a été recoupée au nord dans d'autres travaux, et trouvée encore sous le tuf trachytique; d'autre part, à l'est, sur les flancs du Jungfernberg, on a rencontré la couche de tuf recouverte par la nappe de basalte supérieure, qui est ici divisée en plaques parallèles à la surface de contact.

Je ne dirai que quelques mots des rapports des tufs basaltiques avec les tufs trachytiques; ils semblent leur succéder, et dans diverses exploitations, au nord du Siebengebirge, on les trouve intercalés dans le terrain de braunkohle, précisément entre les mêmes couches qui, au Quegstein et aux environs, comprennent entre elles les tufs trachytiques. On avait voulu tirer de ce fait une démonstration de l'origine commune de ces tufs par une destruction opérée par les eaux à la surface des masses de basaltes et de trachytes solides; on expliquait ainsi leur contemporanéité. J'ai indiqué plus haut les raisons pour lesquelles les tufs trachytiques paraissent plutôt le produit direct d'éruptions; il doit en être de même des tufs basaltiques, qu'on a rencontrés en filons puissants, notamment dans une mine métallique anciennement exploitée aux environs de Honnef; et la position qu'occupent ces deux tufs, dans un même étage du terrain de braunkohle, prouve seulement qu'à une certaine époque l'eau à dû jouer un rôle important à la fois dans les éruptions trachytiques et dans les éruptions basaltiques de cette contrée.

Des faits qui précèdent, on peut conclure que le basalte avait déjà paru dans les Sept-Montagnes un peu avant la venue au jour de la grande masse des tufs trachytiques; mais il a continué à se montrer pendant une assez longue période de temps, il a percé à la fois les tufs et les trachy-

tes, et s'est épanché au-dessus d'eux, formant tantôt des nappes, tantôt des éminences coniques à peu près régulières.

Quant à la position qu'il occupe relativement aux couches tertiaires, je l'examinerai un peu plus loin en parlant du terrain de braunkohle.

Composition des basaltes. — Il n'y a pas lieu de distinguer dans les basaltes des variétés différentes comme dans les trachytes : les seules variations qu'on puisse saisir consistent dans la teinte plus ou moins foncée de la pâte, dans la richesse plus ou moins grande en péridot, et autres caractères sans importance. La pâte des basaltes est compacte, un peu cristalline, et paraît composée d'un mélange de labrador et de pyroxène ; sa couleur varie du gris foncé au noir ; elle pâlit beaucoup en s'altérant à l'air, et arrive quelquefois au gris presque blanchâtre ; mais il est bien rare que l'altération soit assez profonde pour amener ce résultat. On n'a presque pas fait d'analyses des basaltes du Siebengebirge : M. de Dechen n'en indique qu'une seule, due à Bergemann, et qui a conduit à la composition suivante :

Labrador	28,00
Augite	16,50
Fer oxydulé	7,50
Carbonates de chaux, de fer, de magnésie	23,00
Minéral zéolithique	25,00
Total	100,00

Ces chiffres se rapportent au basalte exploité à Obercassel, et l'on a constaté que sa teneur en carbonates était tout à fait exceptionnelle ; dans la plupart des autres basaltes des Sept-Montagnes, elle est à peine moitié de celle que je viens d'indiquer. Il y a lieu de s'étonner aussi que le péridot ne soit pas mentionné dans l'analyse de Bergemann, car il est généralement assez abondant : on le rencontre presque partout en grains verdâtres cristallins plus

ou moins gros : il est souvent un peu altéré et sa couleur passe au jaune légèrement rosé ; on pourrait alors le confondre avec le zircon, qu'on rencontre aussi dans ces roches, mais beaucoup plus rarement. Le fer oxydulé est, comme l'indique l'analyse, un des éléments essentiels des basaltes : il s'y trouve en grains rarement cristallisés, brillant d'un éclat métallique particulier qui décèle la présence du titane ; on a constaté en effet que ce métal y entre dans une proportion assez forte (10 à 12 p. 100). Outre l'augite, qui se présente en aiguilles noires assez courtes, à section octogonale, on rencontre quelquefois des cristaux d'amphibole hornblende. Enfin, dans quelques basaltes, et notamment à la carrière de l'Unkeler Ley, on a reconnu de petits cristaux de saphir d'un bleu pâle.

Les basaltes renferment quelquefois des fragments empâtés, enlevés aux roches qu'ils ont traversées ; le plus fréquemment, ce sont des morceaux de grauwacke quartzeuse ou de schiste ; l'un des filons qu'on rencontre entre le Hirschberg et la Wolkenburg en contient une assez grande quantité. Plus rarement on y trouve du quartz, provenant soit des veines quartzeuses des couches dévoniennes, soit de filons, et quelquefois même adhérents à ces fragments de quartz, des morceaux de minerai, galène ou pyrite de cuivre.

Enfin, dans quelques basaltes, on rencontre des géodes qui renferment des minéraux cristallisés : les zéolithes y sont assez rares, et c'est la calcite qui domine : elle se présente le plus souvent en rhomboèdres à faces courbes, un peu nacrées, qui doivent contenir une assez forte proportion de magnésie. Ces géodes sont peu communes dans les basaltes compactes, mais plus fréquentes dans les variétés amygdaloïdes ; celles-ci ne se montrent guère dans le Siebengebirge que dans quelques filons : ceux du Hirschberg et du Wasserfall sont dans ce cas, mais ceux de Kühlsbrunnen sont beaucoup plus caractérisés ; le basalte de ces filons

est formé d'une pâte d'un gris brun, où l'on ne découvre ni cristaux d'augite ni péridot; mais la masse est criblée de petits grains ronds formés de couches concentriques et qui sont, pour la plupart, de l'opale ou de l'agate grossière; quelques-uns, peu nombreux, sont composés de chaux carbonatée; la roche présente en outre de nombreuses géodes, tapissées d'abord d'une couche mamelonnée de fer carbonaté d'un brun noirâtre et confusément cristallisé, sur laquelle se sont développés des cristaux de calcite; quelquefois le dépôt de fer carbonaté a recommencé sur ces premiers cristaux de calcite, mais il a été de nouveau recouvert par d'autres, et c'est toujours la chaux carbonatée qui forme le centre des géodes. Le basalte du filon de Kühlsbrunnen est extrêmement altérable à l'air, et l'on ne peut trouver la roche compacte qu'en enlevant d'abord au marteau une croûte extérieure fort épaisse; la partie altérée est devenue complétement terreuse; la pâte en est grise, presque blanche, et ocreuse sur quelques points; elle exhale une forte odeur d'argile; les noyaux d'opale ou de calcite ont en partie disparu, d'autres s'écaillent par couches concentriques; enfin les cavités devenues libres par le départ de ces noyaux sont tapissées d'un dépôt opalin d'un blanc bleuâtre. De même que dans les autres roches amygdaloïdes, ce sont des eaux minérales filtrant à travers la roche qui y ont déposé les substances que j'ai mentionnées, et la structure concrétionnée le témoigne; ces eaux étaient probablement froides, car les eaux chaudes laissent déposer la chaux carbonatée avant le fer carbonaté, et ici c'est ce second minéral qui est recouvert par le premier. De plus les eaux chaudes, comme l'ont montré les expériences de M. Gustave Rose, laissent déposer la chaux carbonatée sous forme d'arragonite, et ici l'on n'observe que de la calcite.

Quant à l'altération de la roche, elle s'explique plus difficilement; elle ne peut être attribuée qu'aux agents atmo-

sphériques, puisqu'elle ne se produit que dans les parties du filon exposées à l'air. Il semble qu'il y ait dissolution par les eaux d'une partie des éléments du basalte ainsi que des noyaux amygdalaires qu'il renferme : l'enduit qui tapisse les cavités serait ensuite produit par le dépôt d'une portion des substances dissoutes; en tout cas, les taches ocreuses proviennent évidemment de la décomposition du fer carbonaté des géodes.

Il me reste à dire quelques mots de la structure en grand des basaltes, qui se présente dans les Sept-Montagnes sous deux ou trois aspects différents. J'ai mentionné un peu plus haut la division de certaines nappes basaltiques en plaques parallèles à la surface sur laquelle elles reposent; cela ne se présente d'ordinaire que pour des nappes assez peu épaisses. La division en plaques se retrouve cependant dans une grande masse de basalte, exploitée près d'Obercassel dans la carrière du Rauchloch; mais ici les surfaces suivant lesquelles la roche se fissure ne sont plus planes : elles forment une série d'énormes ellipsoïdes concentriques, comme si le retrait s'était fait autour d'un seul centre d'attraction, et successivement. Le basalte ne se présente guère en prismes réguliers dans le Siebengebirge proprement dit, sauf dans les carrières du Grand-Weilberg; le plus souvent, il est seulement grossièrement divisé par deux ou trois séries de plans horizontaux ou verticaux, et il affecte la forme de blocs irréguliers entassés les uns sur les autres; c'est ce que l'on peut observer dans les escarpements du Grand-OElberg. Mais au sud, à Rolandseck, à Erpel, à Unkel, et surtout aux environs de Linz, les carrières de basalte mettent à nu des colonnades magnifiques : c'est au Minderberg qu'on observe les plus belles : le sommet de la montagne est entièrement divisé en prismes, pentagonaux ou hexagonaux pour la plupart, et qui semblent rayonner autour de différents centres, de façon à être tantôt verticaux, tantôt inclinés ou tout à fait couchés; à la partie in-

férieure, mise à nu par les carrières les plus basses, on trouve sous les colonnes une masse de basalte un peu terreux, peu solide et qui n'a pas la structure régulière de la partie placée au-dessus d'elle : elle repose sans doute directement sur les couches dévoniennes et se sera solidifiée trop vite pour pouvoir prendre par le retrait la forme qu'affecte la masse supérieure refroidie moins brusquement. Enfin, cette disposition se retrouve dans un certain nombre de filons ; je ne citerai que celui de l'Ofenkuhlerberg : le basalte y apparaît divisé en prismes grossiers placés normalement aux parois, c'est-à-dire presque horizontaux ; sur les bords seulement, il est décomposé en minces plaquettes, qui sont parallèles aux épontes.

Couches tertiaires. — Les couches tertiaires, qui ne se rencontrent dans les Sept-Montagnes qu'en lambeaux peu importants, s'étendent fort loin vers le nord du côté de Cologne, et jusqu'aux environs d'Aix-la-Chapelle ; on les voit apparaître encore sur quelques points au sud, et principalement autour de Coblentz ; mais presque partout elles sont recouvertes par des dépôts plus récents appartenant à l'époque quaternaire ; on ne les connaît guère que par les puits de mines qu'on a foncés pour l'exploitation du lignite qu'elles renferment et qui leur a fait donner le nom de terrain de braunkohle (*Braunkohlengebirge*). Leur étude offre de grandes difficultés, et je n'entrerai pas dans de longs détails à leur sujet ; je veux seulement indiquer les relations qu'elles présentent avec les tufs et les basaltes, et pour cela je dois commencer par dire quelques mots de leur composition.

Composition des couches tertiaires. — Ces couches sont généralement presque horizontales, leur inclinaison ne dépasse jamais 5 ou 6 degrés, et l'on constate, par la direction de leur plongement, qu'elles forment au nord du Siebengebirge, un bassin presque fermé. On les distingue

généralement en deux étages, séparés l'un de l'autre par les couches de tuf trachytique : l'étage inférieur se montre seul dans le massif même des Sept-Montagnes ; on le voit apparaître en particulier sur un point de la vallée du Mittelbach appelé le Quegstein. Les couches qu'on observe là sont constituées par un grès gris, presque blanc, à grains extrêmement fins et très-dur, qui est coupé par des bancs plus ou moins épais d'un véritable conglomérat formé de petits cailloux quartzeux réunis par un ciment siliceux semblable à celui du grès et très-compacte. On remarque en outre dans le grès de nombreuses veines irrégulières d'une espèce d'opale résinite jaune ou brune, dans laquelle on peut encore reconnaître par places des traces d'organisation : elle semble résulter, au moins en partie, de la silicification de végétaux ligneux ; les morceaux de bois fossile sont même assez abondants à la partie supérieure de la couche de grès, au contact de celle-ci avec le tuf trachytique qui la recouvre ; le bois qu'on trouve là, bien qu'entièrement transformé, semble cependant peu altéré ; ses fibres sont restées très-visibles, et il se laisse fendre et déchirer comme le ferait du bois à demi pourri. Les mêmes formations se retrouvent en petits lambeaux peu importants au pied de la Rosenau, et sur le versant nord-ouest du Drachenfels.

Les couches tertiaires qui s'étendent sur la pente septentrionale du Petersberg semblent appartenir également au même niveau : on rencontre d'abord sur la rive gauche de l'Altebach une couche d'argile qui renferme des veines de fer carbonaté, et repose directement sur les schistes dévoniens ; par-dessus on trouve des grès qui, sur quelques points, ressemblent beaucoup à celui du Quegstein ; sur d'autres, ils deviennent sableux, et passent à un conglomérat composé de cailloux de quartz gris ou laiteux analogues à ceux qui forment le conglomérat du Quegstein, mais cimentés beaucoup moins solidement. Ces couches

renferment encore des branches d'arbres, mais moins bien conservées que celles dont j'ai parlé plus haut. Il est impossible de reconnaître si ces formations sableuses sont recouvertes par les tufs trachytiques, mais cela paraît très-probable, et l'on a l'habitude de les considérer comme appartenant à l'étage inférieur du terrain de braunkohle.

Les deux étages de ce terrain sont très-développés au nord du Siebengebirge et aux environs de Siegburg; ils ont été percés par plusieurs puits de mine, et explorés jusqu'à une profondeur de 90 mètres, au moins par des sondages; ils se composent d'une série de couches alternantes de lignite et d'argile bleue ou grise, avec quelques bancs de grès ou de sable gris (*); l'une de ces couches de lignite, placée dans les mines de la Hardt à 45 mètres de profondeur, est assez puissante pour être exploitée avec profit : son épaisseur varie entre $2^m,50$ et $3^m,50$; elle est recouverte partout d'une couche, de $0^m,75$ à 1 mètre de puissance, d'argile alunifère qu'on exploite également. Les autres bancs de lignite sont généralement trop minces pour être exploités avec profit, car leur épaisseur maximum est de $0^m,50$ à $0^m,60$. L'un d'eux cependant, placé au-dessus du premier à une distance de 20 ou 30 mètres, et séparé de lui par une série de bancs de lignite et d'argile, atteint $1^m,30$ à 2 mètres d'épaisseur, et l'on en profite sur quelques points. Au-dessous du gîte habituellement exploité, on ne trouve plus que des couches trop minces pour qu'elles puissent devenir le siége de travaux utiles. On a poussé des sondages jusqu'à 40 mètres de profondeur en contre-bas des galeries actuelles, et l'on n'a rencontré que des bancs de lignite dont les plus épais avaient à peine $0^m,50$ de puissance. Sur la rive droite du Pleissbach, une partie des lignites exploités sont très-bitumineux : dans quelques bancs le charbon est feuilleté et se divise en plaquettes minces,

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

sur lesquelles on trouve des empreintes nombreuses de feuilles, d'insectes et de poissons. L'une de ces couches renferme de la pyrite, comme les lignites éocènes du bassin de Paris. On rencontre ici, outre les argiles, quelques bancs peu épais d'une espèce de tripoli, formé de carapaces d'infusoires. Enfin, sur quelques points, on exploite du fer carbonaté, disséminé sous forme de rognons dans des couches d'argile, tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la principale couche de lignite.

Relations des couches tertiaires avec les tufs trachytiques et les basaltes. — Il est assez difficile de savoir exactement la place qu'occupent, par rapport aux couches de lignite, les formations siliceuses du Quegstein; elles semblent cependant correspondre au banc de grès et sable gris, épais de 5 à 6 mètres, que l'on rencontre dans les mines de la Hardt, à 19 ou 20 mètres au-dessous de la principale couche exploitée. C'est du moins ce qui résulterait de la position où se trouvent les tufs trachytiques par rapport à ces diverses couches. J'ai déjà dit qu'au Quegstein ces tufs recouvrent les grès : la surface de séparation est légèrement ondulée, mais elle s'écarte peu d'un plan horizontal moyen. Il semble que les tufs, avant d'arriver là, aient coulé sur le sol et ramassé ce qu'il y avait à la surface, car, dans leur partie inférieure, ils présentent une couleur jaunâtre, comme s'ils étaient salis par des matières étrangères, et renferment de petits cailloux quartzeux plus ou moins roulés. Le Quegstein est le seul point où l'on puisse observer à découvert le contact des couches tertiaires et des tufs trachytiques; mais on a retrouvé ces derniers dans plusieurs mines de la vallée du Pleissbach, peu éloignées du massif des Sept-Montagnes.

On les rencontre toujours à une faible profondeur sous la couche principale de lignite, couche bien caractérisée par l'argile alunifère qui l'accompagne; ils en sont séparés d'ordinaire par une couche d'argile renfermant des rognons

de fer carbonaté; quelquefois le lignite repose directement sur eux. Vers le nord, ces tufs disparaissent complétement et on ne les a pas rencontrés dans les mines de la Hardt; mais la position qu'ils occupent ailleurs sous les couches d'argile alunifère et de lignite conduit à admettre que les sables gris et les grès qu'on trouve à 20 mètres au-dessous de ces couches sont bien l'équivalent des grès que les tufs recouvrent au Quegstein.

Quant au basalte, on le trouve sur plusieurs points intercalé, en nappes étendues, au milieu des couches du terrain de braunkohle; on rencontre d'abord dans quelques mines les tufs basaltiques succédant aux tufs trachytiques et placés comme eux sous la grande couche de lignite dont ils forment le mur en plusieurs endroits; dans d'autres, ils en sont séparés par une couche de basalte solide. On a observé également des nappes de basalte reposant sur les tufs trachytiques, et recouvertes par les argiles qui avoisinent le lignite; je citerai la mine de Krautgarten, sur la rive droite du Pleissbach, où l'on rencontre une couche de tuf trachytique coupée par un puissant filon de basalte qui s'épanouit par-dessus, et forme nne nappe de 4 mètres d'épaisseur, intercalée entre le tuf et les argiles à rognons de fer carbonaté (*). Enfin, l'on connaît des basaltes postérieurs à la formation de la principale couche de lignite : un puits de mine, foncé entre Uttweiler et Freckwinkel, sur la rive gauche du Pleissbach, a fourni la coupe suivante :

	mètres.
Couche de lœss.	3,00
Nappe de basalte.	10,50
Argile.	0,50
Gîte de lignite.	4,50
Tuf trachytique.	
Sable gris et argile.	

Cette nappe de basalte a été recoupée par un autre puits

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

de la même concession, sur un point où elle est beaucoup moins épaisse, et l'on a trouvé la série :

	mètres.
Lœss.	1,30
Galets.	2 à 3
Argiles et sables alternant.	7 à 9
Basalte.	3 à 4
Argile.	1,00
Argile alunifère.	0,65
Lignite.	3 à 4

On voit donc que c'est pendant le dépôt du terrain de braunkohle que les tufs trachytiques et basaltiques des Sept-Montagnes ont paru au jour : ils ont coulé à la surface du sol et se sont répandus à une assez grande distance sur les couches nouvelles qui venaient de se former. L'époque de leur arrivée est fixée exactement par le puissant dépôt de lignite accompagné d'argile alunifère qui les a recouverts presque immédiatement sur les points où ils n'étaient pas émergés. Les éruptions basaltiques avaient commencé un peu avant l'apparition des tufs, comme nous l'a montré plus haut le fait observé aux carrières de la Casseler Ley; mais elles ont continué longtemps encore, et se sont poursuivies jusque pendant le dépôt des dernières couches tertiaires, comme le prouve l'exemple d'Uttweiler, et peut-être même au delà; on ne peut en effet affirmer d'une façon absolue qu'elles aient cessé complétement avant la fin de la période du terrain de braunkohle, et il n'est pas impossible qu'il y ait des basaltes plus récents que les couches supérieures de ce terrain.

Fossiles. — Les restes d'animaux fossiles sont assez rares dans les divers étages du terrain de braunkohle; la plupart de ceux qu'on connaît proviennent des couches de charbon feuilleté (Blätterkohle), des mines de Rott et de Stösschen, sur les rives du Pleissbach; mais les espèces qu'on a rencontrées là ne fournissent pas des renseignements suffisants pour qu'on puisse établir avec certitude la correspondance

entre les couches tertiaires des bords du Rhin et celles des autres pays. Les vertébrés sont en petit nombre ; je citerai le *Pteropus rottensis* Trosch, *Rhinoceros incisus* Cuv., *Sus brevirostris* Trosch, *Moschus Meyeri* Goldf. et *Cervus rottensis* Trosch (*). Les amphibies sont plus fréquents ; on a reconnu quelques tortues et plusieurs espèces de *Rana;* mais ce sont les poissons qui sont le plus abondants : on trouve assez souvent le *Leuciscus papyraceus* Agass., et, avec lui, plusieurs espèces nouvelles appartenant au même genre ; l'*Esox papyraceus* a été rencontré également. On a observé aussi une assez grande quantité d'insectes ; quant aux coquilles, elles sont malheureusement fort rares : on a reconnu le *Litorinella acuta* Braun, et le *Planorbis papyraceus* Trosch. Ces quelques fossiles prouvent que les couches du terrain de braunkohle se sont déposées dans des eaux douces ; cependant sur quelques points, on a trouvé des bancs de tripoli, formés de carapaces d'infusoires, et parmi les espèces que l'on a pu déterminer, quelques-unes sont propres aux eaux saumâtres ; il est vraisemblable que le bassin où se sont formés ces dépôts était une espèce de grande lagune, communiquant par quelques points seulement avec la mer.

Si les animaux fossiles sont rares, on trouve en revanche une grande quantité de végétaux : les couches de lignite sont formées de leurs débris, et l'on a rencontré dans les charbons feuilletés de la vallée du Pleissbach, et même dans les grès du Quegstein, une foule d'empreintes assez nettes pour qu'on ait pu déterminer les genres et les espèces. Les dicotylédones étaient largement représentées, et MM. Gœppert et O. Weber (**) ont reconnu plusieurs espèces de chênes, de charmes, d'ormes, d'érables, de lauriers, de noyers, de houx, etc., très-voisines des espèces actuelles ; on a ren-

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.
(**) H. von Dechen. Ouvrage cité

contré par places plusieurs troncs entiers de conifères, encore debout, sur lesquels on a pu compter les couches annuelles, dont le nombre s'élevait parfois à 1.000 ou 1.500. Cette flore si complétement étudiée permet de fixer à peu près la place que doivent occuper dans l'époque tertiaire les grès et les lignites du Siebengebirge; il reste cependant encore une certaine latitude : quelques espèces végétales, parmi celles qu'on a trouvées dans les Sept-Montagnes, se rencontrent aussi bien dans les couches éocènes et dans les couches pliocènes, et n'apportent par conséquent aucune espèce de renseignements ; les autres, sans nous laisser dans un vague aussi complet, ont appartenu de préférence, les unes à l'époque des grès de Fontainebleau, d'autres à l'époque du miocène supérieur ; cependant c'est dans les couches miocènes inférieures qu'on retrouve le plus grand nombre des espèces végétales du Siebengebirge. Mais peut être vaut-il mieux, pour arriver à un résultat exact, s'attacher plutôt au caractère général de la végétation pour comparer la flore qui nous occupe avec celles des autres localités. On trouve alors que c'est avec les lignites de Bilin (Bohême) et avec ceux d'OEningen (Suisse) qu'il y a la plus grande analogie ; on a, de plus, rencontré dans ces deux localités les poissons que j'ai indiqués plus haut : *Esox papyraceus* et *Leuciscus papyraceus.* Or Bilin appartient au miocène moyen, et les lignites d'OEningen se lient intimement aux molasses marines de la Suisse, qui sont habituellement rangées dans l'étage miocène supérieur. On peut conclure seulement avec certitude que c'est à l'époque miocène que doit être rapporté le terrain de braunkohle, avec les bancs de tufs trachytiques et les basaltes qu'il renferme ; mais il n'est guère possible de dire quelque chose de plus, et de spécifier exactement le niveau, bien que ce soit le miocène moyen qui paraisse le plus vraisemblable.

Dépôts quaternaires. — Je ne ferai que mentionner la

présence, par-dessus les couches miocènes, de dépôts de l'époque quaternaire, formés d'abord d'une couche de galets et de cailloux roulés, qui occupe une grande étendue de terrain, puis d'une épaisseur assez considérable de limons jaunâtres dont la partie inférieure est connue sous le nom de lœss, et la partie supérieure sous celui de lehm; on a trouvé dans ces limons les ossements de grands animaux : *Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Bos primigenius* Cuv., qui les font considérer comme diluviens.

Directions des filons du Siebengebirge. — Quand on relève à la boussole les directions des divers filons ou failles qu'on peut rencontrer dans les Sept-Montagnes, on est bientôt frappé de voir que le plus souvent on retrouve la même orientation N. 140° à 145° E. ; on est alors conduit à se demander à quel système de montagnes elle se rattache, et à rechercher si c'est la seule direction nettement accusée. C'est ainsi que j'ai été amené à construire la rose des filons du Siebengebirge, représentée Pl. II (*fig.* 5). J'ai complété les renseignements que j'avais recueillis moi-même sur le terrain par ceux que donne M. de Dechen, dans l'ouvrage que j'ai déjà cité plusieurs fois.

Les filons de trachyte ou de tuf trachytique, de même que les filons métallifères, sont trop peu nombreux pour qu'on puisse les voir se grouper autour de certaines orientations moyennes ; on ne peut, non plus, fonder de conclusions sur la direction des deux ou trois chaînons trachytiques principaux, qui, d'ailleurs, semblent suivre simplement les crêtes des anciens plissements des couches dévoniennes, et se rapporter au système Westmoreland-Hundsrück, orienté à Bonn N. 59° E. Les filons de basalte seuls se réunissent en un faisceau bien accentué, qui en renferme une douzaine et se dirige N. 143° à 144° E. ; on pourrait y comprendre aussi deux ou trois filons de la même roche, qui ne s'écartent que de 5 ou 6 degrés d'un côté ou de l'autre ; les failles peu étendues que nous avons remarquées dans la vallée de Rhöndorf ont également la même orientation, ainsi que les fissures remplies d'ehrenbergite de la carrière de Steinchen ; ce faisceau ne diffère que de 1 ou 2 degrés de la direction qu'affecte à Bonn le système du mont Serrat. Le soulèvement de cette montagne se placerait, d'après M. Vézian, vers le milieu du dépôt des couches pliocènes du midi de l'Europe, et pourrait peut-être sembler un peu trop récent pour qu'on lui attribue l'ouverture des filons de basalte des Sept-Montagnes ; mais, outre que les couches pliocènes qu'il a soulevées ne sont pas encore rattachées d'une manière bien nette aux terrains tertiaires de l'Europe centrale et que leur âge n'est pas fixé avec une complète certitude, je rappellerai que rien ne prouve que le basalte n'a pas continué à paraître dans le Siebengebirge un certain temps après la fin de l'époque miocène, et que, par conséquent, ces filons peuvent fort bien être contemporains du mont Serrat, en admettant l'âge que lui assigne M. Vézian.

Résumé. — Les plus anciennes formations qui apparaissent dans le Siebengebirge sont les schistes et les grauwackes du commencement de l'époque dévonienne, qui forment, par leurs plissements, une série de petits chaînons à peu près parallèles. A la suite de ce premier dépôt, le pays est resté émergé jusqu'à la période miocène, car c'est seulement du milieu de cette période que datent les couches de grès, de lignites et d'argiles, qui recouvrent les schistes, ainsi que les tufs qui y sont intercalés.

L'absence de toute formation intermédiaire entre les couches coblentziennes et ces dépôts tertiaires, fait qu'il est très-difficile de déterminer l'époque exacte à laquelle ont paru les trachytes ; cependant il est permis de les considérer comme liés de très-près aux tufs trachytiques, et l'on doit admettre qu'ils sont contemporains de la période mio-

cène; mais il est probable qu'ils ne se sont plus montrés après la formation de la grande couche de lignite dont nous avons parlé. L'apparition des basaltes, au contraire, est de peu de temps antérieure à l'époque de cette formation; ils ont continué à venir au jour pendant le dépôt des couches suivantes, et peut-être même n'ont-ils cessé complétement que pendant la période pliocène. Enfin, à l'époque quaternaire, les vallées ont achevé de se creuser, et le pays a pris le relief que nous lui voyons aujourd'hui.

II. — L'EIFEL.

On désigne le sous nom d'Eifel le petit pays montagneux compris à peu près entre Bonn, Düren, Trèves, la rive gauche de la Moselle et la rive gauche du Rhin. On n'y rencontre guère, en fait de formations sédimentaires, que les grauwackes et schistes à spirifer de l'étage coblentzien; cependant, vers l'ouest, le calcaire de Givet (Eifelkalk) se montre sur une grande étendue, avec quelques lambeaux de grès bigarré et de muschelkalk; les dépôts diluviens n'apparaissent qu'à l'est et au sud, sur les bords de la Moselle et du Rhin. Mais ce qui a rendu l'Eifel célèbre, ce sont les nombreux volcans éteints qu'il renferme; on peut en distinguer deux groupes séparés : le premier, fort peu régulier, est situé un peu à l'ouest d'Andernach, très-près du Rhin; il est connu par les grandes exploitations de lave de Niedermendig et de Mayen qui fournissent des meules à une partie de l'Europe, et par les carrières de trasz de la vallée de Brohl, d'où la Hollande tire toute la pouzzolane qu'elle emploie; mais le point le plus renommé, celui qui a donné son nom à tout le groupe, c'est le lac de Laach, nappe d'eau assez étendue, qui se trouve entourée d'une

ceinture de cônes volcaniques boisés et présente un aspect pittoresque, quoique bien inférieure en beauté aux lacs moins connus des montagnes des Vosges. L'autre groupe, qui se trouve au sud-ouest du premier, dans le Vorder-Eifel, forme une bande rectiligne qui s'étend du sud-est au nord-ouest, depuis Bertrich jusqu'à Gerolstein et Hillesheim, et à laquelle il faut rattacher le cratère isolé du Mosenberg, situé près de Manderscheid.

Les différents volcans que renferme chacun de ces groupes étant à peu près indépendants les uns des autres, je me contenterai de les décrire, ainsi que les produits de diverses sortes auxquels ils ont donné naissance, dans l'ordre où nous les avons visités.

Groupe du lac de Laach. — Les volcans de ce groupe se distinguent nettement de ceux du Vorder-Eifel par la nature même de leurs produits, qui sont généralement plutôt acides que basiques : ils ont donné une grande quantité de ponces, des laves trachytiques, des laves et des tufs renfermant de l'amphigène; les laves plus basiques qui ont coulé de leurs cratères présentent même une particularité qu'on ne retrouve nulle part dans le Vorder-Eifel : elles contiennent de l'haüyne en proportion notable; on ne peut malheureusement pas savoir si, à cette différence de composition entre les produits des deux groupes, correspond aussi une différence d'âge : en effet, dans le Vorder-Eifel, il n'y a d'autres formations sédimentaires que les schistes et les calcaires dévoniens, tandis qu'ici l'on rencontre des limons diluviens, dont la position entre les diverses coulées de lave permet de déterminer exactement l'époque des éruptions. J'ajouterai qu'on trouve autour du lac de Laach des lambeaux de couches tertiaires appartenant au terrain de braunkohle, et se rattachant évidemment aux couches semblables qu'on observe autour de Coblentz, et qui occupent le fond du bassin compris entre cette ville, Andernach et Neuwied.

Le Weinberg, près de Nickenich. — La route d'Andernach à Niedermendig traverse d'abord sur une grande longueur un dépôt extrêmement étendu, formé de sable ponceux et de morceaux de ponces, rejetés par un ou plusieurs des volcans des environs du lac de Laach. Le premier cratère qu'on rencontre est celui du Weinberg, sur la gauche de la route : c'est un cône assez régulier, présentant de tous les côtés une pente de 23 à 26 degrés. Il est formé presque en entier de scories bulleuses qui, par endroits, passent à de véritables laves; ces scories sont recouvertes, sur toute la surface du cône, d'une couche de ponces en fragments plus ou moins gros, épaisse de $0^m,30$ à $0^m,40$; ces ponces paraissent remplir complétement le cratère, qui ne s'accuse que par une légère dépression du sommet de l'éminence; il paraît probable qu'elles ont été rejetées par le Weinberg lui-même, et ce qui le prouverait, c'est l'uniformité avec laquelle elles sont réparties sur toutes les pentes. Elles sont blanches, très-légères, et empâtent de petits grains d'haüyne, des cristaux très-petits de feldspath vitreux, et quelques morceaux de schiste plus ou moins altérés. Les scories qui forment la masse du cône sont d'un rouge brun presque noir, et tout à fait noires dans les points où elles passent aux laves; elles renferment de gros grains de péridot vert bouteille, des cristaux de pyroxène augite à cassure irisée, et des lamelles de mica bronzé de $0^m,02$ et $0^m,03$ de diamètre qui se laissent détacher de la masse et se clivent avec la plus grande facilité; on rencontre en outre dans ces scories des morceaux de schiste qui ont subi une véritable cuisson et présentent la couleur de la brique; sur les angles, ils semblent même presque vitrifiés. On ne peut reconnaître si le Weinberg a donné naissance à de véritables coulées de lave, à cause de l'épaisse couche de ponces qui recouvre toute la surface du sol.

Niedermendig. — Le village de Niedermendig est le siége d'une immense exploitation de laves, qui sont débitées en meules et expédiées à Andernach pour être embarquées sur le Rhin : les carrières sont souterraines, et l'on élève les blocs au jour, au moyen de baritels, formés de troncs d'arbre non équarris et à peine écorcés, et manœuvrés par des hommes; ces appareils, réunis en nombre considérable sur une très-petite étendue de terrain donnent au pays un aspect extrêmement singulier. Les puits s'enfoncent à une profondeur de 20 à 25 mètres, et l'on peut observer, en y descendant, la série suivante, que je reproduis *fig.* 7 par une coupe verticale : d'abord la couche de ponces et sable ponceux, que j'ai déjà mentionnée, épaisse ici de 2 mètres, et recouverte de limons d'alluvion et de terre végétale; au-dessous, une couche de $1^m,10$ d'épaisseur, de lœss calcaire jaunâtre renfermant des helix et quelques coquilles peu différentes des espèces actuelles; puis une masse de scories, passant aux laves sur divers points, et occupant une épaisseur très-variable; ces scories se rattachent aux laves véritables qui occupent la partie inférieure, et qui reposent sur les argiles miocènes. La nappe de lave présente trois parties distinctes : un banc de $3^m,10$ qui repose sur les argiles, et est fissuré dans tous les sens : on ne peut l'exploiter, et les carriers le connaissent sous le nom de dielstein; la partie supérieure de la coulée est également fissurée en tous sens, mais sur une épaisseur moindre, variant de $0^m,50$ à 2 mètres. La partie moyenne seule, refroidie sans doute plus lentement, a pris par le retrait une structure régulière, et s'est divisée en colonnes prismatiques à cinq ou six pans, de 1 mètre environ de diamètre; c'est la partie exploitée, et comme le toit de lave est extrêmement solide, on enlève ces colonnes sur toute leur hauteur. Il reste alors d'immenses chambres vides, à peine soutenues par quelques piliers, et dans lesquelles se produit un phénomène assez singulier : la température de ces anciennes chambres d'exploitation est toujours excessivement basse, et il n'est pas rare, paraît-il, d'y trouver de la

glace en été, surtout aux moments les plus chauds; on peut, je pense, attribuer cet effet à la cause suivante : de l'eau suinte en grande quantité sur les parois des chambres; or les carrières communiquant toutes entre elles, il y règne, en raison des différences de niveau entre les bouches des puits, un courant d'air excessivement vif, et d'autant plus fort que l'écart entre les températures extérieure et intérieure est plus grand; par suite de la texture poreuse de la roche, l'évaporation se faisant sur une très-grande surface doit être des plus actives, et c'est de là sans doute que résulte cet abaissement si considérable de la température, phénomène dont les habitants profitent en utilisant comme caves à bière toutes les carrières abandonnées.

Il est assez difficile de reconnaître de quel volcan est sortie la coulée de lave qui s'étend sous le village de Niedermendig : il semble cependant probable qu'elle est venue d'une montagne située à l'ouest, et appelée le Forstberg. On y observe un cratère assez net, dont les bords sont formés par des scories rougeâtres, bulleuses, et qui s'ouvre vers le nord-est pour donner passage à un courant de lave : cette lave serait descendue dans le vallon qu'on remarque au pied de la montagne, et serait venue s'étaler en nappe au point où il débouche dans la plaine, et où se trouvent maintenant les villages d'Obermendig et de Niedermendig. On ne peut pas, il est vrai, suivre cette coulée sur toute son étendue, et sur plusieurs points elle a été détruite par les eaux; mais on en retrouve des lambeaux qui sont restés comme de véritables témoins, et prouvent que la lave de Niedermendig se lie bien à celle qu'on trouve sur les flancs du Forstberg, et qui présente d'ailleurs le même aspect et la même composition. Quant à la destruction par les eaux d'une partie de la coulée, il n'y a pas lieu de s'en étonner, puisque nous avons vu que ce n'était qu'après l'apparition de la lave que s'étaient déposés les limons diluviens (lœss), qui

sont considérés comme le résultat d'érosions considérables. La lave de Niedermendig est poreuse, formée d'une pâte presque noire très-compacte, qui paraît composée de feldspath, de pyroxène, et peut-être d'haüyne. On y observe de nombreux cristaux plus ou moins gros d'augite et des cristaux ou des grains irréguliers d'haüyne bleue. Le feldspath de la pâte est sans doute du labrador, comme dans la plupart des trachydolérites, mais on ne peut s'en assurer par le simple examen minéralogique. On trouve dans ces laves du feldspath vitreux en assez grande abondance; mais il paraît y être empâté accidentellement et il ne doit pas y entrer comme élément constitutif; avec ces morceaux empâtés, on trouve quelquefois de gros grains de fer titané, à cassure brillante, attirable à l'aimant, et qui paraît appartenir à la variété connue sous le nom d'isérine. Le péridot, si abondant au Weinberg, paraît ici faire absolument défaut.

Mayen. — La lave exploitée à Mayen est à peu près identique à celle dont nous venons de parler; elle renferme de l'haüyne, du pyroxène en gros cristaux noirs, ou en aiguilles vertes extrêmement déliées, remplissant des géodes, du feldspath vitreux en morceaux plus ou moins gros; on y trouve fréquemment des fragments de quartz empâtés; enfin, la lave de Mayen contient parfois du péridot en très-grandes lamelles irisées appartenant à la variété hyalosidérite, et c'est par là qu'elle se distingue de la lave de Niedermendig. Elle est également exploitée pour meules, mais ici les carrières sont pour la plupart à ciel ouvert, et moins profondes; la lave est sortie d'un grand cratère, appelé le Bellerberg, qui s'ouvre au nord-ouest vers Ettringen et au sud-est vers Mayen, et elle s'est épanchée dans ces deux directions; mais la coulée s'est étendue beaucoup plus loin du côté de Mayen que du côté d'Ettringen, et elle est descendue jusqu'au bord d'un ruisseau appelé la Nette, sur la rive gauche duquel elle forme un escarpement de 10 à 12 mètres de hauteur. Outre la lave du Bel-

lerberg, on exploite aussi à Mayen la lave qui est descendue d'un autre volcan un peu plus éloigné, appelé le Hochsimmer; le cratère est très-vaste et bien conservé: son bord septentrional est formé de scories bulleuses, rougeâtres; vers le sud, il présente une large ouverture par laquelle la lave est descendue vers la Nette jusqu'au point où est maintenant le village de Saint-Jean (Sanct-Johann), pour suivre depuis là le bord de la vallée jusqu'à Mayen, où elle s'est arrêtée. La lave du Hochsimmer diffère à peine de celle du Bellerberg; elle renferme également de l'haüyne, de l'augite et du feldspath vitreux; mais elle est peut-être un peu moins poreuse. On avait cru que les deux coulées se confondaient l'une avec l'autre sous la couche de tuf volcanique qui les recouvre en partie; mais les puits foncés sur plusieurs points dans le but d'exploiter la partie recouverte, sont venus buter sur la grauwacke dévonienne après avoir traversé le tuf; on a ainsi constaté que la coulée du Hochsimmer ne s'étendait qu'à une très-faible distance de la Nette et ne se reliait nulle part à celle du Bellerberg.

Il n'est pas possible de reconnaître d'où sont venus les tufs qui recouvrent ces deux coulées et les séparent: ils se présentent plutôt comme des laves boueuses que comme des lapilli simplement cimentés après leur dépôt; ils renferment des morceaux de ponce jaunâtre, et la masse même paraît être une boue ponceuse solidifiée. On y trouve de petits cristaux d'augite, de feldspath vitreux et une grande quantité de fragments empâtés de schiste et de grauwacke; enfin on aperçoit, disséminés dans toute la masse, de petits grains blancs très-abondants, qui sont des cristaux trapézoédriques d'amphigène, en partie kalinisés. L'amphigène se retrouve d'ailleurs en grande quantité à l'ouest du lac de Laach, dans des laves et dans des tufs où l'on rencontre aussi l'haüyne blanche ou noséane (*).

(*) *Explication de la carte géologique du lac de Laach*, par M. d'Œynhausen.

Lac de Laach. — Le lac de Laach est une nappe d'eau presque circulaire d'un diamètre moyen de 3 kilomètres; sa profondeur au milieu est d'une cinquantaine de mètres; les collines qui l'entourent de tous côtés sont entièrement couvertes de lapilli ou de tufs volcaniques, et cette circonstance avait fait considérer longtemps le lac de Laach comme le cratère d'un ancien volcan; mais on a reconnu que les tufs qui se trouvent sur ses bords varient d'un point à l'autre d'aspect et de composition, et ne doivent pas provenir d'un seul et même cratère; de plus, si le lac occupait réellement le cratère d'un volcan, sa profondeur serait probablement plus considérable, car dans les vrais lacs cratériques du Vorder-Eifel, qui sont beaucoup plus petits, la profondeur au milieu est souvent de plus de 100 mètres. Après avoir songé ensuite à attribuer la formation de ce lac à un effondrement qui se serait produit dans le sol au moment des éruptions des divers volcans des environs, on le regarde maintenant comme résultant simplement du barrage d'une vallée; cette explication, plus vraisemblable, s'appuie d'ailleurs sur des faits non contestés: on remarque, en faisant le tour du lac, qu'à l'ouest, à l'est et au nord, les couches coblentziennes affleurent en plusieurs points, représentées tantôt par des schistes, tantôt par des bancs de grauwacke quartzeuse très compacte qui passe presque à de véritables quartzites. On remarque en outre sur divers points des lambeaux de couches argileuses, appartenant au terrain de braunkohle. Du côté du sud seulement, on ne trouve aucune de ces formations sédimentaires, et les tufs volcaniques apparaissent seuls; on ne rencontre qu'eux non plus sur les bords du chemin creux qui monte de Bell à l'abbaye de Laach; enfin des puits de recherche qui furent foncés entre le lac et Niedermendig, dans l'espoir de trouver de la lave, arrivèrent à la grauwacke après avoir percé une épaisseur considérable de tufs, et les nivellements qui furent faits il y a quelques années

prouvèrent que le niveau atteint par ces puits était à peu près le même que celui du fond du lac et que celui de la plaine où se trouvent les villages de Bell, d'Obermendig et de Niedermendig. Il paraît presque évident, d'après cela, qu'à la place du lac existait primitivement une vallée fermée au nord, mais ouverte au sud ; cette vallée formait sans doute un golfe sur le bord du bassin qui s'étendait vers Coblentz et Neuwied à l'époque miocène, lors du dépôt du terrain de braunkohle. Les tufs et les lapilli rejetés par les volcans voisins, tels que le Krufter Ofen, le Laacher Kopf et le Rotheberg, vinrent plus tard barrer l'entrée de la vallée, et le résultat de ce barrement fut la formation du lac de Laach. M. d'OEynhausen (*) fait observer que pareille chose aurait pu arriver pour le bassin qui est situé à l'ouest du Laacher See, au nord du petit village de Wehr; ce bassin, occupé actuellement par une prairie marécageuse, n'a d'issue qu'au nord par une vallée très-resserrée; les tufs volcaniques s'étendent jusque sur le bord de cette vallée, et s'ils l'avaient comblée, un lac aurait certainement pris naissance.

J'ai déjà cité quelques-uns des volcans qui entourent le lac de Laach : l'un des principaux est le Krufter Ofen, ou fourneau de Kruft, dont le cratère présente la forme d'une ellipse : le grand axe, dirigé N.-N.-O.-S.-S.-E a près de 1.000 mètres de longueur. Le bord septentrional, qui est le plus élevé, est formé de scories rougeâtres ; les autres, ainsi que le fond du cratère, et tout le reste de la montagne, sont recouverts de ponces blanches en fragments assez gros : ces ponces paraissent, ici comme aux environs, le produit d'une des dernières éruptions volcaniques : elles s'étendent vers l'est jusqu'à une distance considérable, comme si elles avaient été entraînées dans cette direction par un vent violent. Le Krufter Ofen a aussi produit des laves, mais celles-ci sont recouvertes d'une puissante couche de ponces et n'ap-

(*) Ouvrage cité.

paraissent au jour que sur un seul point, entre Kruft et Niedermendig. Les autres cratères des bords du lac ont également donné naissance à des coulées de lave : celle du Rotheberg descend vers le village de Wehr, mais elle est en partie cachée par des tufs ; le cratère du Veitskopf, situé au nord, s'ouvre à la fois vers le sud-est, et vers le nord-ouest : la lave a coulé d'un côté dans la vallée de Glees, de l'autre dans la vallée qui est maintenant le lac de Laach, et elle est recouverte en partie par les eaux, et par les dépôts qui se forment dans le lac. Quant aux tufs qui s'étendent entre ces divers volcans, ils doivent être le produit de différentes éruptions ; on y rencontre des blocs de lave de différentes sortes, des boules de péridot, des fragments de schiste et de grauwacke, qui paraissent être de véritables bombes volcaniques. Nous en avons recueilli plusieurs sur la rive nord-est du lac : les unes renferment de grandes plaques de mica, empilées les unes sur les autres, et adhérant fortement avec la pâte : ce mica est rouge brun, et paraît altéré, car il se brise en petites écailles plutôt qu'il ne se clive; on y rencontre en outre de gros cristaux noirs de pyroxène augite, et quelquefois de petits grains jaunes ou verts de péridot; la pâte de ces laves est d'un gris rougeâtre, et d'ordinaire très-compacte ; on pourrait presque les considérer comme des espèces de wackes. On trouve aussi, très-fréquemment, des blocs de véritable lave trachytique, formés de cristaux d'orthose vitreux plus ou moins gros, cimentés par une pâte feldspathique grise, poreuse, qui, par places, affecte une texture scoriacée et passe à la ponce; ces laves trachytiques renferment des cristaux d'amphibole, du fer titané, de l'haüyne, et une grande quantité de petits cristaux de sphène, jaunes de miel, appartenant à la variété séméline. Enfin on rencontre beaucoup de morceaux de ponce, qui paraissent provenir simplement d'une transformation des laves trachytiques dont je viens de parler : elles ren-

ferment en effet les mêmes éléments : des cristaux de feldspath vitreux, un peu d'amphibole hornblende et de fer titané, des grains d'haüyne bleue et du sphène : elles fondent facilement au chalumeau en un émail blanc identique à celui que donne le feldspath vitreux, et doivent résulter de la fusion et du boursouflement des laves trachytiques. Peut-être même pourrait-on trouver des échantillons établissant d'une façon positive ce passage des laves aux ponces ; mais les bords du lac sont couverts partout d'une abondante végétation, que favorise la facile décomposition des tufs, et qui rend les recherches fort difficiles.

Comme dernière manifestation de l'action volcanique, il faut citer les nombreuses sources minérales qu'on rencontre aux environs du lac de Laach, et dont les plus réputées sont celles de Tœnnistein; ce sont des sources froides, qui, presque toutes, donnent de l'acide carbonique en abondance : sur quelques points du lac, on a également constaté le dégagement de bulles nombreuses de ce gaz; enfin, sur la rive est, on trouve dans le bois un trou de $0^m,75$ à 1 mètre de profondeur, qui est une véritable mofette ; mais elle est très peu active, sauf en temps de pluie, c'est-à-dire aux moments de baisse barométrique. Sur un point de la vallée de Brohl, on a établi une fabrique de céruse qui utilise ces émanations d'acide carbonique.

Vallée de Brohl. — La vallée de Brohl est située un peu au nord du lac de Laach : elle est creusée tout entière dans les schistes et les grauwackes ; le fond en est occupé par un tuf ponceux particulier, connu sous le nom de *trasz* : on l'exploite sur une grande échelle, et il est employé, soit comme pierre de construction, soit beaucoup plutôt comme pouzzolane, après pulvérisation Le ruisseau qui coule dans la vallée s'est creusé un lit dans ce tuf, et a fini par atteindre les schistes, laissant sur ses bords des escarpements de 30 à 35 mètres de hauteur ; la route est établie à côté du ruisseau et bordée sur toute sa longueur de carrières

importantes. Le trasz de Brohl est formé d'une pâte grise ou d'un gris jaunâtre, qui n'est autre chose que de la ponce réduite en poudre, et peut-être un peu altérée, car elle exhale, étant mouillée, une odeur argileuse assez prononcée; cette poussière ponceuse a été délayée dans l'eau de façon à former une boue qui, en se desséchant, s'est prise en une masse solide ; les grains en sont sans doute cimentés par un peu d'argile ou de kaolin provenant de la décomposition de la ponce elle-même ; cette pâte renferme une grande quantité de morceaux, de grosseur variable, de ponce blanche, dont quelques-uns sont altérés et tombent en poussière sous les doigts. On y rencontre en outre de très-petits fragments d'obsidiennne verdâtre, une grande quantité de cristaux de pyroxène augite, de petits grains de quartz translucides, du fer titané en grains ou en petits cristaux octaédriques, et de nombreux fragments de schiste et de grauwacke à peine altérés. Ce sont là les éléments constitutifs du trasz ; mais on y trouve aussi quelquefois de petits grains d'haüyne bleue, de petits cristaux d'amphigène, et des morceaux plus ou moins gros de scorie volcanique rougeâtre renfermant des cristaux de pyroxène augite. Enfin il n'est pas rare de rencontrer des débris organiques empâtés dans la masse : les plus fréquents sont des troncs ou des branches d'arbres, pourvus de leur écorce, mais qui sont passés à l'état de charbon roux; ces branches ont souvent conservé leurs feuilles, dont le limbe, les nervures et le pétiole ne sont pas complétement détruits ; l'empreinte a, du reste, été prise par la pâte du trasz avec une netteté et une délicatesse remarquables, et l'on peut déterminer les espèces comme sur des échantillons d'herbier. Les feuilles que l'on trouve le plus fréquemment appartiennent au peuplier tremble (*Populus tremula*, Lin.), si commun dans tous nos bois humides. On a trouvé également dans le trasz des insectes et des plumes d'oiseaux, mais ces débris animaux sont très-rares.

Le trasz repose tantôt directement sur les schistes, tantôt il en est séparé, à la partie inférieure, par les alluvions que le Brohlbach avait formées dans la vallée avant l'apparition des tufs. Il présente une épaisseur à peu près constante d'environ 30 mètres, de telle sorte que sa surface supérieure suit à peu près la pente du fond de la vallée; il n'en est pas de même dans quelques-uns des vallons qui viennent déboucher dans la vallée de Brohl : dans celui qui descend de Wassenach par exemple, et où se trouvent les bains de Tœnnistein, l'épaisseur du banc de trasz va en diminuant à mesure qu'on remonte vers Wassenach, et sa surface supérieure semble presque horizontale. On rencontre le trasz en lambeaux isolés à Glees, à Weiler et à Niederzissen, dans des vallées qui dépendent de celle de Brohl; mais on ne le rencontre nulle part sur les plateaux ou sur les flancs des montagnes. Il est impossible, d'après cela, de le considérer comme formé de lapilli ponceux, qui, après leur chute, auraient été cimentés par l'action des eaux; car une pluie de lapilli aurait couvert tous les alentours du volcan d'où elle sortait, et n'aurait pas rempli seulement les vallées. Il faut donc admettre que le trasz de Brohl est une véritable lave boueuse, qui a été suffisamment liquide pour gagner le fond des vallées et en suivre la pente comme un ruisseau; la température de cette lave était certainement très-peu élevée, vu l'état de conservation des parties les plus délicates des feuilles qu'elle a empâtées. On avait supposé d'abord que ce torrent de lave était sorti du Veitskopf et s'était jeté d'un côté dans la vallée de Glees, de l'autre dans celle de Tönnistein; mais on ne pouvait alors lui rattacher les lambeaux qui se trouvent en amont de Burgbrohl; et il est plus naturel d'admettre, comme le fait M. d'Oëynhausen (*), que la coulée de trasz est partie du Dachsbusch, au-dessus de Glees, et s'est épanchée d'un côté

(*) Ouvrage cité.

sur Glees et Burgbrohl, de l'autre sur Niederzissen, Weiler et Buchholz; ces deux branches se sont réunies à Burgbrohl, et le torrent a continué à descendre vers le Rhin; à la hauteur de Tœnnistein, la vallée change brusquement de direction, le courant s'est trouvé nécessairement ralenti, et la masse boueuse a reflué en partie vers la droite, remontant la vallée de Wassenach. On s'explique ainsi très-bien comment il se fait qu'ici le trasz soit limité à la partie supérieure par un plan presque horizontal. La même chose s'est reproduite un peu plus bas, à l'entrée du vallon de Pontermühle. Enfin, arrivé à la vallée du Rhin, le torrent de boue s'est jeté dans le fleuve et a dû y former des atterrissements considérables, détruits depuis, mais dont on retrouve encore la trace sur la rive gauche jusqu'au village de Nippe, en aval de Brohl. D'ailleurs, dans la vallée de Brohl même, la masse a été fortement attaquée par les eaux postérieurement à son dépôt. Nous avons vu qu'en amont de Burgbrohl il n'en restait que des lambeaux épars, et en aval on trouve des preuves évidentes de cette érosion : le trasz est recouvert par une sorte de conglomérat noirâtre qui forme une couche d'épaisseur variable, sur laquelle repose un limon jaunâtre un peu argileux. La surface de séparation du limon et du conglomérat est très-régulière et presque plane, tandis que le trasz, à son contact avec le conglomérat, présente une surface extrêmement ravinée et tourmentée, qui indique d'une façon évidente l'action énergique des eaux. Je joins (Pl. II, *fig.* 8 et 9) deux croquis pris sur les lieux, représentant le fond et l'une des parois d'une carrière de trasz située sur la rive gauche du ruisseau et montrant la position relative du tuf, du conglomérat et du limon. En examinant avec attention ce conglomérat, on reconnaît qu'il est formé de morceaux de schiste et de grauwacke, de cristaux de pyroxène augite plus ou moins roulés et de grains de quartz et de fer titané, c'est-à-dire précisément des éléments les plus lourds du trasz. La pâte

qui cimente le tout est jaune, un peu argileuse, et paraît identique avec celle qui forme le limon ; celui-ci renferme également quelques fragments empâtés, de même nature que ceux du conglomérat, mais beaucoup plus petits et beaucoup moins abondants. La masse est constituée par une argile jaunâtre mélangée d'une forte proportion de poussière ponceuse, et l'on y trouve également un assez grand nombre de morceaux de ponce. On peut, je crois, conclure de ce qui précède que le limon et le conglomérat proviennent tous deux du ravinement par les eaux de la masse de tuf. Si l'on suppose, en effet, un courant d'eau ou un simple ruisseau passant sur le trasz et le désagrégeant, ce ruisseau formera d'abord son lit de tous les cailloux les plus lourds qu'il aura enlevés, et pourra en fort peu de temps en accumuler ainsi une épaisseur assez considérable ; ce lit prendra rapidement, par l'action même de l'eau, une forme régulière, horizontal au milieu et se relevant en pente douce sur les bords. Les matières légères en suspension se déposeront au contraire lentement, et formeront sur ce fond une couche bien distincte de la première, et présentant précisément avec elle les différences de composition qu'on observe entre le conglomérat et le limon supérieur. Ces deux dépôts doivent donc être attribués au ruisseau, qui, dans la partie supérieure de la vallée, a entraîné presque toute la masse du trasz, et qui, dans la partie inférieure, a fini, après avoir coulé à la surface, par abaisser peu à peu son lit jusqu'au niveau qu'il occupait primitivement sur les formations dévoniennes. Peut-être aussi doit-on attribuer en partie la destruction du trasz à la main de l'homme. Dès l'époque romaine, en effet, la vallée de Brohl a été le siége d'exploitations importantes, et le banc de tuf occupe une si faible largeur au fond de la vallée que, malgré son épaisseur, des travaux poussés avec activité doivent le faire disparaître rapidement.

Résumé. — D'après les quelques points que je viens de décrire, on peut voir que les environs du lac de Laach présentent une série de formations assez diverses, qu'on ne peut grouper que par les époques auxquelles elles ont paru et encore, pour quelques-unes, l'âge exact est-il fort difficile à déterminer. On peut seulement, en termes généraux, dire que les premières éruptions datent du commencement de la période quaternaire ; il est à remarquer qu'on n'observe nulle part des cratères de soulèvement : les schistes et les grauwackes ont été simplement percés, et la position des couches et la direction de la schistosité montrent qu'ils n'ont pas été sensiblement dérangés de leur position primitive. Les premiers produits qui soient venus au jour sont les laves proprement dites, renfermant de l'augite et de l'haüyne ou du péridot ; leur écume, en se solidifiant sur les bords des ouvertures par où elles sortaient, a formé les éminences de scories qui nous indiquent aujourd'hui la position des anciens cratères. C'est après l'apparition de ces laves que se sont produites les érosions qui ont donné naissance au lœss, et qui, en divers points, ont raviné et détruit une partie des coulées ; à ce moment ont commencé les pluies de cendres volcaniques, car on trouve assez souvent les lapilli mêlés au lœss ; souvent aussi ils ne sont venus qu'après, et l'ont recouvert ; l'eau est intervenue fréquemment, soit en pluie naturelle, soit dans l'éruption même, formant dans ce second cas des laves boueuses qu'il est à peu près impossible, d'ailleurs, de distinguer des dépôts de cendres volcaniques cimentées seulement au moment de leur chute. Les éruptions ponceuses paraissent avoir été le dernier terme de la série ; c'est en effet par dessus les formations précédentes qu'on trouve l'épaisse couche de sable ponceux et de fragments de ponces dont j'ai parlé en commençant ; ces ponces ont été lancées seulement par les volcans des environs de Nickenich, car on ne les retrouve pas à l'ouest du lac ; elles

ont été poussées par les vents d'ouest à de grandes distances, et elles couvrent le sol jusqu'au delà de Neuwied, sur la rive droite du Rhin; il n'y a, du reste, pas lieu de s'en étonner, car on a vu, dans les temps historiques, et à des époques très-récentes, des transports de cendres volcaniques à des distances beaucoup plus considérables.

Groupe du Vorder-Eifel. — Les volcans du Vorder-Eifel sont, comme je l'ai déjà indiqué, à peu près groupés sur une bande rectiligne de peu de largeur, qui s'étend du sud-est au nord-ouest sur une longueur d'environ 40 kilomètres; quelques-uns d'entre eux présentent des cratères très-bien conservés ; dans d'autres, le cratère est presque complétement détruit, et indiqué seulement par quelques masses de scories. On ne rencontre dans le Vorder-Eifel ni ponces ni laves trachytiques; les seuls produits volcaniques sont des laves basaltiques et des scories, et des lapilli ou des tufs parmi lesquels on trouve une grande quantité de bombes de natures diverses; ces lapilli s'étendent principalement autour des lacs cratériques, connus dans le pays sous le nom de *maare* : ces maare sont de vastes enfoncements, souvent très-réguliers, creusés dans les schistes et les grauwackes; les uns sont sans doute de véritables cratères: ils ont lancé des grêles de pierres, qui ont couvert les plateaux voisins et formé sur eux des dépôts très-puissants, composés de couches horizontales; on peut quelquefois suivre ces couches dans l'intérieur du cratère, et on les voit alors plonger vers son centre, puisqu'elles sont partout parallèles à la surface naturelle du sol; quelquefois les maare sont irréguliers et entourés seulement d'un côté de lapilli et de cendres volcaniques, parmi lesquels on remarque une énorme quantité de débris de schiste et de grauwacke. Il est probable que ceux-ci sont dus à des effondrements produits par des tremblements de terre; des éruptions gazeuses, se faisant jour en même temps par l'ouverture qui venait de se former, auront projeté sur les bords les débris des roches déchirées et broyées, avec des cendres et des bombes volcaniques : ces différents maare se trouvent toujours, du reste, dans le voisinage de véritables volcans à cratères et à coulées de lave. Il est à remarquer que dans le Vorder-Eifel, pas plus qu'autour du lac de Laach, on n'observe aucun cratère de soulèvement, et que les couches dévoniennes qui constituent la base de tous ces volcans semblent s'être laissé briser et percer sans se déranger sensiblement de leur position primitive. Nous avons, dans nos courses du Vorder-Eifel, parcouru d'un bout à l'autre la bande dont j'ai parlé, en commençant par son extrémité sud, et je vais suivre le même ordre, pour en décrire les points principaux.

Bertrich. — En remontant le ruisseau de l'Uesbach, sur le bord duquel est bâti le village de Bertrich, on rencontre, immédiatement au-dessus des dernières maisons, des lambeaux nombreux d'une coulée de lave qui a dû autrefois remplir le fond de la vallée ; elle forme d'abord sur la rive droite un escarpement de 4 ou 5 mètres de hauteur, où elle se montre divisée en prismes réguliers; un peu plus loin, on la retrouve dans le lit même du ruisseau, encore divisée en prismes, et formant au fond de l'eau une sorte de pavage grossier. Cette lave est noire, très-peu poreuse, et renferme de petits cristaux de pyroxène augite, et des cristaux ou des grains irréguliers, très-abondants, de péridot olivine; on y rencontre quelquefois des cavités enduites à l'intérieur d'une couche de pyroxène verdâtre qui semble vitrifié; on trouve aussi des morceaux plus ou moins gros de feldspath vitreux, des fragments de quartz ou de grauwacke empâtés. Un peu en amont du village, on peut suivre la coulée d'une façon continue, tantôt sur la rive droite seule, tantôt sur les deux rives et dans le lit de l'Uesbach ; elle se montre presque partout divisée en colonnes verticales de $0^m,50$ environ de diamètre, qui offrent une parti-

cularité curieuse. Elles sont fissurées par une série de plans horizontaux espacés assez régulièrement, et chaque tronçon s'altère peu à peu sur les angles et sur les arêtes, de façon à prendre à la longue une forme sphéroïdale plus ou moins aplatie : les colonnes sont alors remplacées par des piles de boules posées d'aplomb les unes sur les autres; ces boules s'écaillent ensuite par couches concentriques, et finissent parfois par se décomposer et disparaître complétement. Il n'est pas rare de voir des colonnes partiellement altérées, et dont les tronçons sont, les uns tout à fait arrondis, les autres encore anguleux et prismatiques. C'est ce dont j'ai cherché à donner une idée par un croquis pris sur la rive droite du ruisseau (V. Pl. II, *fig.* 10).

Un peu plus haut, on rencontre un autre cours d'eau, l'Elbersbach ou Erbisbach, qui vient se jeter dans le premier. Ici la lave a formé une sorte de golfe, par un phénomène semblable à celui que j'ai signalé pour le trass au confluent des deux vallées de Wassenach et de Brohl: son épaisseur décroît en effet rapidement à mesure qu'on s'écarte de l'Uesbach, et, au bout de quelques pas, elle finit par disparaître complétement ; c'est là que se trouve la fameuse grotte des Fromages, ou Käsekeller, formée de blocs sphéroïdaux empilés en colonnes verticales, et présentant quelque ressemblance de forme avec des fromages de Hollande. C'est une galerie de 2 mètres à $2^m,50$ de hauteur sur autant de largeur ; elle paraît taillée de main d'homme, et pourrait bien être d'époque romaine, car on a trouvé à peu de distance, enfouie en terre, une meule conique en lave, semblable à celles qu'on a retrouvées en Italie et à Pompéi.

Il est à remarquer que la lave n'est décomposée en boules qu'à un certain niveau, comme l'indique le croquis *fig.* 11. La partie supérieure est tout à fait massive, et à peine fissurée ; la partie inférieure est divisée en prismes, et ce n'est que sur une hauteur d'environ 2 mètres que ces

prismes se sont altérés de manière à former des piles de fromages ; au dessous du niveau de la galerie, ils sont bien séparés en tronçons par quelques fentes horizontales, mais ces tronçons ne s'écaillent pas et conservent leurs angles et leurs arêtes. Ces prismes sont coupés par le lit du ruisseau, qui forme contre la grotte une cascade de 12 ou 15 mètres de haut, glissant sur un plan incliné, où l'on voit à nu les sections de tous les prismes polies et usées par l'eau. Sur la rive gauche de l'Erbisbach, en face de la grotte, la lave est tranchée assez nettement, sans doute par suite d'anciennes exploitations, et l'on peut voir son contact avec les schistes : la seule particularité qu'on remarque, c'est que cette lave est tout à fait scoriacée et bulleuse, sur une épaisseur de $0^m,10$ à partir de la surface des schistes; cela doit tenir au dégagement de gaz qui s'est produit pendant la combustion des divers végétaux qui couvraient le sol quand la lave est arrivée.

Enfin on trouve, un peu en amont de la grotte, un filon brèche formé de quartz blanc empâtant des morceaux de schiste et de grauwacke. Ce filon, d'une puissance de $1^m,50$, est dirigé N. 136° E., et il plonge vers l'est sous un angle de 65° ; on peut le suivre dans le lit du ruisseau qui, à cet endroit, coule sur les schistes ; mais sur les deux rives on retrouve la lave, et l'on constate que, quand elle est venue, le filon formait au-dessus du sol un dyke de $1^m,75$ à 2 mètres de hauteur ; car il a été recouvert par elle, comme le montre le croquis *fig.* 12.

En continuant à remonter l'Uesbach, on voit la coulée de lave devenir de plus en plus épaisse ; on le remarque surtout au pied d'une colline de scories, nommée le Hütschen, qui s'élève sur la rive gauche. Là, en effet, la lave est exploitée et coupée verticalement sur une hauteur de 15 ou 16 mètres ; elle est divisée non plus en prismes, mais en petits blocs irrégulièrement superposés provenant d'un fissurement suivant plusieurs directions. La végétation qui

couvre le sol empêche de suivre la coulée plus loin et de déterminer d'où elle est sortie, mais il paraît probable qu'elle vient du cratère presque effacé du Hütschen. On trouve sur le plateau une autre éminence de scories, appelée la Falkenlei, qui paraît être aussi un cratère; mais on n'en voit pas sortir de laves. Sur plusieurs points autour de Bertrich, on trouve des couches épaisses de lapilli noirâtres, renfermant une assez grande quantité de pyroxène augite; ils recouvrent la coulée de lave. En certains endroits, notamment au bord de l'Uesbach, ils sont en couches tout à fait horizontales; en d'autres, ils sont inclinés parallèlement à la surface du sol. Il y a eu certainement plus d'une éruption de lapilli, car nous avons observé en divers points au moins deux couches bien distinctes. Ainsi, au pied du Hütschen, au bord de la route qui conduit à Kennfus et à Lützerath, on trouve sur la lave une couche de lapilli de 2 mètres d'épaisseur; par-dessus cette couche sont des débris de schiste comme on en observe avec la terre végétale, provenant de la destruction lente de la roche à la surface et de l'entraînement par les eaux. A leur partie inférieure, ces débris de schiste sont mêlés de lapilli, et le passage d'une couche à l'autre se fait graduellement, comme cela devait arriver par suite de l'action des eaux pluviales à la surface du sol; ces débris sont recouverts à leur tour d'une couche de lapilli de $0^m,75$ d'épaisseur nettement tranchée, qui, à sa partie supérieure, passe à une couche de débris de schiste et de terre végétale (V. *fig.* 13). On voit d'après cela qu'il y a eu deux éruptions de lapilli, et qu'elles ont été séparées par un intervalle de temps assez long pour permettre la formation d'une couche de $0^m,30$ de débris et de terre végétale. Malheureusement on ne trouve nulle part de limons diluviens qui permettraient de fixer l'âge de ces différents produits volcaniques. Il est cependant permis de croire que leur apparition est très-récente, et que la lave n'est venue qu'après

le creusement complet des vallées; ce qui le prouve, c'est qu'elle constitue le lit de l'Uesbach sur une grande partie de son cours, et on doit en conclure nécessairement qu'au moment où elle a coulé, la vallée était aussi profonde qu'elle l'est maintenant, et même plus profonde en quelques points, et que la Moselle, où l'Uesbach va se jeter, avait déjà son niveau actuel. Depuis cette époque, le ruisseau a peu à peu recreusé son lit dans la lave, parfois au milieu de la coulée, le plus souvent à côté, entre elle et les schistes, la laissant sur sa rive gauche dans la partie supérieure et sur sa rive droite près du village.

Il me reste, avant de quitter Bertrich, à mentionner ses sources thermales, dernier reste de l'action volcanique, qui ont fait de ce petit endroit une station de bains assez fréquentée; elles étaient déjà connues et utilisées à l'époque romaine; leur température est de 32°,5 centigrades; elles contiennent beaucoup de sulfate de soude, du chlorure de sodium, un peu de carbonates de soude, de chaux et de magnésie, de l'alumine, de la silice, des traces de fer et des matières organiques.

Pulver-Maar. — Le Pulver-Maar, l'un des plus beaux lacs cratériques de l'Eifel, se trouve au milieu du plateau qui s'étend au-dessus du village de Gillenfeld; c'est un enfoncement parfaitement régulier, d'une profondeur de 50 mètres, dont le fond est occupé par une nappe d'eau circulaire d'environ 700 mètres de diamètre; les bords descendent de tous les côtés en pente assez roide, et la profondeur d'eau, au centre du lac, a été trouvée de 98 mètres. Le cirque ne semble s'ouvrir que sur un seul point, vers le N.-N.-O., mais pour se relier à une sorte de cirque semblable, beaucoup plus petit, qui paraît comme lui avoir été un cratère : tout autour sur le plateau, et sur les pentes intérieures du Pulver-Maar, s'étendent des couches régulières de lapilli, d'une épaisseur considérable; ces lapilli semblent avoir été arrosés par des pluies abondantes au

moment de leur chute, car ils sont fortement agglomérés, et forment une masse compacte qui offre une certaine résistance aux coups de marteau, et résonne quand elle est frappée; on y rencontre une très-grande quantité de fragments de schiste, qui semblent cuits, comme ceux qu'on trouve dans les scories, des morceaux de lave noire, des blocs de scorie rougeâtre plus ou moins gros, du pyroxène augite en cristaux ou en fragments et de véritables bombes volcaniques, composées, les unes d'amphibole hornblende avec un peu de péridot ou de mica et présentant dans leurs géodes des cristaux parfaitement formés, les autres de feldspath vitreux avec du mica, de la hornblende et de l'opale hyalithe; ces dernières ont parfois une structure gneissique très-prononcée, et on les prendrait pour des morceaux de véritable gneiss enlevés aux roches sous-jacentes, si leur feldspath n'était vitreux et quelquefois même vitrifié et comme passant à la ponce; peut-être, d'ailleurs, est-ce simplement le résultat de la haute température à laquelle ils ont pu être portés, et doit-on les regarder en effet comme arrachés dans la profondeur; je rappellerai à ce propos que M. Th. Wolf, d'après l'étude des bombes du lac de Laach, arrive à cette conclusion, que le gneiss forme l'étage inférieur des montagnes du Rhin et recouvre le foyer volcanique (*). Au S.-S.-E. du lac s'élève un cône de scories, le Rœmersberg, dont le sommet présente un cratère presque effacé qui semble s'ouvrir vers le S.-O.; au pied de ce cône, et sur la même ligne que le lac, s'ouvre dans le plateau un petit cirque régulier, le Dürremaarchen ou Strohner-Maar, dont le fond est occupé par une tourbière; la même ligne prolongée va passer au sud par le cône de scories du Wartesberg, et au nord par un enfoncement analogue à un maar, mais ouvert sur un côté et occupé par une tourbière; je reviendrai plus loin

(*) *Annales des mines*, 1868, 6e livraison, page 627.

sur ces faits d'alignement avec quelques détails. Il ne semble pas qu'aucun de ces cratères ait donné de laves en coulées; la lave a dû baver sur les bords et former ainsi ces masses de scories, mais elle ne s'est pas épanchée au dehors. Quant aux lapilli, il y en a eu probablement plusieurs éruptions, et il est vraisemblable que c'est le Pulver-Maar qui a fourni les dernières, comblant ainsi en partie le petit cirque qui se rattache à lui au N.-N.-O.; son état de conservation et sa profondeur semblent indiquer en effet qu'aucune bouche volcanique n'a fonctionné après lui dans ses environs immédiats, puisqu'il eût été alors rempli, au moins partiellement, de lapilli et de cendres. On observe encore, autour du Pulver-Maar, plusieurs enfoncements plus ou moins profonds, tout à fait fermés ou s'ouvrant à l'une de leurs extrémités, et dont les pentes sont constituées par les schistes et les grauwackes; l'un d'eux, près d'Immerath, était autrefois occupé par un lac, qu'on a desséché il y a 50 ou 60 ans, en ouvrant une rigole sur ses bords. Ils sont dûs, sans doute, à des effondrements qui se seront produits au moment des éruptions des volcans environnants.

Lacs de Daun. — Entre Gillenfeld et Daun, à peu de distance de ce dernier village, se trouvent trois lacs, qui, comme le Pulver-Maar, occupent le fond de grands amphithéâtres dont les pentes sont couvertes d'épaisses couches de tufs et de cendres volcaniques; le plus grand des trois, le Schalkenmehrener-Maar, est placé au niveau de la plaine et c'est le seul qui ait un écoulement; le ruisseau qui en sort va se jeter dans la petite rivière de l'Alf, affluent de la Moselle. Le lac de Schalkenmehren est à peu près circulaire, son diamètre moyen est de 525 à 530 mètres; sa profondeur maxima est de 32 mètres, et son niveau est à une altitude de 423 mètres; le cirque qui l'entoure est très-élevé vers le nord, mais il s'abaisse peu à peu à l'est et à l'ouest, pour s'ouvrir complétement vers le sud, et donner au ruisseau un large passage; ce cirque est assez irrégulier,

et beaucoup plus allongé de l'est à l'ouest que du nord au sud; la grauwacke et les schistes s'y montrent en divers points sur les bords du lac. Le Weinfelder-Maar est placé beaucoup plus haut, à l'altitude de 479 mètres; il est moins grand et n'a que 370 mètres de largeur sur 540 de longueur, mais il est bien plus encaissé : il est à 28 mètres au-dessous du point le plus bas de ses bords, qui est placé au nord-est; le point le plus élevé est le sommet du Mäuseberg, situé à l'ouest, à une altitude de 564 mètres, c'est-à-dire près de 100 mètres plus haut que le niveau du lac; de tous côtés les pentes sont excessivement roides, elles atteignent souvent 30 et 35 degrés; aussi la profondeur au centre est-elle très-considérable (103 mètres). La forte inclinaison de ces talus fait qu'ils sont à peine cultivés, et l'absence de végétation donne à ce profond amphithéâtre un aspect excessivement sauvage. Le lac de Gemünd, ou Gemünder-Maar, est le plus petit des trois : il n'a que 350 à 400 mètres de diamètre; son niveau est à 405 mètres au-dessus de la mer; il est donc plus bas que le Schalkenmehrener-Maar, mais il est fermé de toutes parts, et ressemble au Weinfelder-Maar, sauf que les pentes du cirque sont richement boisées; ces pentes ont aussi une forte inclinaison, et la profondeur du lac est de 60 à 65 mètres. On n'aperçoit de laves sur aucun point du massif où se trouvent ces trois lacs, mais sur le bord occidental du Weinfelder-Maar, on trouve une grande masse de scorie bulleuse, d'un gris rougeâtre, qui renferme du pyroxène augite et du mica altéré, de couleur rouge brique; les scories mêmes semblent se décomposer, et sur divers points elles sont terreuses et s'en vont sous les doigts. Leur présence montrerait seule, à défaut d'autres preuves, que le Weinfelder Maar est un véritable cratère; il en est de même, très-probablement, du Gemünder-Maar; leurs alentours sont couverts d'épaisses couches de lapilli, parallèles à la surface du sol, et qui, sur les pentes intérieures des entonnoirs, plongent vers le fond des cratères; cependant, sur les pentes occidentales du Weinfelder-Maar, on rencontre, en montant au Mäuseberg, plusieurs affleurements de schiste et de grauwacke : l'inclinaison est, du reste, si forte, qu'on s'explique très-bien que les eaux pluviales suffisent à entraîner les dépôts de cendres et à découvrir la roche sous-jacente. Outre ces lapilli, on trouve sur les bords du lac des bombes volcaniques nombreuses, composées les unes de feldspath vitreux, les autres d'amphibole hornblende, pure ou mélangée de mica noir et de péridot olivine : l'amphibole s'y montre, partie en aiguilles cristallisées enchevêtrées en tous sens, partie en masse scoriacée et bulleuse présentant des traces évidentes de fusion.

Quant aux lapilli eux-mêmes, ils se présentent sous différents aspects : ils renferment toujours de l'augite, des fragments de scorie, des débris de schistes, etc., mais la grosseur de leurs grains est extrêmement variable; souvent même ils ressemblent à de véritables tufs, et paraissent avoir été boueux comme le trasz de Brohl : ils n'ont cependant pas coulé à l'état liquide par-dessus les bords du cratère du Weinfelder-Maar, qui paraît n'avoir donné de coulées d'aucune sorte, mais il est probable qu'ils ont reçu, au moment même de leur chute, des pluies abondantes qui les ont délayés et transformés en boue; ils ont pris alors, en se desséchant, une grande compacité, qui permet de les employer comme pierres à four, ainsi que le font les habitants des villages voisins. C'est surtout sur les bords du cirque du Schalkenmehrener-Maar, qu'on peut observer la superposition de diverses couches de lapilli : les eaux pluviales, en descendant vers le lac, ont en effet creusé plusieurs ravins assez profonds qui présentent sur leurs bords des coupes extrêmement nettes. Nous avons observé dans l'un d'eux un fait particulier, que je vais indiquer brièvement (V. *fig.* 14) : le fond du ravin était entaillé de main d'homme à une profondeur de 5 mètres au-dessous du lit

creusé par les eaux, mais sur une très faible largeur; l'une des parois du trou était constituée par les schistes en place, les autres présentaient un conglomérat jaunâtre, argileux, renfermant des blocs de basalte roulés. Ce conglomérat était composé de fragments de grès quartzeux gris, analogue à ceux du Quegstein dans les Sept Montagnes, et de boules d'argile grise ou jaune, sur lesquelles on voyait des enduits assez épais de fer oxydé hydraté jaune brun. Il semble que ce soient des débris de roches des couches du terrain de braunkohle : les enduits ocreux proviendraient de la décomposition des rognons de fer carbonaté que contiennent souvent les argiles de ce terrain ; il faudrait alors considérer ce conglomérat comme un dépôt diluvien ; mais il faut remarquer que nulle part dans le Vorder-Eifel, on ne rencontre ni lœss, ni couches tertiaires, sauf deux lambeaux isolés aux environs de Manderscheid, et il est assez difficile de croire que ces dépôts aient existé, et aient été détruits depuis sans laisser de traces ; il y a de plus ici une autre particularité, c'est la façon dont ce conglomérat repose sur les schistes, séparé d'eux par une surface presque verticale ; on ne peut guère s'expliquer ce fait qu'en considérant le conglomérat dont je viens de parler comme le dépôt formé par un ruisseau qui aurait creusé son lit dans les schistes, antérieurement aux éruptions volcaniques, et y aurait amené les débris de diverses natures enlevés plus haut aux terrains qu'il traversait ; ce serait une coupe transversale du lit de ce ruisseau qu'on verrait sur la *fig.* 14.

Les lapilli descendent en divers points jusqu'au bord du Schalkenmehrener-Maar, mais les couches dévoniennes se montrent en place sur une assez grande étendue : ce fait, joint à la faible profondeur du lac et à la discontinuité du cirque qui l'entoure, conduit à le regarder simplement comme résultant d'un effondrement du sol, tandis que le Weinfelder et le Gemünder-Maar seraient de véritables cratères ; ce sont eux, très-probablement, qui ont lancé tous les lapilli qui recouvrent les schistes jusqu'aux environs de Mehren. On trouve encore, à l'ouest de Schalkenmehren, un volcan appelé l'Alteburg, dont la lave renferme de petits cristaux transparents d'analcime (*). Enfin, dans la vallée de la Lieser, un peu en amont de Gemünd, on rencontre plusieurs sources froides qui sourdent çà et là dans les prés, et dont les eaux laissent déposer de l'oxyde de fer en abondance et sont très-chargées d'acide carbonique : ce gaz se dégage en grosses bulles qui font bouillonner l'eau très-vivement.

Daun. — Il y a encore dans le village de Daun des sources semblables, dont l'eau est tellement acide qu'elle est désagréable à boire ; ces émanations caractérisent la dernière période d'activité des volcans qui couvrent le pays. On ne trouve pas autour de Daun de cratères bien formés, mais il y a de grandes coulées de laves et des couches épaisses de lapilli. Sur la rive gauche de la Lieser, s'élève le Firmerich, dont les laves sont descendues presque jusqu'au ruisseau ; mais elles ont sans doute été exploitées, et forment maintenant au sommet de la pente de grands escarpements composés de blocs entassés les uns sur les autres. La structure de cette lave est peu régulière, elle est fissurée en divers sens, mais ne se divise pas en prismes ; elle est excessivement compacte, et présente seulement quelques pores à peine visibles, elle est tout à fait noire et renferme un peu de péridot et beaucoup de pyroxène augite. Ce dernier minéral s'y présente très-fréquemment en cristaux de la grosseur du pouce, dont plusieurs sont maclés ; quelques-uns sont couverts d'un enduit d'opale hyalithe. Le feldspath vitreux paraît très-rare, et c'est à peine si on en trouve quelques morceaux empâtés. Au sommet de la montagne, au-dessus du versant méridional, on voit quelques escar-

(*) H. von Dechen. *Geognostischer Führer in die Vorder-Eifel.*

pements formés de scories grises qui contiennent de l'augite et du mica altéré, rouge brique ; ces scories indiquent sans doute un des bords du cratère, mais les laves et les lapilli empêchent de reconnaître sa forme. L'ancien château de Daun est bâti sur une sorte de piton isolé, qui s'élève au bord de la Lieser et est couronné par une masse de lave divisée en prismes : il paraît évident que cette lave a dû faire partie d'une coulée, et que le cône dont elle forme aujourd'hui le sommet se reliait alors à l'un des bords de la vallée. M. de Dechen la considère comme appartenant à la coulée du Firmerich ; mais le niveau qu'elle occupe, à cinquante mètres au-dessus de la Lieser, paraît un peu trop élevé pour qu'on puisse admettre que la lave du Firmerich soit venue jusque-là ; en tout cas, c'est sans doute à l'action des eaux qu'il faut attribuer la destruction de la coulée dont faisait partie cette petite masse de lave, et cela prouverait peut-être qu'elle est antérieure aux grandes érosions diluviennes, comme les laves de Mayen et de Niedermendig. Au nord de Daun s'élève le cône régulier du Felsberg, qui, d'après la forme de son sommet, paraît présenter un cratère assez bien dessiné ; mais il est malheureusement couvert de bois et de taillis épais qui ne permettent pas de s'en assurer. Les coulées de lave qui en sont sorties s'étendent fort loin, et bien qu'elles soient recouvertes de prairies, on les suit facilement à la trace des gros blocs qui font saillie à la surface du sol ; ces laves sont assez poreuses, et renferment de l'augite et une grande quantité de péridot en partie altéré, et passant au jaune et au rouge.

Dockweiler et Dreis. — En continuant à suivre la route de Daun à Dreis, on arrive au petit village de Dockweiler, qui est bâti sur une longue coulée de lave qu'on peut suivre jusqu'au village de Dreis ; elle est recouverte par des lapilli dans sa partie inférieure, mais plusieurs carrières l'ont mise à découvert ; cette lave est grise, poreuse, et renferme une grande quantité de grains ou de cristaux de péridot jaune rosé (var. hyalosidérite), et des cristaux de pyroxène augite sur lesquels on distingue facilement les faces M, h_1, et e_1. Elle est probablement venue d'un petit cône de scories que l'on aperçoit au sud du village, mais les lapilli qui la recouvrent et la végétation qui s'étend sur le sol font qu'il est impossible de la suivre jusque-là.

Auprès du village de Dreis s'ouvre un grand cirque de 1 000 mètres de diamètre, fermé seulement sur les trois quarts de sa circonférence ; il était autrefois occupé par un étang qu'on a saigné et remplacé par une tourbière ; aussi porte-t-il le nom d'Alte Dreiser Weiher (ancien étang de Dreis) ; la digue naturelle qui le borde à l'est est entièrement couverte de lapilli qui s'étendent jusque sur la coulée de lave de Dockweiler ; ces lapilli renferment un grand nombre de bombes volcaniques : quelques-unes sont formées d'augite, mais la plupart sont composées de péridot granulaire avec un peu de pyroxène vert et de petits grains noirs de spinelle ferreux ; c'est la roche qu'on a appelée péridotite. M. Th. Kjerulf l'a, paraît-il, retrouvée en Norwége sous un aspect assez semblable à celui qu'elle présente ici : elle est comme craquelée en tous sens, et tombe généralement en poudre au premier coup de marteau : il est très-difficile d'en trouver des échantillons assez solides pour pouvoir être conservés ; plusieurs de ces boules sont entourées d'une croûte de lave scoriacée noire qui renferme des morceaux de schiste, et quelquefois des fragments de feldspath vitreux ; quant à leurs dimensions, elles sont très-variables, et il n'est pas rare d'en voir qui atteignent $0^m,20$ de diamètre. Ces lapilli et ces bombes paraissent être sortis du cirque même du Dreiser Weiher, car ils ne se trouvent que sur ses bords ; mais il n'est pas probable que le Dreiser Weiher ait été un véritable cratère ; il est sans doute le résultat d'un écroulement du sol : une grêle de pierres, arrachées aux roches sous-jacentes, aura été lancée par l'ouverture,

qui s'est ensuite comblée pour ne plus se rouvrir. On trouve, du reste, sur le bord occidental de ce cirque deux véritables volcans, le Dohm et le Kalenberg, qui ont donné des laves et des scories ; mais les lapilli qu'ils ont rejetés ne s'étendent pas jusqu'au Dreiser Weihen. Je ferai remarquer ici que si la péridotite ne se trouve en grosses bombes que sur un petit nombre de points dans l'Eifel, du moins la plupart des laves renferment des grains de péridot, et il paraît probable que cette roche, péridotite ou lherzolite, doit être abondante dans la profondeur.

Hohenfels. — C'est en allant de Dockweiler à Hohenfels que l'on rencontre pour la première fois les couches de calcaire de l'Eifel : elles reposent sur les schistes coblentziens, et leur partie inférieure même est encore formée de schistes; ce n'est qu'un peu plus haut qu'on trouve réellement du calcaire ; ces couches sont extrêmement riches en fossiles, et, en quelques instants, nous avons pu en recueillir plusieurs, tels que *Calceola sandalina*, *Atrypa reticularis*, *Lunulites proavia*, etc. Les couches coblentziennes, qui constituent presque partout ailleurs le sol de l'Eifel sont, au contraire, comme au Siebengebirge, très peu fossilifères ; on y trouve cependant quelquefois des spirifer, des crinoïdes et des empreintes de végétaux.

Le village de Hohenfels est, de tous côtés, entouré de volcans qui forment autour de lui un cirque presque complet ; de grandes coulées de lave descendent jusqu'au fond de la vallée et sont exploitées pour être débitées en meules ; les pentes des montagnes sont couvertes d'épaisses couches de cendres volcaniques qui proviennent certainement de plusieurs éruptions et de plusieurs cratères, et s'étendent d'un côté jusqu'à Rockeskyll et de l'autre jusqu'à Kirchweiler et Hinterweiler ; on y trouve des boules de scorie rougeâtre et des blocs de lave terreuse noire, compacte, renfermant de grandes lamelles de mica noir avec des cristaux d'augite ou de hornblende ; c'est à cette roche qu'on

a donné le nom de wacke. Nous avons remarqué, au-dessus d'Hohenfels, un fait qui semble indiquer qu'entre les diverses éruptions de cendres volcaniques, il y a eu de fortes dénudations du sol par les eaux, et peut-être même des mouvements dus à des secousses souterraines. On voyait en effet, comme je l'indique *fig.* 15, plusieurs couches de lapilli inclinées de 10 à 15 degrés sur l'horizon et recouvertes de terre, par-dessus lesquelles s'étendaient d'autres couches inclinées à 25 degrés environ : il faut donc que des érosions aient mis à nu la surface AB entre le dépôt des deux systèmes de couches ; plus tard, c'est la surface CD qui a été découverte, mais ici la main de l'homme a pu intervenir, car tout le pays est couvert de champs et de cultures. On trouve d'ailleurs, sur d'autres points des environs, des exemples analogues de couches inégalement inclinées reposant les unes sur les autres ; il a fallu certainement des intervalles assez longs entre les diverses éruptions pour permettre ainsi des modifications de la surface du sol. On rencontre encore, en revenant vers Daun, plusieurs volcans qui ont donné de grandes coulées de lave ; tels sont l'Errensberg (694 mètres) et le Scharteberg (630 mètres) ; ce dernier présente un cratère assez distinct encore, ouvert vers l'ouest et vers le sud-est : la coulée qui est sortie dans cette dernière direction est exploitée près de Steinborn, et l'on observe dans certaines carrières deux couches de lave séparées par une couche de tuf ou de lapilli de 5 à 6 mètres d'épaisseur ; la coulée la plus récente a été à son tour recouverte de cendres volcaniques, et elle ne se montre au jour qu'en un petit nombre de points.

Uedersdorf. — Le village d'Uedersdorf, situé entre Daun et Manderscheid, occupe le fond d'un large cirque formé par trois volcans distincts : le premier, l'Aarlei, placé au nord-ouest, a donné des laves qui sont descendues vers le fond du cirque, puis des lapilli qui ont recouvert les laves en partie et se sont étendus tout autour du cratère ; le se-

cond, appelé la Lilei, ne présente pas de cratère visible : la lave s'est épanchée de différents côtés, notamment vers le nord et l'est, et elle a coulé presque jusqu'au fond de la vallée de la Lieser ; la route de Daun coupe cette coulée dans toute son épaisseur et met à nu le contact de la lave avec les couches dévoniennes : on remarque plusieurs rochers de schiste ou de grauwacke, qui, faisant saillie à la surface, ont été seulement entourés par la lave, mais non recouverts par elle ; la lave de la Lilei est grise, assez compacte, et renferme un peu d'augite, du péridot jaunâtre, et de la chaux carbonatée qui paraît être cristallisée dans les géodes et présenter les formes de l'arragonite. Le troisième cratère, celui de la Weberlei, est le mieux formé : ses bords sont indiqués par des masses de lave scoriacée qui forment un cercle assez régulier ; la lave s'est épanchée d'un côté dans l'intérieur du cirque d'Uedersdorf, où on l'a exploitée, et de l'autre vers la Lieser, rejoignant la coulée de la Lilei : cette lave est noire, un peu poreuse, et renferme, comme la précédente, du péridot jaunâtre, un peu de pyroxène et de l'arragonite ; on y trouve quelquefois de petits cristaux transparents de néphéline (*) ; ce minéral a été également indiqué dans les laves de l'Aarlei et dans celles du Rosenberg, entre Gemünd et Daun.

Mosenberg et Meerfelder-Maar. Je terminerai l'étude des volcans du Vorder-Eifel par la description du Mosenberg, l'un des plus remarquables d'entre eux. Il est situé à l'ouest du village de Manderscheid, sur la rive gauche de l'étroite vallée de la Petite-Kyll ; il est formé d'une masse de scories, qui occupe le bord oriental d'un large plateau et s'élève par une pente rapide jusqu'à 45 ou 50 mètres au-dessus du niveau de ce plateau, atteignant l'altitude de 528 mètres. Comme les points les plus élevés des environs restent tous au-dessous de 500 mètres, le Mosenberg est

(*) H. von Dechen. Ouvrage cité.

visible de loin, et facile à reconnaître à cause de sa forme, dont le croquis (*fig.* 16) peut donner une idée. Du côté de l'est, la montagne se termine par un plan, incliné de 28 degrés sur l'horizon, entièrement couvert de blocs de scories. Elle se présente, en somme, comme une longue arête tronquée au sommet et dirigée exactement N. 149° à 150° E. On y distingue quatre cratères très-nets, dont trois sont alignés suivant cette direction ; le quatrième, le plus septentrional, reste un peu au nord de la ligne qui joint les trois autres ; j'indique d'ailleurs cette disposition par le croquis (*fig.* 17).

Le cratère n° 1, en forme de cirque allongé, a ses bords constitués par des masses de scories bulleuses qui s'élèvent de chaque côté en grands escarpements à pic. Il est ouvert du côté du sud et a donné naissance à une longue coulée de lave, qui s'est jetée dans un ravin appelé le Horngraben, qui part du pied du Mosenberg ; elle l'a suivi jusqu'au ruisseau de la Petite-Kyll ; on peut reconnaître cette coulée à la trace des gros blocs qui font saillie à la surface, et l'on voit qu'elle a formé en quelques points de véritables cascades. Arrivée à la Petite-Kyll, à 150 mètres environ au-dessous de son point de départ, elle paraît avoir suivi encore la vallée quelque temps ; mais le ruisseau l'a détruite peu à peu, et elle semble maintenant s'arrêter à la partie inférieure du ravin du Horngraben, formant là sur le bord de la Kl. Kyll un escarpement de 30 mètres de hauteur, où elle se montre divisée en colonnes prismatiques assez régulières ; cette lave renferme, comme toutes celles que nous avons vues jusqu'ici, du péridot et du pyroxène augite.

Le cratère n° 2 se soude par son bord méridional avec le cratère n° 1 ; il est beaucoup moins bien conservé que lui et paraît être le plus ancien de tous ; il présente vers le milieu un léger étranglement et semble formé de la réunion de deux bouches volcaniques voisines. Du côté de l'est il

est bordé de hauts escarpements de scories qui forment la pointe la plus élevée de la montagne, appelée le Mosenkopf. Ces scories sont grises et renferment des cristaux d'augite et du péridot. A la base des escarpements, dans l'intérieur du cratère, elles deviennent compactes, et semblent passer à la lave; cette lave est criblée de petits grains cristallins de péridot rubéfié, et empâte souvent des morceaux assez gros de scorie rougeâtre. Du côté de l'ouest, on retrouve la même disposition. Les scories s'élèvent en escarpements au-dessus du versant extérieur de la montagne, qu'elles couvrent de leurs débris. Elles passent également à la lave à la partie inférieure; cette lave paraît divisée en prismes, et, comme celle du bord oriental, elle renferme du péridot vert et rouge en cristaux, souvent très-gros; on y trouve quelquefois du feldspath vitreux. Le fond du cratère n° 2 descend en pente douce vers le nord, mais on ne voit pas de coulées de lave sortir par l'ouverture; peut-être, s'il en existe, sont-elles recouvertes par les dépôts de cendres et de lapilli du cratère n° 3. Celui-ci est le mieux formé de tous : il est elliptique, et le fond en est occupé par un petit lac d'environ 100 mètres de longueur sur 60 ou 70 mètres de largeur. Le niveau de ce lac était autrefois un peu plus élevé; mais on l'a saigné en partie : il a été remplacé alors par une tourbière, dont l'exploitation a donné de nouveau naissance à un étang. Les bords de ce cratère sont continus et il ne s'ouvre dans aucune direction. A l'ouest, un grand escarpement de scories s'élève à pic au-dessus du lac à 20 ou 25 mètres de hauteur; ces scories sont rougeâtres, bulleuses vers le haut, et plus compactes vers le bas; elles renferment également du péridot plus ou moins altéré. Du côté du nord, on voit aussi une masse de scories sur les bords du lac, mais elle est moins considérable que celle de l'ouest. Les pentes extérieures, comme je l'indique par le croquis (*fig.* 18), sont très-régulières; leur inclinaison est d'environ 20 degrés;

elles sont formées de lapilli, dont les couches ont précisément cette inclinaison; ces lapilli sont presque exclusivement composés de morceaux de scories; ils s'étendent assez loin sur le plateau de Bettenfeld, surtout dans la direction du nord. Au pied du talus qui borde le cratère s'ouvre, vers le nord, une autre bouche volcanique, indiquée sur le croquis par le n° 4. Elle est ronde et bordée d'un côté d'escarpements de scories d'une dizaine de mètres de hauteur, et, sur le reste de son pourtour, de lapilli qui forment des talus réguliers peu élevés; le fond du cratère était autrefois occupé par un petit lac circulaire de 50 mètres environ de diamètre, appelé le Hinkels-Maar; mais on l'a saigné aussi, et l'on n'y trouve plus maintenant qu'un marais tourbeux; le niveau du Hinkels Maar était à la cote 448 mètres, c'est-à-dire à 80 mètres plus bas que le sommet du Mosenberg; il est un peu plus bas que le niveau du petit lac de Wanzenborn qui occupe le fond du cratère n° 3. Les scories du cratère n° 4 renferment, comme les autres, du péridot et de l'augite; les lapilli qui les recouvrent sont formés aussi de fragments de scories parmi lesquels on en trouve quelques-uns qui contiennent du péridot très-bien cristallisé, et de gros noyaux d'opale hyalithe.

Il paraît probable que des deux cratères 3 et 4 sont exactement contemporains, car, ayant donné tous deux des lapilli, le plus récent aurait certainement comblé l'autre. Quant aux cratères du sud, on doit les considérer comme les plus anciens; outre leur état de dégradation, qui serait déjà une preuve de ce que j'avance, nous avons vu partout que les lapilli n'étaient venus qu'après la lave, et ce fait général entraîne la postériorité des cratères du nord. Maintenant, entre le n° 1 et le n° 2, il est assez difficile de juger exactement quel est le plus récent, les produits de l'un ne recouvrant pas ceux de l'autre; cependant l'altération plus grande de ses scories, qui, en certains endroits, sont tout à fait terreuses, et surtout son beaucoup moins bon état de

conservation autorisent à penser que le cratère n° 2 est, comme je le disais plus haut, le plus ancien de tous.

En continuant à suivre vers le N.-O. la ligne des cratères, on trouve, à 1 200 ou 1 300 mètres de distance du dernier, un vaste bassin conique qui s'ouvre au milieu du plateau, et dont le fond, situé à environ 100 mètres de profondeur au-dessous des bords, est occupé par un village et par un lac ; c'est le cirque du Meerfelder-Maar : il n'est pas fermé sur tout son pourtour, et un petit ruisseau le traverse de l'Ouest à l'Est ; les parois en sont très-escarpées et les schistes s'y montrent presque partout ; mais sur le plateau, et sur tous les points où les pentes ne sont pas très-fortes, on trouve des couches épaisses de lapilli, dont quelques-unes sont assez compactes, et ont probablement été délayées par des pluies au moment de leur dépôt ; on y rencontre une grande quantité de bombes de péridotite semblables à celle du Dreiser Weiher, mais un peu moins grosses. Il est probable que ces lapilli ont été lancés par une sorte d'éruption gazeuse au moment de la formation du cirque du Meerfelder-Maar, qui, comme le lac de Schalkenmehren et le Dreiser Weiher, paraît résulter d'un effondrement. Il est malheureusement impossible d'observer la relation qui existe entre les couches de cendres du Mosenberg et celles du Meerfelder-Maar ; il est assez probable que la formation du lac est à peu près contemporaine des dernières éruptions des cratères du Wanzenborn et du Hinkels-Maar, mais on ne peut savoir si elle est un peu postérieure ou un peu antérieure à ces éruptions.

Résumé. — Les époques auxquelles ont paru les divers produits volcaniques du Vorder-Eifel ne peuvent être déterminées avec exactitude ; il est seulement permis de croire qu'ils sont à peu près contemporains des produits analogues des environs du lac de Laach, et qu'une partie au moins des laves basaltiques que nous avons observées datent bien du commencement de l'époque quaternaire : le fait, observé

à Daun et en quelques autres endroits, de petites masses de lave entièrement séparées maintenant des coulées dont elles faisaient primitivement partie, semble en effet indiquer que ces coulées ont dû subir l'action des grandes érosions diluviennes ; peut-être en serait-il de même pour une partie des dépôts de lapilli, qui, sur différents points, ont entièrement disparu du fond des vallées et ne se rencontrent plus que sur le haut des plateaux ; cependant, pour ces derniers, leur état généralement très-meuble, joint à la roideur considérable des pentes, suffit pour expliquer leur entraînement par la simple action des eaux pluviales et des courants d'eau actuels au bout d'un temps relativement assez court. On ne peut, d'ailleurs, affirmer que les érosions diluviennes se soient fait sentir dans le Vorder-Eifel, car, bien qu'on en retrouve quelques traces sur le plateau de Manderscheid, et peut-être auprès de Schalkenmehren, il est difficile de croire qu'elles n'auraient pas laissé des dépôts plus étendus, dont on s'expliquerait mal la disparition. En tout cas, on peut du moins établir l'ordre de succession des divers produits, et dire d'abord que les plus anciens sont les laves ; les tufs ou les cendres ne sont venus qu'après, et s'ils ont été, sur quelques points, recouverts par des coulées nouvelles, ils les ont ensuite recouvertes à leur tour, et les éruptions les plus récentes paraissent bien n'avoir plus donné que des lapilli ; c'est sans doute à cette dernière période qu'il faut rapporter la formation de ces vastes bassins, si fréquents dans le Vorder-Eifel, qui semblent résulter d'effondrements considérables, et dont un petit nombre seulement paraissent avoir fonctionné quelque temps comme de véritables cratères. Enfin, si l'action volcanique ne se fait plus sentir à l'époque actuelle par des effets aussi formidables, elle se trahit encore par des émanations abondantes, comme le montrent les dégagements d'acide carbonique des environs de Daun, et les sources minérales de Bertrich et de Birresborn.

Alignements des cratères de l'Eifel. — Il me reste à dire quelques mots des faits d'alignement qu'on peut saisir en étudiant la façon dont se groupent les différents cratères de l'Eifel. Mais je dois faire observer d'abord qu'on ne peut arriver, pour des points aussi rapprochés les uns des autres que le sont la plupart de ces cratères, à des résultats bien sûrs : en effet, les canaux par lesquels les matières laviques sont venues au jour peuvent être inclinés et contournés en divers sens ; la position des points d'éruption dépend donc tout d'abord de l'allure de ces canaux, et se trouve notablement influencée par leurs déviations dans un sens ou dans l'autre. Les lignes qui joignent entre eux deux ou plusieurs de ces points changeront de direction en même temps que ces points eux-mêmes seront déplacés, et elles subiront des modifications d'autant plus considérables que les points qu'elles réunissent seront à de moindres distances ; il en résulte qu'elles peuvent différer notablement comme orientation des grandes lignes de cassure auxquelles se rattachent cependant les divers cratères alignés sur elles.

On peut néanmoins saisir quelques grandes directions générales, et la plus frappante est celle dont j'ai parlé tout d'abord, celle de la bande qui renferme presque tous les volcans du Vorder-Eifel : on remarque en effet qu'une même ligne droite, orientée N. 136° à 137° E., partant du cratère du Römersberg, au sud du Pulver-Maar, va passer ensuite par le Schalkenmehrener-Maar, le Weinfelder-Maar, les petits cônes de scories de la Warth, au-dessus de Daun, l'Errensberg, le cratère de la Weisslei au-dessus de Hohenfels, et le Gosberg, près d'Hillesheim ; une ligne parallèle relie les sommets du Scharteberg, du Riemerich, ainsi que la masse de scories qui s'élève entre Steinborn et Neunkirchen, et l'espèce de cratère d'effondrement de la Pfennigs-Wiese, près de Schalkenmehren ; enfin, la même direction se retrouve autour du lac de Laach, en joignant les cratères importants du Krufter Ofen, de la Stöckers

Höhe, du Veitskopf et du Bausenberg : cette direction N. 136° E. est celle du système du Morbihan, dont on peut apercevoir la trace nettement marquée dans quelques vallées du Vorder-Eifel. A cette orientation assez nette viennent se subordonner quelques autres lignes qui formeraient, par leur réunion avec celles que je viens de citer, un système de hachures en trait de Jupiter : j'ai parlé plus haut de la ligne qui joint le Wartesberg, masse de scories qui domine les villages de Strohn et de Trautzberg, au Strohner-Maar, au Römersberg, au Pulver-Maar, et au bassin qui se trouve au nord de ce dernier ; elle est dirigée N. 164° E., et cette orientation, qui coïncide exactement avec celle du système du Ténare (N. 163° 27′ E.), se reproduit encore, avec des écarts de 4 à 5 degrés au plus d'un côté ou de l'autre, dans un assez grand nombre d'alignements, pour lesquels je renvoie à la carte ci-jointe (V. *fig.* 19) ; elle se retrouve aussi autour du lac de Laach, réunissant les cratères du Hochsimmer et du Sulzbusch, ceux du Forstberg et du Bellerberg et quelques autres.

Peut-être doit-on signaler aussi une ligne qui, joignant les centres des cratères du Hochsimmer et du Rotheberg, près le lac de Laach, va passer plus loin par ceux du Veitskopf, du Kunsköpfe et du Leidenkopf, et dont la direction est encore représentée dans le Vorder-Eifel par les lignes qui joignent le cratère du Wartersberg à ceux de Wollmerath en passant par les cirques d'effondrement d'Immerath, le lac de Meerfeld au Gemünder-Maar en passant par la Lilei et la Weberlei, et deux ou trois autres ; ces lignes se groupent autour de l'orientation moyenne N. 50° E., qui caractériserait le système ancien du Longmynd. Enfin la ligne si nette, que nous avons remarquée au Mosenberg, réunissant les cratères de ce volcan au cirque du Meerfelder-Maar, se trouve orientée N. 149° E. ; c'est une direction fort répandue dans l'Eifel : plusieurs vallées importantes, notamment celle de la Petite-Kyll, lui sont pa-

rallèles ; c'est la perpendiculaire au système du Hundsrück, dont l'orientation est à Bonn N. 59° E., et dont l'influence est si bien marquée dans les plissements de toutes les couches coblentziennes.

Il résulte de ce je viens de dire, que les volcans de l'Eifel appartiendraient au système du Ténare, dont l'âge, d'ailleurs, s'accorde bien exactement avec ce que nous avons reconnu plus haut pour l'époque des premières éruptions; mais il y aurait eu en même temps réouverture des cassures anciennes du Hundsrück et du Morbihan, et ce serait à ce dernier système qu'il faudrait attribuer la direction générale de la bande étroite sur laquelle se groupent les volcans du Vorder-Eifel. Quant aux environs du lac de Laach, il semble qu'on y retrouve plutôt les traces des systèmes du Ténare et du Longmynd, mais elles sont si peu accusées qu'il vaut mieux ne pas chercher à établir ici des rapprochements, dont l'exactitude serait par trop incertaine.

LÉGENDE EXPLICATIVE DE LA PLANCHE II.

Fig. 1. Profil des montagnes du Siebengebirge vues de Bonn.
1. Grand-OElberg.— 2. Lohrberg. — 3. Nonnenstromberg.— 4. Löwenburg. — 5. Petersberg. — 6. Wolkenburg. — 7. Drachenfels.

Fig. 2 et 3. Cristaux de sanidine du trachyte du Drachenfels.

Fig. 4. Coupe du tuf trachytique à l'entrée d'une des carrières souterraines de l'Ofenkuhlerberg.

a. Tuf avec morceaux de kaolin. | *b*. Tuf oolithique.

Fig. 5. Rose des directions des filons du Siebengebirge.
Les directions des divers systèmes de montagnes sont rapportées à la ville de Bonn (4° 40′ long. Est. — 50° 45′ lat. Nord); elles sont figurées en traits pleins, et les directions perpendiculaires en traits ponctués.

N. de l'A..	Nord de l'Angleterre.	N. 1° 34′ E.	
Vr. . . .	Vercors. . . .	8° 12′	
Rh. . . .	Rhin.	19° 35′	
A.O.. . . .	Alpes Occidentales.	27° 51′	
Lg. . . .	Longmynd. .	29° 58′	
Mt.-Sn.. . .	Mont-Seny. .	37° 35′	
C.-d'O. . .	Côte-d'Or. . .	48° 57′	
Ls.	Lisbonne. . .	55° 35′	
W-H. . . .	Westmore - land-Hundsrück.	59° 1′	
E.	Erymanthe. .	60° 16′	
S.	Sancerrois. .	67° 11′	
A.P.. . . .	Alpes principales.	73° 52′	
Fn.	Finistère. . .	77° 57′	
Tr.	Tatra	84° 39′	
P.-B. . . .	Pays-Bas. . .	84° 55′	
L.-E.	Land's-End.	87° 55′	
B.	Ballons. . . .	105° 10′	
P.	Pyrénées. . .	110° 1′	
M.	Morbihan.. .	136° 0′	
Mt.-Sr.. . . .	Mont-Serrat.	141° 27′	
Mt.-V.	Mont-Viso. .	157° 27′	
Tn.	Ténare. . . .	163° 27′	
Vd.	Vendée. . . .	163° 39′	
Fr.	Forez. . . .	166° 36′	
C.S.	Corse et Sardaigne.	177° 11′	

Fig. 6. Esquisse du Siebengebirge, d'après la carte géologique de M. H. de Dechen. Échelle de $\frac{1}{50.000}$.

1. Kleine-Rosenau.
2. Froschberg.
3. Userotts-Knippchen.
4. Jungfernhardt.
5. Bolvershahn.
6. Carrières de Kühlsbrunnen.
7. Breiberg.
8. Carrière de Steinchen.

Fig. 7. Coupe des carrières de lave et du terrain de Niedermendig.

Fig. 8 et 9. Coupes d'une carrière de trasz dans la vallée de Brohl; la coupe *fig.* 8 est parallèle et la coupe *fig.* 9 normale à l'axe de la vallée.

a. Trasz.
b. Conglomérat brun ou noir.
c. Limon jaunâtre.

Fig. 10. Coulée de lave sur la rive gauche de l'Uesbach, en amont de Bertrich.

Fig. 11. Grotte des Fromages, près de Bertrich.

Fig. 12. Filon de quartz recouvert par la lave, près de la grotte des Fromages.

S. Schistes dévoniens.
L. Lave compacte.
L'. Lave scoriacée.
F. Filon de quartz.

Fig. 13. Couches de lapilli, près de Kennfus.

a. Terre et débris de schistes.
b. Lapilli.
L. Lave compacte.

Fig. 14. Coupe d'un ravin au-dessus du Schalkenmehrener-Maar.

S. Schistes en place.
a. Lapilli et débris de schistes.
b. Lapilli fins.
c. Lapilli très-fins, agglomérés et stratifiés par lits minces et réguliers.
d. Débris de schiste et de grauwacke.
e. Conglomérat argileux avec boules de basalte.

Fig. 15. Couches de lapilli au-dessus de Hohenfels.
Fig. 16. Profil du Mosenberg, vu de Bleckhausen.
Fig. 17. Plan des cratères du Mosenberg.
Fig. 18. Cratère n° 3 du Mosenberg.
Fig. 19. Carte et alignements des volcans de l'Eifel, d'après les cartes géologiques de M. H. de Dechen. Échelle de $\frac{1}{400.000}$.

RAPPORT

SUR L'ACCIDENT SURVENU LE 19 FÉVRIER AUX FORGES DE FOURCHAMBAULT.

Par M. ICHON, ingénieur des mines.

Le triste accident dont les forges de Fourchambault ont été le théâtre le 19 février dernier, s'est produit dans des circonstances toutes particulières; pour en avoir un aperçu net nous avons été obligé de nous rendre plusieurs fois sur les lieux et d'examiner les diverses pièces de la machine à vapeur, cause première de l'accident, après son démontage.

Le 19 février, nous nous trouvions avec M. l'ingénieur en chef Pigeon à Torteron, lorsque M. Saglio, directeur des usines de Fourchambault, nous prévint qu'un accident y était arrivé dans la matinée; six ou sept personnes avaient été brûlées plus ou moins grièvement par la vapeur lors du démontage du cylindre d'une machine dont la manivelle avait été brisée le vendredi 18 au soir; on ne pensait point que la vie des personnes atteintes, sauf l'une d'elles, le plus jeune des ouvriers, fût en danger.

Nous nous rendîmes sur les lieux dans l'après-midi, et nous pûmes constater que le piston de la machine n° 1, partiellement brisé et surmonté du bouchon du cylindre reposait de travers sur le rebord supérieur de ce dernier; par l'ouverture libre il s'échappait une certaine quantité de vapeur, ce qui indiquait qu'il y avait communication avec les conduites de vapeur. Le reste de la machine était en partie désorganisé par suite du contre-coup qu'avait produit la rupture de la manivelle; il devenait probable, dès ce moment, que, soit par l'effet de ce même contre-coup,

soit d'une autre manière la fermeture des soupapes avait cessé d'être étanche et que c'était à cela même qu'il fallait attribuer l'accident.

Nous dûmes renoncer à interroger les victimes ce jour-là à cause de leur état de souffrance, espérant d'ailleurs pouvoir le faire quelques jours plus tard ; malheureusement les six personnes qui s'étaient trouvées auprès du cylindre, et parmi elles M. Griffiths, l'ingénieur très-expérimenté chargé de toutes les machines de Fourchambault, succombèrent le lendemain de l'accident, après avoir eu à supporter d'horribles souffrances.

Nous avons recueilli dans nos informations deux dires de M. Griffiths, dont l'un surtout a de l'importance pour expliquer comment les choses se sont passées. M. Griffiths aurait dit : « Je m'attendais bien à quelque chose, mais je n'aurais jamais cru trouver de la vapeur ; » et d'autre part : « Sans doute qu'une soupape aura été faussée. »

Nous allons essayer maintenant de retracer les faits tels qu'ils paraissent ressortir des renseignements que nous avons pu recueillir et de l'examen des lieux et des diverses pièces de la machine.

La machine dite n° 1 des forges de Fourchambault, machine verticale à basse pression ($0^{atm}.50$), à condensation et à balancier (élévation générale *fig.* 1, Pl. III), a été établie en 1821 ; sa force est d'environ 60 chevaux ; elle conduisait, au moment de l'accident, deux trains de laminoirs, un de puddlage et un pour gros fers, deux cisailles et quelques petites pièces, par l'intermédiaire du balancier, d'une bielle, d'une manivelle et d'un volant. Il y a six ans, la bielle et l'arbre s'étaient cassés et on avait changé à cette occasion la manivelle ; on se proposait de remplacer de nouveau cette manivelle qui s'était ovalisée lorsque, le 18 février entre six et sept heures du soir elle se brisa dans la partie annulaire qui entoure le bouton de la bielle. Le volant continua à tourner pendant un certain temps et

les soupapes à vapeur gouvernées par son arbre, par l'intermédiaire d'un engrenage et d'un excentrique (*fig.* 2 et 11) durent continuer à fonctionner jusqu'au moment où l'on interrompit la communication de mouvement au moyen de l'embrayage spécial.

Pendant ce temps le piston à vapeur qui avait probablement commencé son mouvement ascendant au moment de la rupture de la manivelle continua à monter d'autant plus rapidement qu'il n'avait plus de résistance à vaincre, et que la vitesse se trouvait encore accrue par le mouvement descendant de la bielle dont le poids est considérable. Arrivé au bout de sa course il heurta probablement le bouchon du cylindre, et il est possible que ce choc ait produit dans les deux fonds du piston les fentes suivant lesquelles ils se séparèrent au moment de l'accident.

Quoi qu'il en soit à cet égard, il est assez surprenant et aussi très-malheureux que le bouchon du cylindre n'ait pas cédé au choc, parce qu'à ce moment personne n'eût été atteint par la vapeur, et l'accident ultérieur n'eût pu avoir lieu.

Le piston étant arrivé au haut de sa course, le balancier, grâce à la vitesse acquise et à la traction exercée par le poids de la bielle, continua son mouvement, mais il eut d'abord à vaincre la résistance opposée par l'attache du piston, résistance considérable ainsi que la force de traction exercée par le balancier, du moins si l'on en juge par les effets produits.

Le premier de ces effets est la rupture de l'arbre d'attache *a* (*fig.* 1, 3 et 11) qui relie les bielles du parallélogramme articulé au bouton attaché à l'extrémité de la tige du piston ; la rupture ne s'est pas effectuée au milieu de la longueur, mais au contraire près de l'une des faces du bouton de la tige du piston. A la suite de cette rupture, les extrémités des deux fractions d'arbre engagées dans les coussinets des bielles ont continué d'être en-

traînées vers le haut et leurs extrémités brisées n'ont pu encore se dégager du bouton ; la force de traction du balancier a alors développé deux actions de bas en haut, en a_1 et a_2 et deux de haut en bas en a_3 et a_4 très-voisins l'un de l'autre, actions exercées par les fractions d'arbre sur le bouton du piston : toutes ces forces n'ont dû agir que pendant un instant et ont produit l'effet d'un choc. Le choc en a_1 et a_2 a eu pour effet la production d'une fente dans le bouton, fente qui traverse toute l'épaisseur de 7 centimètres, et a conservé une largeur d'environ 1 centimètre (*fig.* 3, 4 et 5) ; on reconnaît très-bien l'effet de ce choc par le relèvement qu'ont éprouvé les angles a'_1, a'_2, aux extrémités de la fente (*fig.* 4 et 5), relèvement plus considérable à gauche qu'à droite ainsi que toute l'action de rupture, comme nous le verrons tout à l'heure. Quant au choc en a_3, a_4, il s'est transmis par la gaîne *gg* à la tige du piston, et, agissant en dehors de l'axe, il a produit une assez forte inflexion sur cette tige encastrée à son extrémité inférieure, puisqu'à son extrémité supérieure la déviation est de $26^{mm},5$ (*fig.* 3) dans le plan perpendiculaire à celui du balancier ; cette action est encore très-nettement accusée tant par l'aplatissement des angles a_3, a_4 sur l'arbre que par l'empreinte que porte le bouton au point correspondant A.

En même temps que les deux parties de l'arbre d'attache produisaient ces effets sur le bouton et la tige du piston, ils brisaient aussi leurs coussinets dans les bielles attachées au balancier. Enfin, et toujours par l'effet du même choc, les bras du parallélogramme à la gauche de la tige du piston furent cassés, ceux situés à la droite seulement faussés (*fig.* 6, 7 et 8) ; les bielles de la pompe à air furent également faussées (*fig.* 9 et 11) ainsi que la tige de la pompe à eau chaude attachée du côté de la bielle.

Finalement la liaison entre le piston et le balancier fut complétement rompue, et ce dernier put continuer son mouvement ascendant ; il s'éleva ainsi de 40 centimètres au-dessus de sa position normale extrême et fut arrêté seulement par la grosse pièce de bois attachée à son extrémité du côté de la bielle qui, tout en se brisant partiellement, se maintint sur la charpente qui entoure le balancier. Les pièces brisées de l'attache du piston tombèrent dans les étages inférieurs lorsque le balancier continua son mouvement ascensionnel.

Ce premier accident n'a occasionné sur le moment, comme on le voit, que des dégâts matériels considérables, mais nous avons cru devoir y insister à cause de ses conséquences ultérieures.

M. Georges Griffiths vint le vendredi soir avec une équipe d'ajusteurs examiner l'état de la machine et faire provisoirement le nécessaire pour pouvoir procéder à la réparation dès le lendemain matin. De l'interrogatoire du sieur Génin, pompier, qui était venu arrêter le mouvement des soupapes après la rupture de la manivelle, il résulte que le piston était resté en haut de sa course, et nous considérons cette assertion comme exacte. On a pu croire un moment qu'il avait été soulevé par les ouvriers de M. Griffiths, et cela parce que ceux-ci l'avaient attaché dès le vendredi soir au balancier au moyen de cordes et d'une barre de fer ; il ne faut voir là qu'une mesure de précaution pour empêcher le piston de retomber dans le cylindre lorsqu'on procéderait le lendemain à l'enlèvement du bouchon. En effet, l'accident survenu le samedi montre que la pression de la vapeur sous le piston devait être parfaitement suffisante pour le maintenir au haut de sa course, et cela prouve qu'il a dû y rester.

Malheureusement on pouvait s'expliquer la position du piston d'une autre manière, et c'est sans doute là ce qu'aura fait M. Griffiths ; il paraîtrait, en effet, que la déviation de la tige faussée, ainsi que nous l'avons dit, de $2^c,65$, est parfaitement suffisante pour empêcher le piston de redescendre

par son propre poids ; cela se comprend du reste lorsqu'on songe au faible jeu de la tige dans la boîte à étoupes et lorsque l'on voit, comme le montre la *fig.* 3, qu'à 30 centimètres au-dessus de la boîte à étoupes la déviation est déjà de 4 millimètres. M. Griffiths aura certainement remarqué cette déviation et se sera expliqué ainsi la position du piston ; il ne songeait évidemment pas qu'il pût y avoir de la vapeur sous le piston et cela parce que, ayant fait essayer la fermeture des soupapes avec des leviers, elles semblèrent toutes reposer sur leurs siéges. Cela résulte également du dire que nous avons reproduit plus haut, et d'ailleurs il est évident qu'avec la grande expérience qu'avait M. Griffiths de toutes les machines qu'il connaissait dans leurs plus petits détails, il n'aurait pas fait procéder à l'ouverture du cylindre s'il avait soupçonné la présence de la vapeur.

Le samedi 19, vers 7 heures, M. Griffiths accompagné de son frère, contre-maître, vint avec cinq ajusteurs pour procéder au démontage de la machine ; il y avait en outre comme aides le graisseur et le pompier déjà nommé. La machine était dans l'état où on l'avait laissée la veille au soir ; on n'avait donc aucune raison de plus pour penser qu'il y eût de la vapeur dans le cylindre. On déboulonna le bouchon (couvercle supérieur) du cylindre et on essaya de le faire sortir au moyen de coins ; en même temps les deux aides et le sieur Penny, ajusteur, montèrent au troisième étage pour aider à l'enlèvement au moyen du treuil (*fig.* 1) ; il restait donc au second, autour du cylindre, M. Griffiths, son frère et quatre ajusteurs, en tout six personnes. Les ouvriers du troisième avaient commencé une première fois à tourner le treuil ; on leur ordonna d'arrêter, puis ils durent recommencer, mais ils eurent à peine fait un quart de tour qu'ils entendirent des cris poussés par les personnes du deuxième, et au même instant un énorme jet de vapeur vint les envelopper entièrement. Ils se sauvèrent par les fenêtres sur les toits et les conduites de vapeur ; deux d'entre eux furent brûlés à la main et au nez, le troisième n'eut rien. Quant aux six personnes du second, complétement brûlées par la vapeur et probablement par de l'eau entraînée provenant de la condensation qui s'était faite depuis la veille, elles descendirent toutes par l'escalier ; on sait déjà que malgré tous les soins qui leur furent prodigués, elles ne purent être sauvées ; il est à présumer que la vapeur aura pénétré chez elles dans les poumons, et c'est là ce qui les a perdues.

Il nous reste maintenant à expliquer la présence de la vapeur dans le cylindre, et à examiner s'il y a eu quelque négligence ou imprudence dans la façon de procéder.

En démontant le mouvement des soupapes on a reconnu que la tige *t fig.* 2, qui porte la soupape d'émission inférieure, et sur laquelle glisse une tige creuse partant de la soupape d'admission, était faussée ; comme elle est guidée près de ses deux extrémités, la déviation maximum se trouve entre les deux points fixes et on reconnaît qu'il correspond sensiblement au droit du siége de la soupape d'admission. Il en résulte que cette dernière soupape a également dû être écartée de sa position normale ; en tenant compte de la déviation de $3^{mm},5$ constatée sur la tige, et en admettant que la soupape soit restée parallèle à elle-même, on peut calculer (*fig.* 12) que la soupape laisserait une ouverture horizontale de $23^{cq},93$, différence de la surface des deux cercles de $11^{c},52$ et de $11^{c},17$ de rayon, ce qui correspond à une section étranglée d'environ $16^{cq},.50$. En réalité la soupape ne sera pas restée parallèle à elle-même, mais aura pris une position inclinée, et l'ouverture aura été moins grande ; mais les chiffres ci-dessus montrent que de toute manière il y avait une ouverture parfaitement suffisante pour établir la communication du cylindre avec les conduites à vapeur. On ne peut s'expliquer la détérioration de la tige *t* que par l'effet du choc qu'aura

produit en tombant l'une des pièces du parallélogramme articulé au moment où il s'est rompu ; elle ne peut être attribuée à un effet provenant du mécanisme qui donne le mouvement aux soupapes (*fig.* 10), parce que rien n'indique un dérangement dans ce mécanisme, et d'ailleurs il aurait produit le même effet sur les soupapes supérieures placées dans les mêmes conditions. Il serait encore possible que la tige eût été forcée quand on a essayé les soupapes, mais cela n'est pas probable.

Depuis le vendredi soir jusqu'au samedi matin la vapeur n'a donc pas cessé d'affluer dans le cylindre ; il a dû s'en condenser une assez forte quantité ; au moment où l'on a voulu soulever le bouchon la pression de la vapeur a soulevé piston et couvercle à une certaine hauteur en dehors du cylindre, et, accompagnée probablement d'une certaine quantité d'eau projetée par l'ébullition tumultueuse, elle est venue envelopper les personnes qui entouraient l'ouverture du cylindre.

Nous avons dit qu'on avait essayé le vendredi soir de fermer les soupapes à l'aide de leviers et qu'elles avaient paru reposer sur leurs siéges ; il est incontestable que la prudence conseillait de ne pas se contenter de cette preuve de la fermeture. Il nous a été dit que l'on avait procédé de la même manière un grand nombre de fois lorsqu'il s'agissait de renouveler la garniture du piston, à l'époque où elle était en chanvre ; nous pensons qu'on a été imprudent toutes les fois qu'on a procédé ainsi ; mais d'ailleurs les circonstances n'étaient pas les mêmes puisque rien n'était dérangé dans la machine lorsqu'on voulait faire ce changement, tandis que cette fois tout le parallélogramme articulé était désorganisé ; la tige du piston de 12c,5 de diamètre se trouvait faussée de 2c,5, et l'on aurait dû s'attendre à quelques désordres dans le mouvement des soupapes. Nous devons ajouter qu'on aurait pu éviter l'accident en fermant la valve d'admission de la conduite qui donne la vapeur à la machine n° 1 et à une autre machine et qu'on n'aurait pas dû hésiter à arrêter cette dernière pour pouvoir démonter la première en toute sécurité ; on aurait pu aussi remettre la réparation au lendemain dimanche où toutes les machines devaient chômer.

Il est parfaitement certain aussi que l'accident ne se serait pas produit si le cylindre de la machine avait eu un robinet purgeur ou graisseur à sa partie inférieure comme il y en a un à sa partie supérieure, et si la machine n° 1 avait eu sa valve d'admission spéciale sur la conduite de vapeur ; ce sont là des mesures de précautions élémentaires, qu'à la vérité les règlements ne prescrivent pas, mais qui devraient être appliquées partout.

Il est bien fâcheux qu'il soit besoin d'accidents aussi terribles que celui de Fourchambault pour rappeler à tout le monde la nécessité de ces mesures.

LÉGENDE

DES FIGURES 6, 7, 8 ET 9, PLANCHE III.

Fig. 6. R_1. — Rayon rompu des points fixes.
B_1. — Bras rompu du parallélogramme.
B. — Bras faussé du parallélogramme.
R. — Rayon faussé des points fixes.
Fig. 7. *a.* — Point où la déviation est maxima ; R_1 a été rompu à peu près au point correspondant.
Fig. 8. *b.* — Point où la déviation a été maxima ; R_1 a été rompu au commencement du filetage.
Fig. 9. — L'étrier a été faussé entre B et C.

RAPPORT

SUR L'ACCIDENT DU 12 MARS 1870 A L'USINE DE FIVES.

Par M. MATROT, ingénieur des mines.

Ayant été informé le dimanche 13 mars 1870, par M. le commissaire de police de Fives, que, la veille, vers dix heures du soir, deux ouvriers avaient été grièvement brûlés par une fuite de vapeur dans l'usine de la Compagnie de Fives-Lille, je me suis rendu le jour même sur le théâtre de l'accident, afin d'en rechercher les circonstances et les causes.

De l'examen des lieux et des témoignages recueillis résultent les faits suivants :

La majeure partie de la vapeur motrice nécessaire aux nombreuses machines de l'usine de Fives est fournie par un groupe de cinq générateurs tubulaires installés dans un bâtiment spécial. Un gros tuyau collecteur AB (voir le croquis Pl. IV, *fig.* 1), réunit la vapeur des cinq générateurs et la conduit d'un côté vers la forge et l'atelier d'ajustage, de l'autre côté vers l'atelier de chaudronnerie. Ce collecteur est formé d'autant de tronçons qu'il y a de générateurs. Chaque tronçon, tel que CD, porte un gros robinet G dont la tubulure est fixée au moyen d'une bride H sur le dôme I du générateur correspondant. Les robinets permettent d'établir ou d'intercepter à volonté la communication entre chaque générateur et le collecteur de vapeur.

Les divers tronçons du collecteur sont réunis les uns aux autres par de simples emboîtements rendus étanches au moyen d'étoupes serrées par des presse-étoupes K. Les deux tronçons extrêmes (LM) sont reliés par des joints ordinaires à brides aux deux conduites qui prolongent le

collecteur. Ces deux conduites présentent immédiatement un coude à angle droit, destiné à les relever à une hauteur convenable pour la traversée des cours.

Les joints à emboîtement étant justement destinés à permettre les dilatations longitudinales sont évidemment incapables de résister au moindre effort de traction exercé longitudinalement.

Supposons le collecteur rempli de vapeur à la pression normale (5 atmosphères *effectives*) et considérons en particulier le système formé par le tronçon extrême LM et la portion de conduite deux fois recourbée BQR invariablement reliée au tronçon LM par le joint à brides N. On voit facilement que les composantes longitudinales (c'est-à-dire parallèles à l'axe du collecteur), des pressions qui s'exercent sur le coude B ne sont pas détruites par d'autres et que l'ensemble de ces composantes longitudinales donne une résultante f parallèle à l'axe du collecteur, égale à la pression exercée par la vapeur sur une surface égale à la section droite de la conduite et tendant à arracher le tronçon extrême LM de l'emboîtement qui le réunit au tronçon précédent CD. La rigidité de la conduite BQR est évidemment insuffisante pour résister à la force f (f dépasse 1.500 kilogrammes). Le système ne peut donc rester en place, que s'il est maintenu par une liaison extérieure. Cette liaison extérieure indispensable est justement fournie par la tubulure du robinet S invariablement fixée sur le dôme T du générateur U.

Les robinets de prise de vapeur des divers générateurs sont tous identiques, et permettent seulement d'établir ou d'intercepter la communication entre chaque générateur et le collecteur. Ce dernier ne porte d'ailleurs, ainsi que les conduites qui le prolongent de part et d'autre, aucun autre robinet, en dehors des soupapes d'admission des diverses machines. Cette disposition est évidemment défectueuse. En cas de rupture d'un joint sur l'une des conduites, il faut

fermer les robinets de vapeur de tous les générateurs, et par conséquent arrêter les deux ateliers. Afin d'éviter cet inconvénient, on avait résolu de remplacer les robinets de prise de vapeur des deux générateurs extrêmes par des robinets à trois voies, permettant au besoin d'intercepter la communication avec l'une des conduites, tout en laissant le collecteur et l'autre conduite en communication avec les générateurs. L'un de ces nouveaux robinets étant prêt, il fut décidé qu'on profiterait du chômage du dimanche 13 pour le mettre en place. Pour cela, il fallait démonter le tronçon LM du collecteur, ce qui exigeait évidemment que le générateur correspondant (U) fût froid, et que de plus le collecteur fût vide de vapeur, par conséquent que toutes les prises de vapeur sur les générateurs fussent fermées.

Quatre hommes avaient été commandés pour faire le travail de changement de robinet : MM. Marchand, chef d'équipe, Lefebvre, Dujardin et Blamart, ajusteurs chaudronniers. Le travail devait être commencé le samedi 12, à huit heures du soir.

Toute la brigade était en effet rentrée à l'usine à l'heure indiquée. A ce moment le générateur U était froid, la forge et l'atelier de chaudronnerie étaient arrêtés, mais la machine de l'atelier d'ajustage tournait encore pour terminer une pièce très-pressée. Marchand et ses hommes durent par suite attendre avant de commencer leur travail. A dix heures, la machine de l'ajustage n'était pas encore arrêtée. Marchand, pour gagner du temps, donna à Lefebvre l'ordre d'ôter les écrous des boulons de la tubulure du robinet à changer, afin de prendre l'écartement de ces boulons, et de marquer immédiatement sur la tubulure du nouveau robinet, la position des trous à percer. De cette manière on aurait pu percer ces trous sans attendre que la machine fût arrêtée, et avancer d'autant le travail. Dans la pensée de Marchand, il ne s'agissait que d'ôter les *écrous* sans toucher aux *boulons* ; cette opération ne pouvait évidemment détruire la liaison nécessaire pour maintenir en place le dernier tronçon du collecteur.

Malheureusement Lefebvre et ses deux compagnons voulurent pour plus de précision, prendre l'écartement non pas des *boulons*, mais des *trous*. Pour cela, ils enfoncèrent les boulons. Le dernier tronçon LM du collecteur resta néanmoins en place, maintenu par la garniture du dôme, dans laquelle la bride de la tubulure se trouvait emboîtée. Mais les trois ouvriers voulurent dégager complétement cette bride, afin de pouvoir faire passer derrière une plaque de tôle sur laquelle ils auraient marqué la position des trous. Deux d'entre eux, Lefebvre et Blamart, prirent des leviers et se mirent à agir sur le robinet, pendant que le troisième, Dujardin, les éclairait avec une lampe. Dès que la bride du robinet fut dégagée, le tuyau vertical cédant à la pression fléchit en emportant avec lui le tronçon LM du collecteur, comme l'indique le tracé ponctué sur la figure. Le collecteur se trouvant ainsi directement ouvert dans l'atmosphère par l'extrémité D du tronçon CD, lança un véritable torrent de vapeur sur les malheureux Dujardin et Blamart, qui se trouvaient justement en face. Lefebvre placé immédiatement à côté de l'embouchure ouverte du collecteur fut préservé grâce à sa position et ne reçut qu'une brûlure insignifiante à la joue. Le chauffeur s'empressa de fermer le robinet du générateur V, le seul qui fût en pression. Puis on releva les deux blessés et on les transporta immédiatement à l'hôpital Saint-Sauveur (*).

Quelques instants avant l'accident, Marchand était allé à l'atelier d'ajustage pour s'informer du temps pendant lequel la machine tournerait encore. C'est pendant son absence que Lefebvre et ses deux compagnons enfoncèrent

(*) L'état des deux blessés est aujourd'hui (22 mars) aussi satisfaisant que possible, et tout porte à penser qu'ils seront prochainement rétablis.

les boulons et dégagèrent la bride de la tubulure du robinet. Marchand venait à peine de rentrer dans la salle des générateurs quand l'accident s'est produit.

D'après ses propres déclarations, Marchand se rendait parfaitement compte des conséquences que devait nécessairement entraîner l'enlèvement des boulons de la bride du robinet S. Mais, au moment où il a donné à Lefebvre l'ordre d'ôter les écrous, il n'a pas songé, assure-t-il, que les trois ouvriers seraient assez imprudents pour ôter aussi les boulons.

Lefebvre reconnaît parfaitement que Marchand lui a donné l'ordre d'ôter les *écrous* et de prendre l'écartement des *boulons* (et non pas des *trous*). Il ajoute qu'il connaissait parfaitement le mode d'assemblage des diverses parties du collecteur de vapeur, et qu'il s'est très-bien rendu compte, après l'accident, de tout ce qui s'était passé. Mais, au moment où il s'est mis avec ses deux malheureux camarades à dégager la bride du robinet, il ne se doutait pas, assure-t-il, qu'il commettait une imprudence.

Les deux blessés, Blamart et Dujardin, connaissaient-ils bien exactement le mode d'assemblage des divers tronçons du collecteur, et étaient-ils en état de prévoir les conséquences de l'enlèvement des boulons, en d'autres termes étaient-ils capables de comprendre ou plutôt de se faire à eux-mêmes la petite théorie ci-dessus exposée? C'est ce que je ne saurais dire avec une complète certitude. Bien que j'aie attendu huit jours avant de les interroger, je n'ai pu les questionner qu'avec beaucoup de ménagements, et je n'ai pu réussir à obtenir d'eux que des réponses assez peu précises. Je crois cependant que Blamart et Dujardin ne connaissaient que très-imparfaitement le mode d'assemblage des diverses pièces du collecteur, et qu'ils n'étaient pas en état de prévoir le danger auquel ils s'exposaient en enlevant les boulons et en dégageant la bride du robinet.

Quoi qu'il en soit, il est incontestablement très-regrettable que Marchand, en donnant l'ordre d'ôter les écrous, n'y ait pas ajouté la recommandation expresse de ne pas toucher aux boulons. En négligeant de le faire, Marchand s'est rendu coupable d'une certaine imprévoyance. Cependant, comme les ouvriers placés sous sa direction étaient des ouvriers spéciaux, expérimentés, habitués à travailler dans la salle où l'accident s'est produit, cette imprévoyance me semble excusable, et je ne pense pas qu'elle puisse motiver contre lui des poursuites correctionnelles.

Quant à Lefebvre, je ne crois pas non plus qu'il puisse être poursuivi. A la vérité, il reconnaît lui-même son imprudence, mais il n'avait aucune autorité sur ses deux compagnons et d'ailleurs, s'il n'a pas été atteint comme eux, il le doit exclusivement à cette circonstance fortuite, qu'il se trouvait à côté et non pas en face de l'ouverture par laquelle la vapeur s'est échappée.

OBSERVATIONS

Sur les deux accidents de Fourchambault et de Fives-Lille, présentées au nom de la commission centrale des machines à vapeur.

Par M. **CALLON**, ingénieur en chef des mines, rapporteur de la commission.

La commission centrale des machines à vapeur, à laquelle ont été soumis les deux rapports sur le terrible accident de Fourchambault, et sur celui de Fives-Lille, a émis l'avis qu'ils fussent insérés ensemble dans les *Annales des mines* et dans celles des *Ponts et chaussées*.

Bien que les circonstances dans lesquelles ces accidents se sont produits semblent assez différentes au premier abord, et qu'ils soient loin d'avoir présenté la même gra-

vité, la commission a pensé qu'ils pouvaient donner lieu, quand on remontait à la cause qui les a déterminés, à des rapprochements sur lesquels il ne paraissait pas inutile d'appeler l'attention. Dans l'un comme dans l'autre cas, il s'agit d'une capacité fermée, en communication avec un générateur, dans lequel il se produisait de la vapeur à une pression plus ou moins supérieure à la pression atmosphérique ; de quelque manière plus ou moins directe et apparente que fût établie la communication, il suffisait qu'elle existât assez largement ouverte, pour que la capacité fût nécessairement remplie, soit de vapeur seule, soit d'eau condensée et de vapeur, à une température et par conséquent à une pression égales ou presque égales à celles de la chaudière même.

Rendre mobile par une manœuvre quelconque une partie des parois de cette capacité, c'était en quelque sorte produire le même effet que si l'on avait détaché une étendue égale de la paroi d'une chaudière en pression.

De là, les effets mécaniques observés dans les deux accidents qui nous occupent.

Ces effets ont été plus puissants et plus désastreux avec la machine à basse pression de Fourchambault, qu'avec les appareils à haute pression de Fives-Lille.

L'excès de puissance tient à la grandeur de la paroi, qu'une fausse manœuvre a brusquement rendue libre.

La gravité plus grande de l'accident, au point de vue des personnes, tient à la même cause et sans doute aussi au long temps qui s'est écoulé entre la rupture de la machine et le commencement de la réparation ; temps qui pouvait paraître au contraire un motif de sécurité.

Pendant tout ce temps la chaudière continuant d'être en activité pour faire marcher d'autres ateliers, la vapeur n'a pas cessé d'affluer et de se condenser dans le cylindre de la machine. Lorsqu'on a voulu lever le couvercle de celui-ci, il a été projeté par la détente de la vapeur, l'eau est

entrée subitement en ébullition tumultueuse, et les ouvriers qui opéraient cette manœuvre imprudente ont été, non-seulement brûlés par un jet de vapeur, mais encore et surtout aspergés par une abondante pluie d'eau bouillante. Aussi tous, sans exception, ont-ils succombé à leurs brûlures.

En principe, une capacité fermée quelconque, qui communique d'une manière suffisamment facile avec un générateur, est nécessairement à une pression, et par conséquent à une température sensiblement égales à celles du générateur, toute différence de pression entraînant un afflux et une condensation de vapeur jusqu'au rétablissement de l'équilibre ; le générateur étant, bien entendu, supposé avoir une puissance de vaporisation largement suffisante, pour compenser l'effet des pertes de chaleur de la capacité dont il s'agit.

En pareille circonstance, l'intérieur d'une semblable capacité ne peut impunément être mise en relation brusque avec l'atmosphère, sans certaines précautions.

On ne peut d'abord le faire qu'après avoir fermé la communication avec le générateur, et s'être bien assuré que la fermeture est complète.

Il faut en outre s'assurer que la température dans l'intérieur de la capacité est descendue au-dessous de 100°, ou bien évacuer l'eau et la vapeur par un robinet de purge.

C'est alors seulement qu'il doit être permis de déboulonner un couvercle, ou de faire toute autre manœuvre rendant libre une partie des parois de la capacité dont il s'agit.

NOTE

SUR UN TRÈS-GRAVE ACCIDENT, PAR ASPHYXIE, ARRIVÉ DANS LES HOUILLÈRES DE BULLY-GRENAY (PAS-DE-CALAIS).

Dans la nuit du 17 au 18 novembre 1869, à la suite d'un incendie qui s'était déclaré dans les travaux, la fosse n° 1 de la concession houillère de Bully-Grenay (Pas-de-Calais) a été le théâtre d'un très-grave accident par asphyxie, qui a coûté la vie à dix-neuf victimes, parmi lesquelles l'ingénieur de la mine ; le récit des circonstances de l'accident et du sauvetage doit être précédé d'une description succincte des travaux de ladite fosse n° 1.

Le puits d'extraction sert à l'exploitation, — par le *travers-bancs* RB ou *bowette* sud d'un niveau de 244 mètres, de deux veines principales, celle Saint-Alexis et celle Saint-Constant (Pl. IV, *fig.* 5).

La veine Saint-Constant est exploitée en aval-pendage de la voie de fond de 244 mètres, jusqu'à une fouille importante, qui limite en profondeur ces travaux, dits de la Vallée. Pour le service du plan incliné CDE, une machine à vapeur M est installée au sommet, dans une chambre particulière. L'air frais, qui descend par le compartiment des cages du puits, se divise, au sortir de la bowette, pour traverser, d'une part, la descenderie à chevaux BL et la voie horizontale LD, d'autre part, la voie de fond BC et le plan incliné CDE. Mais le courant BC obéit surtout à l'appel de tuyaux de ventilation *ab* ouverts dans la chambre de la chaudière, pour alimenter le feu et rafraîchir l'atmosphère ;

il tombe ainsi directement à l'entrée de la galerie GGG, dans laquelle se rend, en sens inverse, l'air qui a fait le tour des travaux. Cette galerie reçoit également la cheminée en maçonnerie *mno* du foyer, qui se détourne aussitôt et se prolonge, suivant la direction *op*, par une série *op* de buses ou tubes en tôle, dont la bouche verse, à quelque distance, dans la circulation générale, les fumées refroidies au contact de l'air ambiant. Un ancien plan incliné HI, servant au retour de l'air et des fumées, les conduit ensuite jusqu'à une bowette abandonnée au niveau de 200 mètres, qui va déboucher dans un compartiment *a* (*fig.* 6) du puits d'extraction (petit *goyot*).

Les travaux de la veine Saint-Alexis reçoivent l'air par la voie de fond RQ, qui part de la bowette BR, du niveau de 244 mètres, et le ramènent à une ancienne voie de fond de Saint-Constant, au niveau de 200 mètres, en communication avec le compartiment *b* (*fig.* 6) des échelles du puits (grand *goyot*).

Ce petit et ce grand *goyot* sont, par deux canaux *ac* et *bc*, reliés avec une galerie horizontale *cd*, située à la profondeur de 18 mètres, à l'extrémité de laquelle agit un ventilateur Fabry. Une porte P, placée sur le courant qui provient du petit *goyot*, permet d'intercepter l'appel des fumées.

Dans la soirée du 17 novembre, le porion Cazin, pénétrant dans la galerie de retour d'air GGG (*fig.* 5), aperçut, au débouché *p* du tuyau des fumées, des cadres de boisage en feu. Immédiatement au delà, un éboulement *q* obstruait en partie ladite galerie GGG. Cazin appelle des ouvriers occupés dans les environs et forme, avec eux, une chaîne pour jeter des seaux d'eau sur ces cadres embrasés. Il fait demander une pompe et prévenir le maître-porion Maréchal, ainsi que l'ingénieur de la mine, M. Deladrière.

Cazin avait réussi à éteindre le feu des premiers boisages; mais on entendait encore le grondement de l'incendie, qui

persistait au milieu de l'éboulement et peut-être au delà. Maréchal fils, second maître-porion, envoyé en avant par son père, fait alors déblayer une ancienne cheminée X, recoupée par la galerie GG, afin de jeter des seaux d'eau sur les bois voisins, du haut de la cheminée. La fumée était épaisse; mais la flamme n'avait pas encore gagné ce point de la galerie. En ce moment, survient M. Deladrière, qui approuve le travail et continue de faire jeter des seaux d'eau, en attendant l'arrivée de la pompe. Il pénètre ensuite dans ladite galerie GG, jusque vers le milieu des buses *op*; mais, ayant reconnu à l'intensité du courant les progrès de l'incendie, il revient vers les puits hâter le transport de la pompe. Tandis qu'on la retire de la cage pour la placer sur un wagon-truck, M. Deladrière dit au maître-porion Maréchal « qu'il y a trop d'air » et que, pour éteindre au plus vite l'incendie, sans enrayer le poste du matin, il faut faire « cerner l'air » (c'est-à-dire poser un barrage provisoire) sur le trajet des fumées. Maréchal lui fait observer que l'opération est actuellement impraticable et que, d'ailleurs, le courant arrêté, ces fumées viendront incommoder les ouvriers employés à la manœuvre de la pompe. L'ingénieur, persistant dans son idée, demande un homme et lui donne l'ordre d'aller fermer la porte P (*fig.* 6), dans la galerie de 18 mètres, et de faire ralentir la marche du ventilateur, afin de suspendre tout appel dans le petit *goyot a* servant au retour des fumées. L'ouvrier obéit, remonte au jour, fait arrêter le ventilateur deux ou trois minutes, pour pénétrer avec une lampe jusqu'à la porte P, la ferme; mais, à demi suffoqué par la fumée, il ne parvient qu'avec effort à gravir les échelles du puits spécial Q, par lequel il était descendu dans la galerie *cd*.

A peine la porte était-elle fermée, que les fumées refluent, par la cheminée X (*fig.* 5), sur la voie de fond BC de Saint-Constant, où la pompe venait d'arriver. Hommes et enfants reculent aussitôt et cherchent à gagner le puits par la

bowette BR. Le maître-porion Maréchal s'écrie qu'il « va rouvrir la porte » et court vers l'accrochage. Quant à M. Deladrière, il se dirige de suite vers la vallée de Saint-Constant, en disant : « il faut faire remonter tout le monde ». Suivi de Maréchal fils, il s'engage jusqu'au fond du plan incliné CDE, en ramène un ouvrier et, malgré les fumées qui déjà descendent à sa rencontre, passe sur la voie DF pour explorer les tailles du levant, où il ne trouve personne; le porion Cazin fait. de son côté, remonter les hommes et les enfants, qu'il était allé prévenir, par ordre de l'ingénieur, dans les travaux extrêmes de la vallée. Ils arrivent les uns après les autres; les porions et l'ouvrier Frelin, encouragés par M. Deladrière, qui, de retour de son excursion au levant, donnait les signes d'une forte oppression, s'avancent plusieurs fois à l'entrée de la descenderie DE pour attirer des enfants, plus ou moins étourdis, sur la voie DL, où l'air est moins irrespirable. Une jeune fille avait déjà succombé; on la mit dans une berline, qui fut retrouvée plus tard au pied de la descenderie BL, où des ouvriers l'avaient poussée en se sauvant. M. Deladrière, dont les forces trahissaient de plus en plus le dévouement, crie au porion : « courage, Cazin; je te récompenserai; sauve-les; » puis il se dirige en chancelant, avec Maréchal fils, vers le bas de la descenderie à chevaux BL. Celui-ci se rappelle avoir vu M. Deladrière s'accroupir en L, la tête dans les mains, et, malgré ses exhortations, cédant à la fatigue (peut-être au désespoir), refuser d'avancer. Dès ce moment, Maréchal n'avait plus lui-même conscience de ses actes, et il ne sait comment il est arrivé à l'accrochage, où il fut retrouvé.

Cependant Cazin et Frelin, restés seuls, retirent du haut du plan incliné DE le cadavre d'un ouvrier, celui même que M. Deladrière avait vainement prévenu et ramené du bas avec lui. Puis, sentant l asphyxie les gagner, ils se dirigent à leur tour vers la descenderie BL; les fumées arrivent vers eux en sens contraire; leurs lampes s'éteignent;

ils tombent. Le porion Cazin peut seul se relever encore et atteindre la descenderie, qu'il parvient à remonter sur les genoux; il se traîne dans la bowette et va s'évanouir à 50 mètres environ de l'accrochage; c'est là qu'il fut recueilli et sauvé.

Le maître-porion Maréchal père s'était hâté de courir vers le puits, pour faire rouvrir la porte P. Malgré les fumées qui le devancent dans la bowette, il réussit à atteindre l'accrochage, où il rencontre un ouvrier qui soutenait deux enfants. Il en prend un et tous s'élancent dans la cage, qui se trouvait heureusement en arrêt. Le signal donné, la cage s'élève au milieu des fumées qui éteignent les lampes. Arrivé à la recette, le maître-porion ordonne de rouvrir la porte et de faire marcher rapidement le ventilateur. Puis, cet ordre exécuté, il demande deux hommes de bonne volonté et redescend avec eux; il était environ une heure du matin.

A l'accrochage, le maître-porion voit un homme prêt à tomber dans le puits et, sans reconnaître que c'est son fils, le met en sûreté. Il trouve ensuite, tant dans l'accrochage que sur la première partie de la bowette, des ouvriers et des enfants couchés la face contre terre; rencontre le porion Cazin, qui se traînait sur les genoux, et arrive jusques auprès de la pompe, dans la voie de Saint-Constant BC; revient vers l'accrochage, reconnaît enfin le fils qu'il cherchait et le met évanoui dans la cage, où avaient déjà pris place, avec les deux autres sauveteurs, quatre ouvriers encore assez valides qu'ils venaient d'y faire entrer. Épuisé, le maître-porion Maréchal, qui était souffrant depuis quelques jours, rentre chez lui.

L'ouvrier Dilly redescend courageusement tout seul, porte dans la cage quatre ouvriers assez malades et remonte avec eux. Épuisé à son tour, il dit aux ouvriers accourus autour du puits : « descendez, il fait meilleur maintenant. » Trois lui succèdent, en effet, et envoient à la

surface plusieurs cages chargées de cadavres ou d'hommes et d'enfants à moitié asphyxiés. Deux autres sauveteurs les rejoignent; les cinq se partagent l'exploration des travaux, les uns dans la veine Saint-Alexis, les autres dans la veine Saint-Constant. Ces derniers, après avoir visité la région de l'incendie, parcouru les tailles de la vallée et celles du levant F, découvrent au retour M. Deladrière, agenouillé au bas de la descenderie BL, la face appuyée sur une plaque de fonte. Ils croient l'avoir entendu râler; mais déjà cette longue course, dans un air encore très-impur, les avait en partie asphyxiés; ils gravissent avec peine ce plan incliné BL et tombent évanouis à leur arrivée dans la bowette. Revenus à eux, ils renvoient les ouvriers présents au bas de la descenderie; mais M. Deladrière ne donnait plus signe de vie; un jeune enfant, qui gisait à quelque distance de l'ingénieur et du corps de l'ouvrier Frelin (dont nous avons vu plus haut le dévouement et la mort), fut seul sauvé.

On procéda à la levée des cadavres, au nombre de treize.

Un appel fait, à trois heures du matin par le sous-ingénieur, révéla encore l'absence de six ouvriers appartenant à l'exploitation de Saint-Constant. On les découvrit enfin en sondant le puisard du fond de la fosse, où ils avaient trouvé la mort.

Dans les travaux de la veine Saint-Alexis, tous les ouvriers avaient été avertis à temps par le porion, dès qu'il sentit la première odeur des fumées, ou par les sauveteurs; à part un homme et deux enfants, qui tombèrent suffoqués, tous remontèrent sains et saufs.

L'incendie qui s'était déclaré, le 17, dans la galerie GGG, s'explique par le service exceptionnel auquel la machine devait suffire, à raison du développement du travail journalier pendant la quinzaine qui précède la Sainte-Barbe. Le feu de la chaudière étant poussé plus activement, les fumées étaient plus chaudes et plus chargées d'étincelles; d'autre part, les tuyaux et les bois secs de la galerie étaient tapissés de suie.

Pour maîtriser le feu, il fallut barrer les cheminées X et Y, construire un troisième barrage à l'origine de la galerie GGG, boucher les tuyaux de ventilation de la chambre de la chaudière *m*, fermer le foyer, après avoir arrosé d'eau les parois de la chambre. Mais, cela ne suffisant pas pour intercepter tout appel d'air, on établit un barrage soigné dans la bowette sud BR du niveau de 244 mètres et on condamna diverses recoupes, aboutissant à d'anciens travaux dont les remblais pouvaient être perméables.

Sans insister davantage sur l'origine de l'incendie et sur les moyens employés pour le combattre, on doit reconnaître, avec les ingénieurs des mines, que la catastrophe qui a fait tant de victimes tient à une seule cause, la fermeture de la porte P. L'arrêt brusque du courant a produit l'effet d'un coup de bélier, rejetant les fumées, par la cheminée X, vers la bowette et dans la descenderie. Peut-être contenaient-elles un peu d'oxyde de carbone, dont l'action délétère a déterminé la prompte asphyxie des premières victimes. D'un autre côté (c'est un fait bien observé par les ouvriers qui se trouvaient à l'accrochage), les fumées qui avaient filtré à travers les joints de la cloison du petit goyot, descendaient déjà du puits même, avant que le grand nuage venant de la bowette fût arrivé sur eux. Pendant quelques minutes, l'atmosphère à l'accrochage se chargea, des deux côtés, de gaz délétères. On s'explique ainsi la chute, dans le puisard, des six victimes qui s'y sont noyées.

Aussitôt que la porte P eût été rouverte et la marche du ventilateur accélérée, l'air frais dilua les fumées, à l'accrochage et dans la bowette, assez rapidement pour laisser pénétrer le maître-porion Maréchal jusqu'à la voie de fond BC de Saint-Constant. Mais le retour des fumées, ramenées à l'intérieur après le rétablissement de l'appel d'air, a peut-être

achevé d'asphyxier, au pied de la descenderie, l'ouvrier Frelin et M. Deladrière, tandis que le porion Cazin, plus rapproché de l'accrochage, où l'air arrivait en abondance, est revenu de son évanouissement. C'est aussi au moment de la reprise du courant qu'une partie des fumées a pu être entraînée, par l'action du ventilateur sur l'air du grand goyot, dans la voie de fond RQ de Saint-Alexis, qu'avait heureusement préservée jusqu'alors le défaut de circulation. En effet, les sauveteurs sont arrivés dans ces travaux à temps pour constater, avec le porion, les premiers symptômes d'asphyxie et prévenir ainsi tout danger.

On a peine à s'expliquer comment M. Deladrière, au lieu d'intercepter par en bas le courant qui alimentait l'incendie, en exécutant des barrages aux abords de la galerie GGG, de manière à ménager l'issue des gaz délétères vers le jour, a positivement donné l'ordre de le supprimer par le haut, malgré la crainte exprimée par le maître-porion de faire refluer les fumées dans la mine. Si Maréchal père n'avait eu la présence d'esprit de remonter immédiatement au jour, pour réparer cette fausse manœuvre et rouvrir la porte P (*fig.* 6), aucun des ouvriers de la fosse n'en serait sorti vivant. Il convient d'insister sur l'heureuse initiative qu'a prise l'auteur de cette mesure, aussi rationnelle qu'efficace, en même temps que sur l'importance du résultat qu'elle a procuré.

M. Deladrière, qui n'a pas tardé à reconnaître son erreur, l'a rachetée par le courage avec lequel il a rempli son devoir jusqu'au bout : il est mort à son poste, et sa présence sur le lieu du danger a soutenu, sans aucun doute, les efforts des sauveteurs et contribué par là à diminuer le nombre des victimes.

NOTE

SUR UN ÉBOULEMENT ARRIVÉ DANS LE PUITS NOTRE-DAME DE LA CONCESSION HOUILLÈRE D'ANICHE (NORD).

Le 27 juillet 1869, onze ouvriers ont péri victimes d'un éboulement, dans la fosse Notre-Dame de la concession houillère d'Aniche (Nord), où s'effectuait une réparation de la maçonnerie du puits.

Cette maçonnerie avait été enlevée, entre deux *roulisses* AB et CD, sur une hauteur de 4 mètres et une largeur de 2 mètres, de manière à découvrir un banc de roches argileuses, connues dans le pays sous le nom de *dièves*. Elle était déjà rétablie jusqu'au tiers à partir de la base, lorsqu'on fut obligé d'interrompre le travail, pour procéder à l'épuisement des eaux qui s'étaient accumulées, durant deux jours, dans le puisard, et menaçaient d'inonder les galeries de l'étage inférieur. Mais, avant d'épuiser les eaux, il fallait étançonner le rocher mis à nu sur $2^{m},50$ de hauteur. Les étais, posés par des ouvriers qui avaient déjà exécuté des travaux analogues, consistaient (Pl. IV, *fig.* 2) dans un système de croisures horizontales EF, formées chacune de trois pièces de bois assemblées *a*, *b*, *c*, à section circulaire, mesurant $0^{m},10$ ou $0^{m},15$ de diamètre, derrière lesquelles on glissa des planches verticales GH, larges de $0^{m},20$ environ, épaisses de $0^{m},04$ ou $0^{m},05$. Derrière ces planches, on introduisit encore d'autres morceaux de bois pour servir de coins. La roulisse supérieure avait été enlevée sur la largeur de la maçonnerie à rétablir. Trois croisures, étagées

sur la hauteur de la roche, en supportaient la poussée et s'appuyaient, par l'extrémité libre de leurs pièces latérales, contre les deux sections verticales M et N de la maçonnerie conservée. Cette disposition, conforme aux règles de l'art des mines, est usitée dans les travaux de réparation ou de fonçage des fosses, et donne habituellement de bons résultats.

A deux reprises, au cours de l'épuisement, le maître-porion visita l'excavation formée dans la maçonnerie, examina l'aspect de la roche, sonda même une première fois le terrain et ne constata aucun indice alarmant. Mais la cohésion de la roche n'était qu'apparente. Les eaux d'infiltration avaient agi lentement, depuis la veille, et détaché sur la paroi, par une fissure verticale, une plaque de *dièves* de la masse du terrain. Restée inaperçue, le 26 juillet au soir et le 27 au matin, cette fissure s'élargit, à mesure que le terrain se gonflait par l'effet de l'humidité; et, vers le milieu de la journée, le boisage provisoire supportait seul l'effort de cette plaque de *dièves*, dont la chute était ainsi devenue imminente.

Par une déplorable fatalité, c'est au moment où la dernière cage d'ouvriers, venant de quitter l'accrochage inférieur, commençait à s'élever dans le puits, que l'éboulement eut lieu. Le poids de la plaque de *dièves*, dont le volume mesurait environ 1 mètre cube, rompit les croisures; elle entraîna les pièces de bois disjointes et la plus grande partie de la maçonnerie fraîche montée sur la roulisse inférieure, rencontra d'abord un sommier transversal de $0^m,30$ d'équarrissage (qu'elle précipita dans le puisard, brisé en deux morceaux) et s'abattit enfin sur la cage, après être tombée d'une hauteur de 147 mètres.

L'appareil était muni d'un parachute Fontaine. La barre d'attelage, de force à supporter une charge de 30.000 kilogrammes, céda sous l'effort transversal subitement exercé d'un seul côté; la cage fut renversée par le choc.

Cette brusque inclinaison découvrant, au-dessous des ouvriers, un espace vide de $1^m,20$ entre la barre de protection et le fond de la cage, où ils s'étaient accroupis, tous furent jetés du même coup, à travers cet espace vide, au fond du puits. La cage à son tour s'abîma sur ces malheureux, qui étaient au nombre de douze; seul, un enfant de quatorze ans n'éprouva que de légères blessures; on put le retirer immédiatement à l'aide d'une perche; parmi les onze victimes, dix avaient le crâne fracturé.

Ce terrible accident fut l'objet de constatations minutieuses; mais, après l'entière destruction du boisage, elles ne prouvèrent pas autre chose que l'impossibilité d'en vérifier le défaut. Il donna l'occasion de déterminer les conditions de solidité des croisures et d'observer que, si celles-ci sont formées de pièces appuyées l'une sur l'autre par leurs extrémités, les joints x et y (*fig.* 3), pour résister aux pressions normales, doivent être dirigés vers le centre du puits; mais que, si les pièces latérales a et c pénètrent, pour former l'assemblage, dans le corps de la pièce moyenne b (*fig.* 4), le joint x de l'entaille qui y est pratiquée doit former, avec sa face xy ou plutôt avec son arête interne, quand elle est circulaire, un angle aigu; sans quoi, ce joint n'opposerait aucune résistance au glissement, lorsque, sous l'influence des pressions normales, les pièces de côté tendraient à pivoter autour de leurs extrémités libres appuyées contre la maçonnerie.

On a dû toutefois reconnaître que ces assemblages, s'ils eussent été défectueux, n'auraient pas même résisté à l'effort produit par la chasse des coins; or les ouvriers estimaient leurs croisures d'autant plus solides qu'elles étaient plus serrées. On ne saurait, d'ailleurs, apprécier exactement le degré de résistance qu'opposerait un appareil construit sur ce modèle, à des pressions obliques exercées, par suite d'un glissement intérieur du terrain, tant sur le boisage que sur les bords de la maçonnerie servant de

points d'appui : dans l'accident d'Aniche, ces bords eux-mêmes ont été dégradés par la chute des *dièves*.

Le seul enseignement à tirer de cette douloureuse expérience, c'est que les travaux provisoires d'étançonnage ne présentent jamais une complète sécurité et qu'en conséquence, s'il n'y a aucun moyen de soustraire absolument les ouvriers à un danger de chute, dans le cas du fonçage d'un puits, il faut bien se garder de les y exposer, toutes les fois qu'une autre voie de circulation leur est ouverte : dans l'espèce, la descente ou la remonte pouvant avoir lieu par un compartiment séparé et muni d'échelles, il est regrettable qu'on ait cédé au désir des ouvriers de s'épargner de la fatigue.

MÉMOIRE

SUR LA RECHERCHE ET L'EXPLOITATION DU PÉTROLE EN GALICIE.

Par M. Émile HEURTEAU, ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

Orographie générale. — On comprend généralement sous le nom de Karpathes, la puissante formation de montagnes qui borde la Hongrie au nord, à l'est et au sud-est, et qui la sépare de la Silésie, de la Galicie, de la Moldavie et de la Valachie. Ce long circuit forme, en quelque sorte, les trois côtés d'un trapèze, dont les deux bases sont : au nord-ouest, sur la frontière de Silésie et de Moravie, la masse montagneuse qui sépare la vallée de l'Oder de celle de la Waag; au sud-est, la haute chaîne des Alpes transylvaniennes, qui courent du sud-ouest au nord-est entre la Transylvanie et la Valachie, et que franchit l'Aluta aux défilés fameux du Rothen-Thurm. Ces deux bases sont reliées entre elles par la longue chaîne convexe qui s'étend du nord-est au sud-est, et qui sépare la Hongrie et la Transylvanie de la Galicie et de la Moldavie. Au sud de cette chaîne, à l'intérieur de cette vaste enceinte, s'élèvent de puissants massifs éruptifs et métallifères; ce sont, au nord-ouest le Tatra, puis les massifs éruptifs de basse Hongrie et du district de Nagy-Banya, enfin les hauts plateaux de Transylvanie qui s'appuient à l'ouest sur les puissantes masses granitiques de Nagyag. Sur le versant extérieur, au contraire, on descend doucement vers les plaines miocènes de Galicie et de Moldavie par une série de plissements parallèles, échelonnés depuis la frontière silésienne jusqu'à

la frontière valaque, dirigés uniformément du nord-ouest au sud-est, et que traversent perpendiculairement à leur direction les larges vallées qu'arrosent les affluents du Dniester et du Pruth.

Sur ce versant extérieur, aux pieds des derniers relèvements, sont alignés sur un long développement les sources salées et les gisements de sel gemme, connus et exploités depuis longtemps en Galicie, en Bukovine et en Moldavie. Ils s'étendent depuis Wieliska et Bochnia aux environs de Cracovie, en suivant le pied des Karpathes, jusqu'à Okna et Télega en Moldavie et en Valachie.

Des travaux entrepris depuis peu d'années, et qui ont pris aujourd'hui un grand développement, ont amené la découverte de nombreux gîtes de pétrole disposés comme les gisements de sel tout le long de cette chaîne, sur les crêtes des derniers plissements, ou aux pieds des dernières assises des Karpathes, tant en Galicie qu'en Bukowine, en Moldavie et en Valachie. L'étude de ces gisements présente un intérêt considérable aussi bien au point de vue économique qu'au point de vue géologique ; elle est aujourd'hui peu avancée.

Un mémoire de M. Coquand inséré au *Bulletin de la Société géologique de France* (t. XXIV, 2e série, 1867) a fait connaître les gisements de pétrole de Moldavie et de Valachie. Quant à ceux de Galicie, ils sont peu connus en France et même en Autriche. Plusieurs mémoires (*) insérés au Jahrbüch de l'Institut géologique de Vienne, décrivent quelques points particuliers de la chaîne; mais un travail d'ensemble, une étude générale sur la nature, la disposition, la richesse des gisements de pétrole est encore à faire.

(*) Voir les travaux de MM. Fœtterlé, *Jahrbuch der K. K. Geologischen Reichsanstalt*, 1859. — N. Hochstetter, *Id.* 1865. — Posepny, *Id.* 1865. — Jicinsky, *Berg-und-Hüttenwesen Zeitung*, 1865. N° 36-37. — Posepny, *Id.* N°s 39-41. — Cotta, *Osterreichische Revue*, 1866. — Ellenberger, *Jahrbuch*, 1867, etc.

Un travail de ce genre pour la Galicie serait aujourd'hui presque impossible. Sans parler des difficultés de communication, les travaux de recherches entrepris jusqu'à ce jour ont été faits isolément par les propriétaires du sol, au hasard, sans idée d'ensemble et sans esprit de suite. Nulle part il n'a été tenu de journal de sondage, et presque nulle part on ne peut retrouver les traces des efforts tentés et des résultats obtenus. Il faut donc aujourd'hui se borner à décrire les terrains dans lesquels apparaissent au jour les traces de pétrole, les exploitations actuellement actives, et les résultats actuellement obtenus. Nous avons pu dans l'année 1869, en parcourant ces montagnes, visiter la plupart des points où le pétrole est actuellement recherché et exploité en Galicie. Nous devons nous borner ici à décrire religieusement les faits observés et à réunir, en quelque sorte, les premiers éléments de l'enquête qui pourra conduire un jour à la solution du problème si intéressant de l'origine des huiles minérales, et sans doute aussi de celle des gisements de soufre, de sel, et d'eaux minérales, qui leur sont étroitement liés.

INDICATIONS GÉOLOGIQUES. — Si l'on jette les yeux sur la carte que publie en ce moment l'Institut géologique de Vienne, on y voit la ligne des Karpathes représentée par des longues bandes parallèles, qui s'étendent depuis les environs de Cracovie jnsqu'en Moldavie.

La formation karpathique est divisée en deux groupes : les couches qui affleurent sur le versant méridional appartiennent à la formation crétacée; au nord, du côté de la Galicie, elles sont couvertes par une bande de terrains qui se rattachent à la période éocène. Toute cette masse est formée par des alternances de grés et d'argiles schisteuses, en bancs très-inclinés, presque verticaux ou plongeant au sud, dirigés du nord-ouest au sud-est et contournés suivant une série de plissements dont les crêtes

tronquées laissent apparaître successivement au jour les divers étages de ces formations. La concordance de stratification de ces couches, leur grande variété, l'extrême rareté des fossiles qu'elles renferment, rendent leur classification fort difficile; on est cependant d'accord aujourd'hui pour les rapporter aux dernières périodes de la formation crétacée et à la période éocène. Mais entre ces deux extrêmes la démarcation est peu précise, et l'on confond souvent cet ensemble sous la dénomination de grès des Karpathes.

Au nord et au sud-est, cette formation est bornée sur toute sa longueur par une bande de terrains miocènes, au bord desquels apparaissent, précisément aux pieds des dernières assises de grès karpathique, deux minces bandes parallèles d'argiles salifères sur lesquelles sont alignées les nombreuses salines de cette région.

Nous ne pouvons entrer ici dans l'examen des longues controverses que la question du grès des Carpathes, son âge, et la classification de ces couches alternées qui se succèdent sur une épaisseur considérable, ont soulevées en Allemagne. Ces études délicates sortiraient du cadre de ce mémoire. Il importe cependant, avant de parcourir la chaîne des Karpathes à la recherche du pétrole, de préciser autant que possible nos idées sur la nature de cette puissante formation.

Nous nous contenterons, à cet effet, d'indiquer ici quels sont les différents groupes suffisamment distincts suivant lesquels on s'accorde généralement à classer les étages dont se compose cette formation, et auxquels nous devrons chercher à rapporter les couches que nous rencontrerons sur le terrain dans le cours de cette étude. Nous puisons ces notions dans les communications successives faites dans le cours des années dernières au K. K. Geologischen Reichsanstalt par les géologues de l'Institut géologique de Vienne à la suite de leurs excursions dans cette région.

Coupe dans la partie occidentale de la chaîne. — Dans deux communications faites au mois de juillet et au mois d'août 1859, M. le Bergrath Fœtterlé rend compte de deux séries d'études faites dans la partie occidentale de la chaîne, l'une sur le versant septentrional aux environs de Cracovie, l'autre sur le versant méridional en remontant du sud au nord depuis le Tatra jusqu'aux environs de New-Sandec, et dont l'ensemble nous fournit une coupe intéressante de la chaîne des Karpathes dans cette région. Si l'on part des collines triasiques qui s'étendent au-dessus de Cracovie jusqu'en Pologne Russe et en Silésie, et si l'on descend vers la Vistule, on traverse d'abord une formation jurassique assez développée, puis on rencontre la formation crétacée composée de deux étages : à la base un calcaire blanc en couches minces peu riches en fossiles, au sommet des marnes feuilletées vertes ou bleuâtres, contenant de nombreux Inocérames, Bélemnites et Ananchites; enfin on voit apparaître aux environs de Cracovie les couches tertiaires formées de marnes gypseuses recouvertes par le Leuss. Si l'on franchit la Vistule, l'aspect du pays devient tout autre; aux montagnes irrégulières qui se groupaient sur la rive droite, on voit succéder une série de plissements réguliers, courant uniformément du nord-ouest au sud-est, et qui s'élèvent rapidement si l'on s'avance vers le sud jusqu'aux premières croupes des Berkides. Entre la Vistule et ces premiers redressements du grès karpathique, s'étend une zone étroite de deux milles de large, recouverte par une épaisse couche de Leuss, sous laquelle l'on rencontre les couches miocènes qui affleurent au jour à Bœhmen, Podgorze et Schoszowice. Ce sont ces couches miocènes qui renferment les masses de sel gemme au Wieliska et de Bochnia, les masses de gypse de Podgorze, et le dépôt de soufre dans les marnes gypseuses exploité à Schoszowice. Ce sont ces mêmes couches miocènes qui s'étendent sur toute la longueur de la chaîne des Karpathes, et auxquelles

appartiennent les gîtes de sels exploités aux pieds de la chaîne sur tout son développement.

Ce n'est pas ici le lieu de décrire ces gisements salins; il importe cependant de noter ici l'aspect uniforme qui les caractérise. Partout en visitant ces gisements nous avons rencontré une masse argilo-marneuse noirâtre, plus ou moins bitumineuse et de consistance boueuse. Cette masse argileuse (hasel-gebirge) est fortement imprégnée de sel : soit cristallisé en gros grains et empâté dans la masse; soit condensé lui-même en grosses masses, et formant, comme dans les horizons supérieurs de Wieliska, d'immenses lentilles de sel impur en gros cristaux isolés au milieu de la masse d'hasel-gebirge : soit enfin formant au milieu de la masse salifère des sortes de couches plus ou moins irrégulières comme à Bochnia, à Stebnik, à Kalucz, et dans les horizons inférieurs de Wieliska. Toute cette masse salifère est sillonnée par des couches contournées d'anhydrite, alternant avec des couches de salzthon plus ou moins pur. Partout où on les rencontre, ces couches d'argile noire salifère sont presque verticales ou très-inclinées et plongeant au sud; leur inclinaison diminue en profondeur. Si l'on descend au sud, on rencontre bientôt les premiers escarpements des Karpathes, et l'on trouve les assises de grès karpathique plongeant aussi au sud; de sorte que les couches miocènes d'argile salifère semblent au premier abord disparaître sous les premières assises de grès karpathique. Une épaisse couche de leuss empêche d'observer ce que deviennent ces argiles miocènes entre leurs affleurements et le joint où elles viennent buter contre la formation karpathique. Il faut admettre l'existence d'une longue ligne de fracture qui se serait produite à la fin de la période éocène, qui s'étendrait du N.-O. au S.-E. en suivant le pied de la chaîne, et que seraient venus combler les dépôts salifères que l'on rencontre partout aux pieds des premiers escarpements des Karpathes.

La présence de cette ligne de fractures a une importance capitale, et nous avons tenu à la signaler dès le début de cette étude.

Si maintenant nous descendons avec M. Fœtterlé au sud de cette ligne, et si nous abordons les premiers escarpements des Karpathes, nous rencontrons d'abord aux pieds des premiers relèvements une mince ligne de couches néocomiennes, correspondant aux couches connues en Silésie sous le nom de Unteren Teschner Schiefern, Teschner Kalkstein et Oberen Teschner Schiefern, et étudiées spécialement par M. Hohenegger. Cette formation peu développée est recouverte par la masse de grès des Karpathes qui se continue jusqu'à la frontière hongroise. Dans une communication faite au mois d'août 1859, après une seconde expédition faite au sud de la chaîne, en partant de la frontière hongroise, M. Fœtterlé résume comme il suit sa manière de voir sur la classification des couches alternées, presque verticales, qui constituent cette puissante masse de grès karpathique.

Il distingue trois groupes différents dont deux appartiennent à la période crétacée et un à la période éocène, savoir :

1° A la base, des schistes noirs alternant entre des bancs de grès irréguliers de couleur claire. Cet étage est caractérisé par des grès calcaires, des bancs de calcaire et de sphérosidérite; on y rencontre les fossiles des Teschner Schiefern supérieurs ou du néocomien supérieur.

2° Des grès quartzeux et micacés, de grain très-variable; ils forment des bancs de 5 à 6 pieds d'épaisseur, séparés par des joints calcaires, et entre lesquels sont intercalées des couches schisteuses en lits minces; ces couches schisteuses contiennent souvent du minerai de fer, particulièrement à Kamernica, où ce minerai est exploité en couches de 1 à 4 pieds de puissance. Cet étage est le plus développé dans cette partie occidentale de la chaîne. Des fossiles trouvés à Kamernica le rattachent à l'étage albien.

3° Des couches éocènes à nummulites, formées de schistes foncés, s'altérant à l'air, contenant des bancs minces de grès à grain fin. Ces couches à nummulites ne se rencontrent dans cette partie de la chaîne qu'en un petit nombre de points et bornées à des bassins isolés. Elles sont recouvertes par les couches à ménilites dont M. Foetterlé signale la présence près de Wodowice.

Coupe au sud de Dukla. — Dans un récent mémoire, inséré en 1869 au *Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt*, M. K. M. Paul rend compte du résultat de ses études sur la région qui s'étend du côté de la frontière hongroise, au nord d'Éperies. Il est conduit à une classification assez nette des diverses couches de la formation karpathique dans cette partie de la chaîne. Ce travail nous a été d'autant plus précieux que nous y avons trouvée décrite la région qui correspond, sur le versant hongrois, aux gisements de pétrole du versant galicien, et qu'en traversant la chaîne du sud au nord M. Paul s'est avancé jusqu'à Ropianka où apparaissent les premières exploitations de pétrole. Dans cette partie de la chaîne, la formation crétacée que nous avions trouvée si puissamment représentée dans la partie occidentale à la hauteur de Cracovie, n'apparaît plus qu'à l'état rudimentaire, et, au contraire, les formations tertiaires sont entièrement développées.

M. Paul distingue dans cette formation tertiaire quatre groupes assez nettement caractérisés. Ce sont, en partant du niveau supérieur :

1° *Magura-Sandstein.*—Cette formation, qui est de beaucoup la plus développée, est formée de grès quartzeux, non calcaires ; ils alternent avec des argiles feuilletées grises ou blanchâtres, que séparent des lits de grès friables et schisteux, blancs, micacés, contenant des débris végétaux. A cet étage se rapportent aussi des marnes hydrauliques blanches ou bleues; à sa base se trouve un conglomérat quartzeux caractéristique. Comme fossiles on y rencontre

des écailles de poissons. Cet étage appartient à la fin de la période éocène.

2° *Smilno Schiefern.* — Schistes noirs feuilletés et contournés, caractérisés par des bancs de silex et de sphérosidérite.

3° *Belowesa-Schiefern.*—Grès hiéroglyphiques et schistes rouges en bancs minces, très-micacés. A ce niveau appartiennent aussi des grès bruns en bancs épais, sillonnés par des veines de calcaire spathique, et des grès en feuillets minces contenant des fucoïdes.

4° *Ropianka-Schiefern.* — Couches schisteuses, micacées, quartzeuses, ordinairement gris bleuâtre, contenant des bancs de grès fort difficiles à distinguer de ceux des étages supérieurs. A Ropianka, où M. Paul a reconnu ces couches, elles reposent sur un grès de grain moyen, grisâtre, complétement imprégné de pétrole.

Ces notions générales sur la constitution des Karpathes étant acquises, nous pouvons aborder l'étude des points particuliers où y a été signalée la présence du pétrole en Galicie. Ces points occupent une région montagneuse qui s'étend, près de la frontière hongroise, sur un développement de près de 300 kilomètres, et dont les limites actuelles sont, à l'ouest, New-Sandec, et à l'est, Drohobicz. Si l'on jette les yeux sur les cartes de l'état-major autrichien qui se rapportent à cette contrée, on est frappé immédiatement de la structure caractéristique de la chaîne des Karpathes dans cette région. Elle est formée d'une série de chaînons parallèles, régulièrement échelonnés sur une grande épaisseur, et dirigés uniformément du nord-ouest au sud-est. En remontant au nord-ouest ces échelons se séparent; d'une part, ils se dirigent vers le nord jusqu'au bord de la Vistule; de l'autre, ils viennent s'appuyer à l'ouest, au delà de

New-Sandec, sur les massifs du centre. Ces deux branches sont reliées au nord de New-Sandec par une série de contreforts toujours parallèles à la direction principale. Quant à l'espace central, il est occupé par une sorte de plateau qui s'étend entre Sanok à l'est, et Iaslow à l'ouest; mais ce n'est pas là une plaine proprement dite, c'est un plateau formé de couches de grès karpathique presque verticales ou plongeant au sud; ce n'est autre chose que la trace de relèvements tronqués par les érosions. Les affluents de la Vistule, du Dniester et de la Theiss coulent de cette région centrale vers la mer du Nord et la mer Noire, en traversant perpendiculairement à la direction des plissements la ceinture de montagnes qui l'environne; ils descendent dans la plaine miocène qui s'étend au nord-est de la chaîne vers Przemylz et Lemberg, et que bordent les gîtes salins alignés aux pieds des dernières assises des Karpathes sur tout leur développement.

L'exploitation du pétrole, qui se développe aujourd'hui dans cette contrée, s'est principalement concentrée : à l'ouest, aux environs de New-Sandec; au centre, près de Dukla, Krosno et Sanok; à l'est enfin près de Drohobicz à Boryslaw, où l'on a rencontré en grande abondance le pétrole accompagnant la cire minérale naturelle ou *ozokérite*, non plus dans le grès karpathique, mais aux pieds de la chaîne, au bord de la plaine, dans des argiles miocènes analogues aux argiles salifères.

Nous n'avons pu visiter les exploitations du district de New-Sandec. Elles ont été décrites par M. de Hochstetter, dans un intéressant mémoire (*über das Vorkommen von Erdöl und Erdwachs in Sandecer Kreise in West-Galizien. — Jahrbüch des Geologischen Reichsanstalt - Jahrgang*, 1865-*fest II*).

Nous devrons nous reporter à ce mémoire pour ce qui touche ce district. Mais nous avons parcouru tous les points où le prétrole a été signalé entre Dukla et Drohobicz, et en

particulier les exploitations de Bobrka, Ivonicz, Ropianka, Plowce, Krosciensko près de Ustryki, et enfin Boryslaw.

Nous allons passer en revue tous les points explorés et les visiter successivement, en décrivant d'aussi près que possible les différents aspects et les caractères des gisements. Ce sera la première partie de ce travail.

Nous chercherons ensuite à résumer et à discuter les faits observés, et à voir ce qu'ils nous permettent de conclure au sujet de la nature, de l'origine, et de la répartition des gîtes.

PREMIÈRE PARTIE.

EXPOSÉ DES FAITS OBSERVÉS.

1° BOBRKA.

Historique. — Ce fut à Bobrka, petit village situé sur la rive gauche de la Jasolka entre Krosno et Dukla (*), que prit naissance vers 1860 l'exploitation du pétrole en Galicie. De temps immémorial les paysans du pays connaissaient l'existence de matières graisseuses qui imprégnaient le sol en un grand nombre de points, s'accumulaient entre les bancs de grès dans le lit des ruisseaux, filtraient entre les joints des pierres pendant les années de sécheresse et formaient à la surface des eaux stagnantes, une pellicule huileuse multicolore.

Les paysans recueillaient ces matières pour graisser les essieux en bois de leurs voitures, ou les faisaient flamber à la surface des étangs en guise de feux de joie les jours de fête. Ce n'est que vers 1860 que M. Lukasilwitch, proprié-

(*) Voir la Carte *fig.* 1, Pl. VI.

taire actuel des exploitations de Bobrka, ayant entendu parler des gisements de pétrole récemment découverts en Amérique, eut l'idée qu'ils pouvaient avoir quelque analogie avec ces amas de matières grasses. Il distilla dans son officine de pharmacien à Iaslow ces matières huileuses recueillies à la surface du sol, y reconnut la présence de produits volatils distillables et combustibles, et commença des travaux de recherche avec le concours de M. Klobassa, propriétaire de l'emplacement actuel de l'exploitation. Les commencements de l'entreprise ne furent pas heureux. Un peu à l'ouest de Bobrka, si l'on gravit les croupes arrondies des dernières ondulations qui descendent par pente douce jusqu'à Krosno, on rencontre, dans le lit du petit affluent de la Iasolka qui arrose Chorkowka, des couches de grès noirâtres dirigées de l'est à l'ouest et plongeant de 75 degrés au sud, entre les joints desquelles le prétrole filtre dans les années de sécheresse ; si on les brise au marteau, elles dégagent de leur cassure fraîche une forte odeur de pétrole. A droite du ruisseau, et principalement suivant le prolongement de ces couches, le sol couvert d'une forêt de pins est formé par un humus noirâtre, fortement imprégné de matières goudronneuses, mélangé à la surface de résidus asphaltiques, et en certains points comme délayé avec des matières graisseuses.

Ces indices extérieurs avaient depuis longtemps frappé la curiosité des gens du pays ; ils invitaient tout naturellement à entreprendre en ce point les premiers travaux de recherche. M. Lukasiewitch commença par creuser simplement une longue tranchée de 1 mètre environ de profondeur, dans laquelle le pétrole vint s'accumuler par une sorte de drainage à travers le sol, et l'on en put recueillir ainsi une certaine quantité. Il se mit alors à creuser des puits en un grand nombre de points de la forêt, mais sans obtenir de résultats satisfaisants. Les moyens imparfaits dont on disposait ne permettaient pas de creuser au delà

d'une faible profondeur, et les puits établis dans cette région ne donnèrent jamais qu'une très-faible quantité de pétrole. On voit encore en ce point de la forêt une quarantaine de puits disséminés dans un petit espace ; ils sont peu profonds, et, pour la plupart, ils sont remplis d'eau à la surface de laquelle s'est formée une pellicule grasse. L'eau que l'on a rencontrée à une faible profondeur les a fait tous abandonner sans qu'on ait obtenu autre chose que des traces de pétrole. Les sondages au trépan entrepris depuis au même point n'ont, du reste, donné jusqu'à ce jour aucun résultat satisfaisant. Ce ne fut qu'après de longs et pénibles tâtonnements, courageusement poursuivis et renouvelés avec persévérance au prix de coûteux sacrifices, que M. Lukasiewitch fut conduit à abandonner le siége des premiers travaux, et à transporter ses recherches vers l'est sur l'emplacement actuel de l'exploitation.

Le 4 mars 1861, on rencontra le pétrole à 14 mètres de profondeur, et ce premier puits donna au début plus de 6.000 kilogrammes d'huile par jour. Dès le mois d'avril de la même année, un second puits de 15 mètres de profondeur donnait aussi plus de 600 kilogrammes par jour. Dès ce moment l'exploitation de Bobrka était fondée, les puits se multiplièrent autour des premiers, et l'on tira régulièrement une quantité considérable de pétrole qui représente encore aujourd'hui une valeur annuelle d'environ 350.000 f., donnant plus de 250.000 francs de bénéfice.

Description du champ d'exploitation. — Le champ d'exploitation de Bobrka occupe le fond d'un plissement de terrain, sur la rive gauche de Jasolka, à 40 mètres au-dessus du niveau de la rivière. Il s'étend suivant une ligne de 500 mètres de long, dirigée à peu près rectilignement du nord-ouest au sud-est, suivant une direction moyenne du nord-ouest au sud-est.

Sur cette longue ligne sont disposés aujourd'hui 77 puits

dont aucun n'est éloigné de plus de 25 mètres de la ligne moyenne. Une rigole en bois, disposée suivant cette ligne moyenne, conduit le pétrole dans un réservoir situé à l'extrémité occidentale du champ d'exploitation. La profondeur moyenne des puits est de 40 à 50 mètres; quelques-uns atteignent 100 mètres; mais on n'a pas encore été au delà. La profondeur des puits augmente généralement quand on se dirige vers le sud-est, mais sans que l'on puisse définir une loi régulière de cet accroissement.

Fonçage des puits. — Le mode de fonçage des puits est des plus simples. On fonce à partir du jour un puits de section carrée, d'environ 2 mètres de côté, et l'on continue ainsi tant que l'on est dans des couches marneuses ou dans des grès friables faciles à travailler. L'installation très-simple se compose d'un treuil installé au-dessus du puits, muni d'un frein grossier; à l'aide de ce treuil on extrait au jour les déblais dans un seau qui sert aussi à descendre ou remonter l'ouvrier; le puits est garni en toute sa hauteur d'un cuvelage continu au moyen de cadres jointifs, formés de rondins fendus par la moitié et assemblés à leurs extrémités. Le travail se fait à la poudre, même lorsqu'on traverse des couches imprégnées de pétrole. Dans ce cas, l'ouvrier travaille sans lumière, on lui envoie de l'air au moyen d'un petit ventilateur à main; après le coup de mine on ventile fortement pour chasser les fumées qui remplissent le puits, et l'ouvrier redescend au bout d'un certain intervalle; malgré le danger de cette manière d'opérer en présence des vapeurs explosibles qui se dégagent des couches imprégnées de pétrole, il n'arrive qu'un nombre relativement restreint d'accidents.

A une profondeur variable qui n'est guère que de 25 mètres dans la partie occidentale du champ d'exploitation, et qui s'élève jusqu'à 50 et 60 mètres dans la partie orientale, on rencontre des grès durs. On arrête alors le fonçage du puits, et l'on continue en sondant au trépan dont l'usage introduit

à Bobrka en 1864 a permis d'approfondir tous les puits entrepris avant cette époque.

L'installation du sondage n'a rien d'intéressant, et est très-imparfaite. Les tiges de section carrée sont assemblées à leur extrémité par un pas de vis. Elles sont soulevées par un levier à secteur manœuvré par quatre hommes; il n'y a pas d'appareil à chute libre, et les tiges sont solidaires du mouvement du trépan. La manœuvre des tiges se fait au moyen d'une corde qui passe sur une poulie placée à l'extrémité d'un chevalement très-simple, et qui s'enroule ensuite sur une grande roue de carrier. On commence le trou de sonde sur $0^m,39$ de diamètre, mais on est forcé de changer très-souvent le diamètre des tubes, et l'on arrive très-vite à un diamètre de $0^m.08$ au delà duquel on ne peut plus marcher. La profondeur des sondages est ainsi limitée et ne s'est pas encore élevée au delà de 100 mètres. Il y aurait grand intérêt à perfectionner l'outillage de sondage, de manière à pouvoir sonder à partir de la surface, dans les argiles plastiques et les grès friables à travers lesquels on n'a pas encore pu sonder; faute de savoir aujourd'hui sonder dans ces couches feuilletées et friables, on est forcé de les traverser au moyen de puits que l'on doit abandonner dès que l'on rencontre l'eau.

Lorsque le sondage a atteint le pétrole, *on voit d'abord se dégager par l'orifice du puits une grande quantité de gaz carbonique mêlangé de carbures d'hydrogène*, puis le pétrole lui-même vient nager à la surface de l'eau qui remplit le puits. On installe alors les pompes et l'on pompe à la main à l'aide d'une petite pompe très-grossière connue en Pologne sous le nom de *pompe juive*. On puise ainsi d'abord l'eau qui remplit le puits, puis un mélange d'eau et de pétrole en quantité plus ou moins abondante suivant la richesse du puits. On recueille ce mélange dans des tonneaux, où l'huile se sépare de l'eau par différence de densité; on la décante ensuite et on la dirige vers le réservoir où se réunit

le produit de tous les puits. On pompe régulièrement plusieurs fois par jour, plus ou moins fréquemment suivant la richesse du puits.

Il est à remarquer que *le pétrole se comporte dans ces puits à la façon des sources dont le débit varie suivant la pression.* — Lorsque l'on atteint la couche riche, il se produit un brusque dégagement de gaz et d'huile minérale ; mais au bout de quelque temps le pétrole cesse d'affluer ; il faut épuiser l'eau, épuiser l'huile elle-même pour activer le débit, et l'on active en pompant l'affluence du liquide. Un fait fort important nous a été signalé par tous les exploitants de pétrole : le jeu des pompes n'est interrompu qu'un seul jour dans l'année, le jour de l'Ascension ; le lendemain le débit des puits a sensiblement diminué, comme si les canaux par lesquels filtre le pétrole avaient été obstrués pendant ce jour de repos, et ce n'est qu'en pompant de nouveau pendant plusieurs jours que l'on parvient à faire reprendre aux puits leur rendement normal.

Rendement des puits. Répartition du pétrole. — Le rendement des puits est extrêmement variable. Quelques puits ont donné à l'origine jusqu'à 3 000 kilog de pétrole par jour. On en cite un qui pendant le mois de juillet 1862 a produit 135.000 kilog. D'autres ont donné 600 à 300 kilog. par jour, un plus grand nombre 60 à 80 kilog. Beaucoup enfin n'ont rencontré de pétrole qu'à l'état de traces insignifiantes ; et quelques-uns, quoique poussés jusqu'à une grande profondeur, n'ont jamais donné que de l'eau douce ou de l'eau salée.

Aucune loi apparente ne préside à la répartition de la richesse entre les différents puits, et la recherche de cette loi est d'autant plus délicate que beaucoup de puits, signalés comme n'ayant donné aucun résultat, auraient peut-être rencontré le pétrole si l'on avait poursuivi le fonçage, et si l'imperfection des procédés de sondage n'avait forcé à les abandonner. Un fait bien net nous a frappés dès le

début, c'est le groupement des puits le long d'une ligne moyenne dirigée à N. 110° E. Il semble bien établi qu'aucun puits foncé à plus de 25 mètres de cette ligne n'a rencontré autre chose que des traces de pétrole. Nous verrons en étudiant la constitution géologique du sol que cette ligne correspond à une ligne de faîte due à un redressement des couches ; étant donnée la presque verticalité de ces couches, il semble naturel que l'on cesse de rencontrer les couches riches si l'on s'écarte à droite ou à gauche de cette ligne de faîte. Mais il s'en faut de beaucoup que tous les puits foncés sur cette ligne aient donné des résultats uniformes. Notons d'abord que si l'on s'éloigne à l'est du champ d'exploitation, les puits même foncés dans le prolongement de l'axe moyen n'ont donné que des traces de pétrole ; inégalité qui peut, il est vrai, s'expliquer par l'insuffisance de profondeur des sondages entrepris dans cette région, dans laquelle on ne rencontre les couches de grès dur qu'à une grande profondeur, et où par conséquent les couches riches en pétrole peuvent se trouver à un niveau très-bas. A l'extrémité occidentale du champ d'exploitation, les puits productifs sont beaucoup plus nombreux, et se groupent en grand nombre autour de la ligne moyenne ; mais ici encore il règne une grande incertitude, et l'on se trouve en présence d'inégalités étranges.

Un premier fait remarquable et presque général est l'indépendance absolue des rendements de puits voisins et presque contigus, sans que le rendement d'un puits réagisse sur celui de l'autre. On voit des puits qui ont donné et qui donnent encore journellement des quantités considérables de pétrole, tandis que des puits foncés à quelques mètres de distance des premiers et au même niveau n'en ont jamais donné que des traces. On voit d'autre part des puits voisins donner simultanément du pétrole sans que le débit de l'un semble nuire en rien au débit de l'autre. Cette règle, presque générale, souffre cependant des exceptions. A Bobrka même

on cite deux puits qui ont présenté des phénomènes de dépendance remarquables : Un puits donnait par jour de 30 à 40 kilog. de pétrole mélangés d'une grande quantité d'eau ; on fonça à côté un second puits : celui-ci donna peu de pétrole, mais enleva toute l'eau du premier, qui continua à produire la même quantité d'huile. Le pétrole du second puits s'épuisa, mais le premier continua à en donner 30 à 40 kilog. et l'eau n'y a pas reparu.

La profondeur à laquelle on rencontre le pétrole est extrêmement variable ; elle varie de plusieurs mètres entre des puits contigus, sans que l'on puisse définir la loi de ces variations. On pourrait penser que si deux puits sont sur une même perpendiculaire à la ligne de faîte des couches et du même côté de cette ligne, le puits d'aval devrait épuiser le puits d'amont, et accaparer le pétrole à son profit. Il paraît n'en être rien. Ainsi, par exemple, la *fig.* 1, Pl. V, indique la position relative de plusieurs puits voisins, situés à l'est du champ d'exploitation. AB est la direction moyenne de la ligne des puits. Tous ces puits, sauf les puits 1 et 2, ont donné du pétrole, mais dans des conditions différentes. Le puits (3), un des premiers creusés, donna une grande quantité de pétrole, et finit par s'épuiser. Le puits (4) ou puits Marysia, après avoir rendu beaucoup, donnait en janvier 1868 40 à 50 kilog. par jour quand on fonça le puits (5). Ce dernier puits, dit puits Rudolf, rencontra le pétrole à 9 mètres plus bas que le puits Marysia, et le fournit tout de suite en grande quantité, jusqu'à 600 kilos par jour, avec une grande quantité d'eau douce ; mais son rendement diminua bientôt, et au mois de décembre de la même année le puits Rudolf cessa de donner ni eau ni pétrole, tandis que le puits Marysia n'avait pas cessé de produire de 40 à 50 kilog par jour, et continue encore à les produire aujourd'hui. Le puits (2), foncé au même niveau que le puits Marysia, n'a pas donné traces de pétrole. Le puits (1), foncé au niveau du puits Rudolf, ne donna jamais plus de 80 litres par jour et ne tarda pas à s'épuiser.

Un autre exemple pris un peu plus à l'est au centre du champ d'exploitation, met aussi en évidence ces inégalités. La *fig.* 2, Pl. V, représente encore un groupe de puits de part et d'autre de la ligne moyenne AB. Les puits 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 donnent une grande quantité de pétrole. Le puits 1, foncé au milieu d'eux, entouré de tous côtés de puits riches, n'a jamais donné que de l'eau salée, quoiqu'il ait été poussé jusqu'à une grande profondeur. Dans les deux puits 11 et 13, on a rencontré l'eau avant d'avoir pu se servir du trépan, et ils sont abandonnés. Le puits 13, comme le puits 1, n'a jamais donné que de l'eau salée, mais il n'a pas été poussé à une aussi grande profondeur. Il semble vraiment qu'en cet endroit la ligne de faîte se soit ouverte et qu'il se soit formé un point central stérile au milieu d'une zone riche en pétrole.

Un phénomène général est *la diminution rapide du rendement des puits*. Très-productifs au début, ils s'épuisent peu à peu et deviennent bientôt complétement stériles.

On a reconnu qu'en approfondissant de nouveau le puits, on retrouve un second niveau de pétrole et l'on obtient ainsi une seconde période de rendement.

Le pétrole est toujours mélangé d'eau, quelquefois douce, ordinairement légèrement salée. On a reconnu en particulier que l'on rencontre toujours l'eau salée entre les deux niveaux de pétrole lorsqu'on approfondit les puits. Enfin, outre la présence de l'eau salée, il faut signaler la présence *d'eau minérale carbonique et iodurée*. On l'a rencontrée en grande abondance en approfondissant le puits Idzia qui, à un premier niveau de 27 mètres, avait donné une grande quantité de pétrole ; quand on arriva à un niveau de 50 mètres, il vint un mélange de pétrole et d'eau minérale ; bientôt le pétrole s'épuisa et l'on ne puisa plus que de l'eau minérale. C'est de l'eau alcaline, carbonique, et assez riche

en iode, analogue à celle des bains d'Ivonicz dont nous parlerons plus loin. On a du reste constaté la présence de l'eau iodurée dans tous les puits creusés à une grande profondeur.

Constitution géologique du sol. — L'étude du sous-sol n'est pas moins complexe. Pour aucun puits il n'a été tenu de journal de sondage. Il résulte cependant, tant des renseignements oraux recueillis sur les lieux que de l'examen des débris entassés autour des puits, que les couches traversées avant d'arriver au pétrole sont généralement les suivantes : on trouve d'abord une épaisseur variable d'humus, formé d'un mélange de sable, d'argile et de marne imprégné de pétrole et d'asphalte, accumulé dans la vallée par les érosions. Au-dessous de ces alluvions on rencontre des alternances de grès bleuâtres et de schistes argileux rouges ou bigarrés; puis des bancs schisteux d'apparence talqueuse, malléables et gras au toucher; ces derniers schistes talqueux sont caractéristiques, et annoncent la présence du pétrole; on rencontre ce dernier dans des bancs de grès grisâtres de grain moyen alternant avec des argiles bleues ou noires en couches minces intercalées entre les bancs. Dans une note insérée en 1868 dans le Jarbrüch de l'Institut géologique de Vienne, M. Von I. Noth signale la présence fréquente du minerai de fer dans les couches que l'on traverse avant d'arriver au pétrole; il s'y trouve soit en couches minces d'argile ferrugineuse intercalées entre les couches schisteuses, soit sous forme de sphérosidérite au milieu même des schistes. Il signale aussi la présence de veines de calcaire spathique dans les bancs de grès superposés au pétrole. Ces caractères permettent de rapporter ces couches au second et au troisième étage de la formation karpathique désigné dans la classification de M. Paul sous le nom de Smilno-Schiefern et Bélowesa-Schiefern. Au fond d'un puits en fonçage dans lequel je me suis fait descendre, j'ai trouvé des couches

d'argile rouge et de grès bigarré, mais les cadres étaient déjà posés sur presque toute la hauteur du puits, et ne permettaient pas d'en prendre la coupe. La direction des couches mesurée exactement était de N. 105° E; le plongement au sud de 70°.

Les couches traversées par les puits sont presques verticales, plongeant au sud. En profondeur l'inclinaison diminue, et au moment où l'on rencontre le pétrole les couches sont redevenues horizontales, et semblent s'épancher à droite et à gauche du puits. C'est là un fait capital, constaté par tous les exploitants de pétrole, et que nous retrouverons partout. Les puits de pétrole sont donc alignés au sommet d'une ligne de faîte formée par le redressement des couches. Le croquis représenté *fig.* 3, Pl. V, rend ces faits plus nets. Il donne une coupe théorique de Bobrka perpendiculairement à la direction des couches.

La ligne des puits A occupe une vallée a 30 mètres environ au-dessus du niveau de la Jasolka qui coule du S. O. au N.-E. perpendiculairement à la direction du plissement; au sud se trouve une seconde vallée d'érosion B, au delà de laquelle s'élève en E. le versant assez escarpé d'une colline qui domine d'environ 150 mètres le niveau de la rivière et se prolonge au sud vers Dukla. Au nord au dessus de la vallée A se trouve une dernière croupe D, élevée de 60 mètres environ au-dessus de la rivière, et d'où l'on descend par pentes douces dans la plaine de Krosno.

Si l'on gravit le versant AD on voit affleurer des bancs d'un conglomérat quartzeux que M. Noth a pris à tort pour des blocs isolés et qui forment une couche continue dirigée à N. 110° E. et plongeant au N. en faisant un angle de 70° avec l'horizon. Au-dessus de ce conglomérat, nous trouvons des bancs de grès fins micarés, dirigés aussi à 100° E. et plongeant au N. avec un angle de 80°. Ces grès appartiennent aux étages supérieurs de la formation éocène; ce sont les magura sandstein de M. Paul. Ils reposent sur le con-

glomérat quartzeux qui, d'après M. Paul, caractérise la base de cet étage. Ces grès plongent au N. en D ; mais, si l'on s'avance vers le nord, on voit leur inclinaison sur l'horizon augmenter, les couches deviennent verticales, puis se renversent en formant une sorte de rebroussement et plongent de nouveau au sud en se rapprochant de l'horizontale. Elles continuent à plonger au sud dans toute la plaine qui s'étend de Bobrka vers Krosno.

Au sud de la ligne des puits, en C, nous retrouvons sur le versant sud des couches de grès analogues à celles de D, mais plongeant au sud, faisant un angle de 55 degrés avec l'horizon et dirigés à N. 100° E. Nous trouvons aussi des bancs de conglomérat quartzeux à ciment de sable. La vallée B est remplie par des alluvions, et principalement par des couches d'argile plastique et de marnes.

Sur le versant E. on retrouve plongeant au sud, inclinés de 45 degrés sur l'horizon, les grès éocènes supérieurs alternant avec des schistes argileux plus ou moins pyriteux.

Enfin, au bord même de la Jasolka, nous trouvons une côte éboulée permettant de voir la coupe des terrains, et nous pouvons y reconnaître au-dessous des grès violacés supérieurs, les alternances de grès en bancs plus ou moins puissants avec des marnes bleues ou bigarrées et les argiles plastiques contenant des bancs de silex, qui correspondent aux smilno schiefern de M. Paul.

Le fait saillant que cette coupe met en évidence est le redressement des couches qui forment une ligne de faîte correspondant précisément à la ligne des puits ; un peu au sud de cette crête, les couches se renversent en passant par la verticale, de manière à former une seconde ligne qui correspond alors a un évasement, tandis que la ligne des puits correspond au contraire à une sorte d'ouverture béante, produite par l'écartement des terrains.

Cette disposition apparaît très-nettement sur la rive droite de la Jasolka, où l'on aperçoit une coupe naturelle dans le prolongement même de la ligne des puits ; elle présente un aspect caractéristique que nous avons cherché à reproduire par un croquis (*fig.* 4, Pl. V).

On aperçoit très-nettement les lignes de stratification des bancs de grès, alternant avec des marnes feuilletées, appartenant à l'étage supérieur de la formation éocène. Nous ne saurions trop insister dès le début de cette étude sur ces phénomènes de renversement et de fracture des couches, que nous retrouverons à chaque pas dans l'étude des gisements de pétrole, et auxquels sont liés étroitement tous les phénomènes qui touchent à la répartition du pétrole près de la surface du sol.

Il était naturel de chercher à suivre cette ligne de faîte. Nous l'avons suivie vers l'est de l'autre côté de la large vallée de la Jasolka. Le pays est coupé par des vallées dirigées du sud-ouest au nord-est perpendiculairement à la direction des couches ; en remontant les lits des ruisseaux qui arrosent ces vallées, on suit en quelque sorte la coupe du terrain en observant les couches presque verticales qui viennent affleurer dans le lit perpendiculairement au fil de l'eau. Nous avons exploré particulièrement les deux premières vallées situées à l'est de la Jasolka ; la vallée de la Lubatowka, et la vallée d'Ivonicz. La dernière nous était tout naturellement signalée par la présence de sources minérales chargées de naphte, et par des travaux de recherche ayant déjà permis d'y constater la présence du pétrole.

2° VALLÉE DE LA LUBATOWKA.

Si l'on remonte la vallée de la Lubatowka, l'intersection de la vallée avec le prolongement de la ligne des puits de Bobrka est marquée très-nettement dans le lit d'un petit ruisseau, qui, coulant d'abord du sud-ouest au nord-est, s'in-

fléchit brusquement, suit un instant du sud-sud-est au nord-nord-ouest le prolongement de la ligne de faîte de Bobrka, puis reprend son cours du sud-ouest au nord-est parallèlement à sa direction primitive. En descendant le fil de l'eau on voit affleurer dans le lit du ruisseau : d'abord des marnes schisteuses bleues formées en feuillets minces, présentant tout à fait l'aspect d'ardoises, alternant avec des bancs de calcaire dur, corné, pouvant donner par la cuisson de la chaux hydraulique. Ces couches sont dirigées à N. 125° E. et plongent au nord en faisant un angle de 65 degrés avec l'horizon.

Un peu plus bas, on voit les couches se renverser et plonger au sud, et l'on peut suivre une série de bancs de grès, noirs d'abord, qui alternent avec des bancs de marnes plus ou moins grasses. Aucune recherche n'a été faite en ce point pour y découvrir du pétrole ; mais on peut noter que les marnes bleues qui alternent avec les bancs de chaux hydraulique dégagent de leur cassure fraiche une odeur de pétrole et de bitume caractéristique.

Sur la rive droite du ruisseau, s'élève une colline, dont le versant est formé d'éboulis, au milieu desquelles on distingue des bancs alternés de grès blanc micacé et de marnes blanches feuilletées, se succèdant sur une épaisseur considérable, et plongeant au nord. M. Zeuschner, professeur de l'Université de Varsovie, que nous avons eu la bonne fortune de rencontrer dans ce pays, où il poursuivait ses études géologiques et paléontologiques sur les Karpathes, a découvert dans ces couches des débris d'écailles de poissons qui paraissent les classer définitivement dans les étages supérieurs de la formation éocène, avec les magura sandstein de M. Paul.

En remontant la rivière de Lutabowka, nous trouvons toujours le lit de la rivière formé d'alternances de grès et de marnes schisteuses qui affleurent perpendiculairement au fil de l'eau, presque verticales et plongeant au nord ;

mais arrivé en un point situé un peu en aval de Lubatowka, et que je marque d'un trait sur la carte, on voit ces couches se renverser en passant par la verticale, et plonger de nouveau au sud suivant le diagramme *b* (*fig.* 6, Pl. V). Ce renversement des couches situées au nord de la ligne de faîte de Bobrka correspond au renversement semblable que nous signalons au sud de cette même ligne de faîte, et qui est mis en évidence par la coupe de la falaise prise sur la rive droite de la Jasolka.

Ces couches sont dirigées à N. 100° E. Au niveau du redressement elles se composent de grès alternant avec des marnes schisteuses, noires, bitumeuses, renfermant des bancs de calcaires ferrugineux à chaux hydraulique. En aval et en amont se succèdent les alternances de grès et d'argiles schisteuses. Aucune exploitation de pétrole n'a été tentée dans cet alignement, *mais les bancs de grès verticaux qui correspondent au redressement et qui alternent avec les chaux hydrauliques dégagent, lorsqu'on les brise, une forte odeur de pétrole.*

3° VALLÉE D'IVONICZ.

A l'est de la vallée de Lubatowka, nous rencontrons la vallée d'Ivonicz. Le prolongement de la ligne des puits de Bobrka coupe cette vallée précisément au droit d'un puits à pétrole. Ce puits est situé au bas de la vallée, près de l'église d'Ivonicz, sur la rive droite de la rivière, et à quelques mètres de la rive. En aval de ce point, les couches qui affleurent dans le lit de la rivière plongent au nord ; en amont on les retrouve en plongeant au sud ; en face du puits les couches sont verticales ; ce sont des grès, de grain moyen, qui alternent avec des argiles ferrugineuses contenant du fer carbonaté argileux en couches minces et en rognons de sphérosidérite.

En ce point, les grès dégagent sous le marteau une forte

odeur de pétrole, et les joints argileux qui séparent les deux couches sont fortement imprégnés d'huile liquide qui filtre le long des berges en formant sur l'eau des filets colorés. Il suffit de remuer un peu avec une canne la vase de la rivière en ce point pour voir monter à la surface une couche huileuse de pétrole, et voir se dégager des bulles de gaz hydrocarburé que l'on peut enflammer à la surface de l'eau. Deux puits à pétrole ont été creusés sur la rive droite de la rivière, sur l'alignement même de ce point. Ils ont donné une assez grande quantité d'huile minérale, malgré l'eau qui y afflue en abondance.

Sources minérales d'Ivonicz. — En remontant la vallée d'Ivonicz on arrive aux bains d'Ivonicz, station thermale agréablement située au fond d'une vallée boisée, et qui attire tous les ans un grand nombre de visiteurs de tous les coins de la Pologne, de la Russie et de la Hongrie. Au pied de la montagne jaillissent, entre les bancs de grès, quatre sources minérales : les deux premières sont salées, alcalines, riches en brome et en iode.

Elles tiennent pour 1.000 parties d'eau 10 parties de matières fixes contenant 5,49 de soude, 5,17 de chlore, 0,0179 d'iode, 0,013 de brome, plus de la potasse, de la lithine, de la chaux, etc.... Comme matières gazeuses, elles contiennent en volume 351 parties d'acide carbonique pour 1.000 parties d'eau, et en outre de l'hydrogène protocarboné en quantité sensible.

La troisième source est une source ferrugineuse salée, carbonique et contenant aussi de l'hydrogène protocarboné. La quatrième enfin est une source sulfureuse contenant, outre des carbonates, des sulfates et hyposulfites alcalins, et seulement des traces d'acide sulfhydrique.

Ces sources ont été décrites en détail dans une brochure publiée par le comte Zaluski, propriétaire actuel des eaux d'Ivonicz; nous ne nous arrêterons pas ici sur ces tableaux d'analyses qui ne nous offriraient aucun intérêt. Mais ce

qui doit attirer spécialement notre attention, c'est un espace marécageux situé dans la forêt à 200 mètres environ de l'emplacement des bains. En quelque place de ce lieu que l'on enfonce une baguette, il se dégage du gaz combustible hydrocarboné.

Ce phénomène, connu depuis longtemps, a été utilisé pour le traitement des malades, en dirigeant les gaz qui se dégagent en ce point vers une salle commodément disposée, où les malades viennent respirer les gaz saturés d'hydrogène carboné.

A un kilomètre de là environ, on rencontre au sommet d'une colline, une source célèbre depuis plusieurs siècles dans le pays, vulgairement appelée la « bredouilleuse. » C'est un réservoir cuvelé plein d'eau, au milieu duquel se dégage en bouillonnant un courant d'hydrogène protocarboné, qui traverse l'eau en grosses bulles, et que l'on peut enflammer à la surface en approchant une flamme. Il se forme alors au-dessus de la source un panache de feu qui continue à brûler et que l'on a peine à éteindre; de vieilles chroniques mentionnent ce phénomène; dès le XIV^e^ siècle, il attirait une foule de visiteurs qui s'y rendirent, soit par curiosité, soit pour respirer au-dessus de la source l'air chargé de carbure d'hydrogène.

Ce dégagement spontané et abondant d'hydrogène carboné à la surface du sol, devait naturellement engager à entreprendre des sondages en ce point, lorsque le développement rapide de l'exploitation du pétrole à Bobrka et le succès prodigieux de l'entreprise eurent frappé l'imagination du public. Depuis dix ans tous les propriétaires de ce pays poursuivent le même rêve : trouver sur leur terre un nouveau Bobrka ; le propriétaire d'Ivonicz n'échappa pas à cette fièvre. Dieu sait combien, depuis quelques années, l'on commença de puits dans cette forêt ! mais ces essais entrepris au hasard, et abandonnés capricieusement, n'ont, jusqu'à ce jour, eu d'autre résultat que de gaspiller

en détail et sans effet utile des efforts qui auraient probablement réussi s'ils avaient été dirigés avec méthode et poursuivis avec décision. En un grand nombre de points, en effet, on a rencontré le pétrole, et même en assez grande quantité ; mais dès que l'on puisait le pétrole, ou simplement dès que l'on épuisait l'eau qui remplit les puits, par une réaction naturelle, le débit des sources diminuait. Faute de prendre un parti et faute de choisir entre l'intérêt immédiat de son établissement thermal et le désir de tenter la fortune en sacrifiant les sources minérales à la recherche du pétrole, le propriétaire d'Ivonicz n'a encore obtenu aucun résultat décisif. Quoiqu'il advienne de ces indécisions et de ces inconséquences, on peut tenir pour certaine la présence à Ivonicz du pétrole affluant près de la surface.

L'étude de sous-sol à Ivonicz est difficile ; les puits sont disséminés dans une forêt de sapins, qui rend impossible de reconnaître leurs alignements et leur position relative ; le sol marécageux, couvert d'humus et de débris végétaux, ne permet d'apercevoir les couches qu'en un petit nombre de points ; enfin, ici moins que partout ailleurs, il n'a été tenu de journal lors du foncement des puits, et l'on ne peut trouver aucune trace des couches traversées, des résultats obtenus ou des difficultés qui ont pu faire abandonner les puits. Le seul fait frappant que l'on puisse signaler, c'est qu'ici, comme à Bobrka, les puits traversent des couches, argiles ou grès alternant, presque verticales, et que l'inclinaison de ces couches va en diminuant quand on s'enfonce en profondeur, jusqu'à devenir presque horizontales au point précisément où l'on rencontre le pétrole. Les puits occupent une colline couverte de pins, et qui s'étend entre la rivière d'Ivonicz à l'est et la rivière de Lubatawa à l'ouest. En suivant les puits, on descend dans ces deux rivières en des points A et B (*fig.* 7, pl. V), qui correspondent précisément à des renversements de couche. Les couches dirigées à N.

100° E. en *a* et *a'* N. 110° E. en *b*, plongent au nord en aval et au sud en amont de *b*. Il y a donc là une ligne de faîte analogue à celle du Bobrka suivant le diagramme *a*, *fig.* 5, pl. V, mais cette ligne de faîte forme probablement une ligne brisée ; car la Bredouilleuse et le dégagement du gaz hydrocarburé ainsi que le plus grand nombre de puits à pétrole sont situés à l'intérieur des parallèles menées en *a* et en *b* parallèlement à la direction des couches. De plus on peut près de la source elle-même reconnaître la direction des couches, qui n'est plus de 100° à 110°, mais nord-sud en un point et N. 22° O en un autre. La ligne de faîte s'infléchit probablement de *a* en *b* ; ou peut-être y a-t-il une faille entre ces deux points. Dans les points où l'on peut voir les couches, on reconnaît en aval et en amont des points *a* et *b* d'abord des argiles onctueuses ayant une forte odeur de pétrole, puis une longue succession d'argiles noires feuilletées ou plutôt ardoisières, contenant, outre des bancs de grès et des couches minces ferrugineuses au voisinage de la ligne de faîte, des bancs minces de silex corné au milieu de masses bitumineuses. Quelques-uns de ces schistes bitumineux sont inflammables. Dans ces argiles bleues et noires feuilletées, M. Zeuschner, en compagnie de qui nous faisions cette excursion, a trouvé une empreinte très-nette de poisson, qui lui permettra probablement de déterminer exactement l'âge de ces couches.

En résumé, dès ces premières excursions à Bobrka et autour de Bobrka, nous ne pouvons pas ne pas être frappés de la relation étroite qui existe entre la présence du pétrole près de la surface et les redressements et fractures des couches. Nous pouvons représenter par un diagramme la coupe de la chaîne des Karpathes au voisinage de Bobrka *fig.* 8, Pl. V.

Les lignes de faîte suivant le diagramme (*a*), *fig*, 5, pl. V, correspondant aux points riches en pétrole, et ces lignes de faîte étant séparées l'une de l'autre par des lignes d'écrasement et de renversement des couches suivant le diagramme *b*, *fig*. 6, Pl. V, où le pétrole n'apparaît qu'à l'état de traces dans des grès perméables dont la cassure fraîche répand l'odeur du pétrole.

4° ROPIANKA.

Transportons-nous maintenant dans cette direction S.-S.-O.; à 20 kilomètres environ au S.-S.-O. de Bobrka nous trouvons à Ropianka un second siége important d'exploitation du pétrole.

En quittant Bobrka et remontant vers le S. la vallée de la Jasolka, on traverse, perpendiculairement à leur direction, une série de chaînes peu boisées dirigées du N.-O. au S.-E. formées de couches superposées de grès et de marnes feuilletés, correspondant aux étages supérieurs de la formation éocène, et dont les alternances sont indiquées par des bandes parallèles alternativement stériles et couvertes de buissons sur le versant gazonné des collines. Toutes ces couches plongent vers le sud en faisant un angle de 45° environ avec l'horizon. Au-dessus de Dukla le terrain s'élève jusqu'à Tylawa, d'où l'on s'élève vers l'ouest par une série de plateaux gazonnés jusqu'à Ropianka.

Les puits au nombre de 15 ou 20 se développent à mi-côte sur le versant méridional d'une colline à l'extrémité d'une vallée qui, au delà de ce point, se bifurque vers le nord-ouest et le sud-ouest. Ces puits occupent sur le versant gazonné de cette colline une ligne horizontale rectiligne dirigée à N. 115° E. Ils sont alignés sur cette direction suivant une seule ligne, et sont distants l'un de l'autre de 20 à 25 mètres. Tous ces puits ont rencontré le pétrole et

le fournissent journellement en quantité abondante qui varie depuis 50 kilog. jusqu'à 300, 600 et 1.000 kilog. par jour.

Le sol gazonné ne permet de voir à la surface aucune trace des couches. Tout ce que nous avons pu en savoir, c'est que les puits traversent une série de couches schisteuses d'argiles et de marnes plus ou moins feuilletées rouges, bleues, noires ou bariolées, alternant avec les grès en bancs minces; au dessous de ces couches on rencontre un grès à grain moyen imprégné de pétrole. M. Paul, qui, en venant de la frontière hongroise, s'est avancé jusqu'à Ropianka, a donné le nom de « Ropianka-Schiefern » à ces couches qu'il place au-dessous des Smilno-Schiefern et Belowesa-Schiefern. Ces couches plongent au sud en faisant un angle d'environ 45° avec l'horizon. Il semble que l'inclinaison des couches augmente en profondeur. C'est ce qui résulte des résultats obtenus dans trois puits contigus *a*, *b*, *c* dont nous indiquons par un croquis la position relative, *fig*. 9, Pl. V.

La direction de ces couches dans ces trois puits est N. 138° E.

Le puits (*a*) a rencontré le grès à pétrole à une profondeur de 91^{m},30.

Le puits (*b*) a rencontré le grès à pétrole à une profondeur de 75 mètres.

Le puits (*c*) a actuellement une profondeur de 75 mètres et n'a pas encore atteint ces couches. Si l'on tient compte de ce que la direction de la colline est à peu près N. 110° E. de telle sorte que les bouches des puits *a* et *b* sont à peu près au même niveau horizontal, et le puits *c* de 5 mètres environ en contre-bas des deux premiers, il résulte de ces chiffres que l'inclinaison des couches à pétrole augmente assez rapidement en profondeur.

A mesure que l'on s'éloigne vers l'est suivant la ligne à

115°, la profondeur des puits diminue ; nous trouvons à 200 mètres des premiers un puits qui rencontre le grès à pétrole à 40 mètres seulement, et donne un pétrole parfaitement analogue à celui des puits *a* et *b*.

Ici du reste, comme à Bobrka, nous trouvons de grandes irrégularités dans la profondeur des puits et il serait imprudent de chercher à établir une loi. Ainsi, par exemple, près du puits dont nous venons de parler, à 1 mètre en contre-bas, nous trouvons un puits qui donne 160 litres de pétrole par jour, et qui, à 40 mètres de profondeur, n'a pas encore rencontré le grès à pétrole, mais a trouvé le pétrole dans les argiles schisteuses elles-mêmes.

Au-dessus de la ligne des puits à pétrole, si nous gravissons la colline, nous trouvons au sommet un espace marécageux, dont le sol est imprégné de matières bitumineuses, et d'où se dégagent des gaz inflammables ; un puits creusé en ce point est abandonné à cause de l'eau qui l'a envahi, mais il a été poussé assez loin pour reconnaître que l'on y rencontrait les couches de schistes et de grès, non plus plongeant au sud, mais horizontales. De telle sorte que nous trouverions encore ici la présence du pétrole correspondant à un plissement du sol suivant le diagramme *a*, *fig.* 5, Pl. V, et dans cette hypothèse, l'alignement remarquable des puits à N. 115° E. sur le versant de la colline, correspondrait à une ligne de fracture due à ce plissement.

Notons encore qu'à l'est du champ d'exploitation descend du haut de la colline un petit ruisseau dont l'eau est très-chargée de matières grasses ; le lit de ce ruisseau est formé de couches schisteuses d'argile bleue, plongeant au sud et perpendiculaires au fil de l'eau ; dans le prolongement de la ligne des puits, au point où cette ligne rencontre le ruisseau, nous avons constaté qu'en agitant la vase on produit immédiatement un dégagement de gaz inflammables, en même temps que l'on voit se former à la surface de l'eau des filets gras de pétrole.

5° DLUGIÉ. — PISAROWCÉ. — PLOWCÉ.

Les excursions à Bobrka, Lubatowka, Ivonicz et enfin Ropianka nous ont permis de traverser en ce point la chaîne des karpathes entre la plaine de Krosno et la frontière de Hongrie, et nous avons vu qu'en ce point nous trouvions rois lignes de faîte des couches, auxquelles correspondaient les gisements de pétrole de Bobrka, Ivonicz et Ropianka ; nous allons maintenant nous transporter à l'est de cette première coupe aux environs de Sanok où nous retrouvons des gisements de pétrole correspondant au prolongement des mêmes lignes de faîte.

Si nous suivons dans la direction de Sanok la ligne N. 110° E. qui passe par les puits de Bobrka et près de l'église d'Ivonicz nous trouvons d'abord quelques puits aux environs de Milcza qui ont rencontré le pétrole, mais sans prendre encore un grand développement. Nous passons encore près de Dlugié par un point remarquable ; en ce point l'on voit apparaître sur la surface du sol une quantité de places rondes où la végétation s'arrête, et qui sont visibles surtout dans les blés où il se forme de grandes places nues qui font contraste avec la fertilité des points voisins ; on a creusé en ces endroits et on y a trouvé d'abord les argiles, puis les grès à pétrole, que l'on a traversés, mais qui n'ont jamais donné que quelques litres de pétrole par jour. Plus loin cette ligne passe près de Nowosielcegniewocz, au point où l'on voit filtrer entre des bancs de grès dans le lit d'un ruisseau de la cire blanche riche en paraffine analogue à celle trouvée à Boryslaw. En poursuivant toujours dans la même direction nous atteignons Pisarowce, où l'on a exploité le pétrole ; l'exploitation y est aujourd'hui abandonnée, mais après avoir rencontré le pétrole en assez grande abondance, et se distinguant de celui de Bobrka par une grande richesse en paraffine dont le pétrole de Bobrka et de Ropianka ne con-

tient que des traces. Enfin cette direction N. 110° E. nous conduit à Plowce qui est aujourd'hui le siége d'une exploitation des plus importantes.

La disposition des puits à Plowce rappelle celle de Ropianka. Les puits très-resserrés occupent deux lignes parallèles, distantes d'environ 30 mètres et dirigées à N. 118° E., ils s'étendent sur le versant septentrional d'une colline gazonnée. C'est la dernière croupe d'une série de contreforts qui se rattachent au sud à la crête rectiligne dirigée du N.-O. au S.-E. parallèlement à la direction générale des plissements et dont le plus haut sommet près de Psunek s'élève de 520 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces puits très-nombreux sont resserrés sur un très-petit espace divisé entre un grand nombre de propriétaires différents, et cette division en rend l'étude très-difficile. On peut cependant conclure des renseignements souvent contradictoires donnés par ces différents propriétaires dont beaucoup croient avoir intérêt à cacher les résultats de leur exploitation, et à garder le secret des notions que peut leur fournir l'expérience de la recherche du pétrole, on peut, dis-je, conclure que tous ces puits rencontrent le pétrole dans des couches de grès, recouverts directement comme à Bobrka par des argiles talqueuses, au-dessus desquelles s'étagent des alternances de grès et d'argiles et de marnes schisteuses. Ces couches sont dirigées à N. 108° E. et plongent uniformément au N.-E. en faisant un angle avec l'horizon qui varie de 45 à 80°. Au milieu du champ d'exploitation les couches sont rejetées par une faille dirigée N. 12° O., presque verticale avec un léger plongement à l'O., de telle sorte qu'à l'ouest de cette faille les grès à pétrole sont sensiblement abaissés. La ligne des puits ne semble pas rejetée par cette faille.

Il faut signaler ici comme à Bobrka et à Ivonicz la présence de l'eau salée et iodurée au-dessous du pétrole.

Les puits de pétrole de Plowce ont une production considérable; mais il est impossible de donner des chiffres à ce

sujet, et d'obtenir des chiffres précis des exploitants, qui craignent surtout en les publiant de donner un aliment aux exigences fiscales du gouvernement autrichien peu populaire comme bien on pense dans ce pays polonais.

Si l'on gravit la colline au-dessus des puits de pétrole, et si on remonte la petite rivière qui passe à Plowce, on trouve le pétrole apparaissant à la surface du sol d'une manière remarquable. Il nous a suffi de remuer un peu le fond de la rivière, et d'y creuser un trou de quelques centimètres, pour y voir affluer le pétrole liquide en grande quantité et tout à fait analogue d'aspect à celui que l'on extrait des puits. En cet endroit le sol est formé de couches presque verticales, formées de grès en bancs minces alternant avec les argiles bleues et noires, schisteuses, d'aspect ardoisier. Le pétrole imprègne les grès et les argiles, mais en regardant d'un peu près, on voit très-nettement le pétrole suinter au contact même des grès et des premiers feuillets d'argiles. En ce point les couches semblent violemment bouleversées, et se présentent suivant la direction N. 152° E. avec plongement vers le nord. Au-dessous de ce point on les rencontre avec la direction N. 110° E. plongeant au N. Plus haut au contraire on les trouve plongeant au sud faisant un angle de 80° avec l'horizon et dirigées encore à N. 110° E.

Le croquis représenté *fig.* 10, Pl. V, indique en coupe cette disposition. Nous avons donc encore ici une ligne de faîte provenant du soulèvement des couches, et probablement comme à Ropianka une ligne de fracture parallèle à ce soulèvement et correspondant à la ligne des puits sur le versant de la colline.

6° KROSCIENSKO.

A l'est de Sanok, l'on quitte bientôt le plateau de Krosno, et l'on rencontre la grande chaîne formée d'échelons paral-

lèles dirigés à N.-O. S.-E, qui se prolonge au nord de la plaine de Krosno jusqu'à la Vistule. Peu de recherches ont été faites jusqu'à présent pour rechercher le pétrole dans cette partie de la chaîne située au nord de Krosno. On nous a pourtant cité des puits qui, creusés depuis quelques années à Weglowka (N.-N.-E. de Krosno), ont rencontré le pétrole, et le produisent en assez grande quantité. On nous a cité encore un point situé près de Krosno même, entre Krosno et Krosciensko, où le pétrole filtre entre les bancs de grès tout le long du lit de la rivière en assez grande quantité pour que les paysans puissent en recueillir quelques litres par jour.

Mais en franchissant la chaîne qui s'élève à l'est de Sanok, et sépare le plateau de Krosno des plaines miocènes du bassin du Dniester, on trouve au faîte même de la chaîne un peu au delà d'Ustriky à Krosciensko le siége de travaux de recherche importants entrepris ces dernières années par une compagnie anglaise.

Krosciensko est situé à quatre heures de poste de Sanok sur la route qui traverse la chaîne de Sanok à Chirow. Partant de Sanok on s'élève d'abord sur une série de collines mamelonnées qui se succèdent et s'étagent les unes au-dessus des autres du N.-O. au S.-E. séparées par des vallées peu profondes; souvent des coupes naturelles permettent de voir la structure de la montagne qui est formée de couches de grès et de schistes alternant; ce sont les grès blancs et les marnes grises feuilletées des Magura-Sandstein. Ces couches sont dirigées parallèlement à la direction des vallées, et plongent uniformément au sud, de telle sorte que les ondulations du terrain ne correspondent pas le moins du monde à des plissements des couches, et ne traduisent pas la disposition du sous-sol; les vallées sont simplement formées par l'érosion des couches les moins dures de cette puissante formation de grès carpathique plongeant au sud.

Un peu au delà d'Ustriky on atteint la ligne de séparation des eaux du bassin de la Vistule, et du bassin du Dniester; et, en suivant la vallée de la Streviacz qui traverse obliquement à leur direction la série de bourrelets parallèles dont est formée la chaîne, on atteint Krosciensko. Une compagnie anglaise qui s'y est installée depuis plusieurs années, y a entrepris des travaux de sondage considérables et est entrée résolûment dans la voie qui seule peut conduire à un résultat vraiment sérieux; au lieu de gaspiller ses efforts en tâtonnements, comme le font tous les propriétaires du pays qui creusent çà et là un grand nombre de puits et qui les abandonnent à la première difficulté qui se présente ou s'arrêtent dès qu'ils rencontrent une nappe de pétrole, la compagnie anglaise a résolu de percer toute la couche de grès de manière à reconnaître le terrain, et à atteindre les réservoirs de pétrole s'ils existent; sans s'arrêter aux points plus ou moins riches que l'on rencontrera en traversant la formation carpathique, elle a décidé d'aller jusqu'au bout et d'atteindre les couches crétacées qui doivent se trouver couvertes par les grès des Karpathes. Les ingénieurs de cette compagnie ont acquis la conviction, que le pétrole devait se trouver en abondance dans cette formation crétacée, et qu'il n'apparaît dans la formation tertiaire qu'en filtrant soit à travers les grès perméables, soit par les fissures des couches argileuses elles-mêmes. Ils citent à l'appui de cette hypothèse la présence du pétrole à *Stuposiany* (point situé au sud-sud-est de Krosciensko près de la frontière hongroise) où affleure la formation crétacée située au-dessous des grès carpathiques; on y a trouvé le pétrole dans des calcaires appartenant à cette formation. On retrouve encore, paraît-il, le pétrole dans ce calcaire, dans la Gallicie orientale près de Dalina et de Mizun, et il existe en ce point, à Ritnia, près de Suchodol, une exploitation importante de pétrole dans ces calcaires. La compagnie anglaise établie à Krosciensko s'est proposée de percer toutes les

couches de grès et d'atteindre ce calcaire où elle espère trouver des réservoirs de pétrole. Elle n'a du reste eu d'autre raison pour s'établir à Krosciensko plutôt qu'en tout autre point de la chaîne, que les conseils d'un empirique américain qui s'était acquis en Pensylvanie une certaine réputation pour la recherche des points riches en pétrole, et prétend entendre le pétrole sourdre sous terre. Quoi qu'il en soit, il y a là à Krosciensko des sondages bien installés et qui, quoique n'ayant pas encore atteint une grande profondeur et n'ayant pas encore traversé la couche tertiaire, ont déjà donné des résultats intéressants, entre autres la seule source jaillissante de pétrole dont il soit fait encore mention en Gallicie.

Ce phénomène de source jaillissante s'est produit dans un sondage, près de Kroscienko, sur la montagne de Gliwa. Dans ce puits on traversa d'abord 8 mètres d'argiles jaunes, de schistes bleus et de grès reposant sur un conglomérat contenant de l'hornblende, de l'asphalte, du sable, du quartz et aussi des petits morceaux de charbon semblable à de la houille peu bitumineuse. Puis on rencontra des alternances de grès et de schistes bleus, en bancs dont l'épaisseur varie de $0^{m},10$ à 1 mètre et $1^{m},50$ et qui se succèdent sur 27 mètres de puissance. A cette profondeur de 35 mètres, on rencontra un banc de 1 mètre de puissance formé de grès feuilletés avec des sables coulants ; et, au-dessous de ce banc, une pierre dure, dont on n'a pas bien déterminé la nature et dont on n'a pu nous montrer d'échantillons, mais qui est probablement soit du silex, soit du calcaire corné ferrugineux analogue à celui que nous avons toujours vu au milieu des schistes près des bancs riches en pétrole. Continuant à sonder en profondeur, on a rencontré une série d'alternances de schistes bleus, de sables, de grès contenant des bancs de quartz, de schistes très-foncés et très-durs, tous imprégnés de pétrole; l'on avait déjà rencontré plusieurs nappes de pétrole que l'on avait épuisées, quant à 97 mètres de profondeur on rencontra de nouveau une pierre très-dure, probablement un banc de quartz.

On était au milieu de cette pierre dure, quand les pompes par lesquelles on épuisait l'eau ont cessé de donner ; retirant ces pompes pour les réparer, on les trouva complétement sèches, et on allait continuer à approfondir quand, tout à coup, les derniers tuyaux posés furent soulevés jusqu'à l'orifice du puits par le pétrole qui jaillit en abondance par le puits et se répandit au dehors. Le pétrole continua à jaillir en si grande quantité que l'on avait peine à le recueillir, et ainsi pendant huit jours, avec des intervalles de repos pendant lesquels le puits était parfaitement sec et ne donnait ni eau ni pétrole. Après ces huit jours, le pétrole cessa de jaillir, mais le puits resta plein de pétrole que l'on put pomper, et on put en extraire ainsi une assez grande quantité. Aujourd'hui on continue à approfondir, et l'on pompe encore de temps en temps pour extraire le pétrole qui remplit le puits, mais qui y afflue peu abondamment.

On n'a eu aucun moyen de reconnaître dans ce sondage la direction exacte des couches ; mais elles plongent toutes au nord-est avec une inclinaison constante de 45 degrés.

Nous venons de voir que dans ce puits, la venue du pétrole avait été annoncée par la rencontre d'une pierre dure qui est soit du silex, soit du calcaire compact. On a cru remarquer à Krosciensko, que ce phénomène est général et que l'on trouve toujours le pétrole au voisinage de cette pierre dure.

Dans un sondage fait près de Storzawa, à peu de distance de Krosciensko, on a rencontré à 16 mètres de profondeur un banc de cette pierre dure. D'après un échantillon qu'on en a conservé, c'était ici un calcaire ferrugineux saccharoïde contenant des cristaux de quartz. Cette couche était discordante avec les schistes et en la traversant on a trouvé au milieu

du banc une cavité pleine de pétrole, tapissée intérieurement d'ozokerite ou cire minérale riche en paraffine pure, et contenant, au milieu du pétrole, des rognons de pyrite blanche. Le relevé du sondage donne la coupe suivante prise à partir du sol :

1° Grès blanc ;

2° Schistes bleus alternant avec des grès et des sables

3° Pierre dure, plus inclinée que les couches, et les coupant obliquement à leur stratification. Au milieu de cette pierre, nid d'ozokérite, contenant du pétrole et des rognons de pyrite ;

4° Schistes bleus alternant avec des grès et sables ;

5° Grès blanc ;

6° Banc de silex de $0^{m},22$ d'épaisseur ;

7° Grès très-dur avec quartz ;

8° Grès blanc ou gris ;

9° Grès très-dur avec feuilles de silex ;

10° Schistes bleus très-bitumineux ;

11° Grès avec quartz.

On n'a pas poursuivi au delà, mais on compte reprendre et continuer prochainement ce sondage. Depuis le banc de calcaire dur, on était dans le pétrole dont toutes les couches étaient plus ou moins imprégnées. En outre il se dégageait du puits une masse considérable de gaz explosifs, vénéneux, qui ont occasionné plusieurs explosions et incendies sur le chantier de sondage à l'orifice du puits. Aujourd'hui encore ce puits produit journellement une certaine quantité de pétrole que l'on pompe toutes les nuits.

L'eau extraite de ces puits et celle qui accompagne le pétrole est toujours plus ou moins salée. On trouve des schistes salés en strates de 2 ou 3 pouces intercalées dans les grès. L'une de ces couches est plus développée et on rencontre toujours ce banc d'argile salifère intercalé entre les grès au-dessus du pétrole.

Auprès d'un puits abandonné nous avons trouvé parmi

les débris des couches traversées par le puits, des bancs de grès contourné entre les feuillets desquels nous avons reconnu des empreintes nombreuses de fucoïdes. C'était la première fois que nous reconnaissions nettement le grès à fucoïdes qui n'affleure nulle part autour de Bobrka ou de Sanok. Nous n'avons pu le voir en place, mais, d'après les renseignements que nous ont donnés les ingénieurs de la compagnie anglaise, ces grès à fucoïdes seraient précisément les grès très-durs contenant des veines de quartz et de kalspath qui se trouvent alterner avec les schistes bleus et les grès ; et on les rencontrerait toujours au-dessus, jamais au-dessous du pétrole.

Outre ces puits où l'on a rencontré le pétrole en assez grande quantité, on entreprend en ce moment des sondages, à quelque distance, sur le versant nord-nord-est d'une colline boisée, à la surface de laquelle apparaissaient au jour des traces de pétrole. Trois puits ont été annoncés à la fois à mi-côte, et alignés suivant une ligne N. 138° E. qui semble être précisément la direction des couches. L'on est en ce moment à 45 mètres de profondeur, et l'on n'a pas trouvé trace de pétrole. L'on a traversé, comme toujours, une série de grès et schistes bleus alternés. Toutes ces couches sont dirigées à N. 138° E. et plongent au nord-est. Si l'on gravit la colline, on trouve sur l'autre versant des couches différentes et plongeant à l'ouest, qui semblent appartenir aux magura-sandstein. En C, au sommet (*fig.* 11, Pl. V), on voit affleurer les couches plongeant à l'est et parmi ces couches les bancs de schistes contenant les bancs de carbonate de chaux compact. Au bas de la colline en D, on voit dans le lit d'un ruisseau les couches de grès verticales dirigées à N. 139° E., presque verticales, mais plongeant à l'ouest. Un peu plus loin, on trouve parallèles aux premiers et plongeant toujours à l'ouest les grès à fucoïdes, contournés, très-durs, contenant des veines de quartz et de calspath. Il résulterait de ces observations,

qu'il y aurait entre A et C une ligne d'écrasement et de redressement des couches, et au-delà de A une ligne de faîte analogue à celle de Bobrka ; mais je ne peux mentionner ces faits qu'avec une grande réserve, parce que le sol couvert de débris végétaux ne permet pas de suivre les couches sur une assez grande longueur pour contrôler ces apparences.

Il faut d'ailleurs noter que l'emplacement des travaux à Krosciensko se trouve précisément sur le prolongement de la ligne N. 110° E. qui passe par Bobrka, Ivonicz, Plowce : une coupe relevée au delà de Krosciensko sur le chemin de Terlo, en un point où le flanc de la colline ravagé par les eaux permet de voir assez nettement les couches, accuse aussi l'existence d'un redressement des couches et d'une ligne de faîte au voisinage de Krosciensko (voir *fig.* 12, Pl. V).

On y distingue, à droite, des grès blancs, plongeant au nord-est, puis une alternance d'argiles feuilletées et de bancs de grès, au milieu desquels apparaissent des bancs de grès ondulé, dur, micacé, glauconien, contenant des veines de spath calcaire, qui est probablement le grès à fucoïdes.

Au-dessous, ce grès dur domine et alterne avec des couches d'argiles bleues, contenant des bancs de carbonate de chaux ferrugineux, divisés perpendiculairement à leur direction, de manière à former une suite de rognons juxtaposés ; en ce point les couches qui plongeaient au nord-est se renversent, et on retrouve la même série de couches plongeant au sud-est et recouvertes encore par les grès blancs. La direction des couches est de N. 120° E.

Dans la partie de droite, elles plongent au nord-est en faisant un angle de 35 degrés avec l'horizon ; à gauche, au contraire, elles plongent au sud-ouest en faisant avec l'horizon un angle de 80 degrés. Le redressement des couches est ici bien net, mais il nous a été impossible de constater le rapport de position de cette ligne de redressement avec

l'emplacement des puits ; ces études de direction sont ici très-difficiles à cause des nombreux accidents de terrains, et des forêts de pins qui couvrent tout le pays et empêchent de s'y orienter exactement et de trouver des repères.

7° BORYSLAW.

Si l'on quitte Krosciensko en se dirigeant vers l'est, l'on suit la vallée de la Strwiacz qui s'est frayé un passage en coupant perpendiculairement à leur direction les couches de grès et de schistes presque verticales ou plongeant au sud dont est constituée la chaîne ; on descend à Chirow par une série d'ondulations qui se prolongent jusqu'à la plaine. Ce n'est plus comme de l'autre côté de la chaîne, aux environs de Sanok et de Krosno, une sorte de plateau formé par des couches verticales tronquées à leur sommet suivant une surface plane ; c'est la plaine proprement dite, qui s'étend du côté de Lemberg, et que borde aux pieds des derniers relèvements karpathiques, depuis Wieliska jusqu'en Bukowine et en Moldavie, la ligne de dépôts salifères dans les marnes et argiles miocènes, recouvertes par les dépôts pliocènes et le Leuss. En suivant vers le sud-est le bord de cette plaine, on atteint Drohobicz, et à 12 kilomètres environ du sud-ouest de Drohobicz se trouve Boryslaw qui produit annuellement une énorme quantité de pétrole et de cire minérale ou ozokérite représentant une valeur de 7 à 8 millions, et qui est à tous les points de vue l'endroit le plus curieux que l'on puisse imaginer.

Qu'on se figure un espace de 250 hectares, sur lequel se serrent littéralement, côte à côte, 11.645 puits, distants l'un de l'autre de 3 ou 4 mètres, de telle sorte que le sol en soit pour ainsi dire criblé à jour, et dont 4.000 environ sont à la fois en activité.

Ces 12.000 puits appartiennent à quatre ou cinq mille propriétaires différents, qui habitent pour la plupart des

petites huttes en bois, construites sur l'orifice même du puits et dans lesquelles ils entassent leur cire sur laquelle ils doivent veiller jour et nuit pour la défendre contre la rapacité et la violence du voisin. Joignez à cela que ces propriétaires sont pour la plupart des juifs, qu'ils appartiennent à cette race des juifs de Russie, de Moldavie et de Pologne dont on ne peut se faire une idée qu'en ayant vécu au milieu d'elle, cette race particulièrement âpre au gain et sordide, qui n'ayant qu'une idée fixe, la passion du gain, et saisissant avidement toutes les occasions pour la satisfaire, s'impose partout comme intermédiaire, accapare toutes les ressources du pays, et est par ignorance autant que par religion rebelle à tout progrès. Songez que quand ils n'exploitent pas eux-mêmes, ils emploient comme ouvriers des paysans polonais, de véritables brutes, que l'on ne peut décider à descendre dans les puits qu'en les grisant d'abord d'eau-de-vie blanche ; et vous parviendrez à vous faire une idée de l'aspect étrange et barbare de cette sorte de vaste campement sur le pétrole. C'est une Californie en miniature à laquelle rien ne manque : ni les revirements subits de fortune, ni les vols, ni les meurtres. On cite un Juif qui fort gêné dans ses affaires, cherchait en vain à emprunter 200 francs pour l'aider à continuer son exploitation, quand il tomba sur une veine d'ozokérite qui, en deux mois, lui rapporta 80.000 francs. Souvent dans un puits où la veille on n'avait pas d'ozokérite, l'ozokérite à moitié liquide s'introduit pendant la nuit souvent avec une grande force, et on le retrouve plein d'ozokérite le lendemain matin.

Le vol et la fraude y sont organisés sur une vaste échelle; creuser une galerie en partant de son puits jusque sous le terrain du voisin, est une chose parfaitement normale; souvent on ne se contente pas de conduire ses travaux sous la propriété voisine, on pratique une ouverture masquée par des planches, par laquelle on passe la nuit de son puits dans celui du voisin pour lui voler l'ozokérite ou même ses outils.

Toutes ces contestations et ces querelles finissent en général par des coups de couteau, et il ne passe guère de jour sans qu'il y ait mort d'homme. Un détail significatif qui caractérise bien cet état d'anarchie, et la nature de cette population : lorsque nous visitâmes Boryslaw l'agent du gouvernement autrichien nous fit accompagner par un gendarme qui nous suivit le fusil au bras pendant tout le temps de notre visite, et sans la présence duquel il aurait été imprudent de s'aventurer trop près des puits.

C'est dans ces conditions que l'on extrait chaque semaine à Boryslaw : 1° 672 tonnes d'huile de pétrole qui vaut sur place 238 francs la tonne et même aujourd'hui ce prix s'élève jusqu'à 300 francs ; 2° 150 tonnes d'ozokérite ou cire minérale naturelle contenant 25 p. 100 de paraffine, 58 p. 100 d'huiles lourdes, 6 à 8 p. 100 de benzine et 17 à 19 p. 100 de goudron et qui vaut 375 francs la tonne. Toutes ces richesses pour se rendre à Drohobicz n'ont d'autre chemin à suivre qu'une route affreuse qui n'est, à vrai dire, autre chose que le lit d'une rivière que l'on suit quelquefois dans l'eau et que l'on traverse à gué dix fois entre Drohobicz et Boryslaw. C'est par ce chemin épouvantable que s'écoulent annuellement 8 millions de marchandises.

Un péage installé sur cette route à raison de $0^{f},04$ par cheval, produit annuellement 9.000 francs. En hiver, quand la rivière est grosse, toute communication est interrompue. Dans ces conditions le transport à Drohobicz coûte de $3^{f},60$ à $5^{f},50$ par tonne. De Drohobicz à Przemysl où l'on rejoint le chemin de fer, le transport s'élève à 25 ou 30 francs la tonne.

On pense bien qu'au milieu de ce désordre il est absolument impossible de réunir sur le gisement et sur les circonstances qu'il présente des notions un peu précises.

Chaque propriétaire exploite sur ses quelques mètres carrés de terrain, au hasard, et sans méthode ; lui demander des renseignements sur la nature et la position des couches serait tout à fait inutile; et quand on le questionne, il n'a qu'une idée, c'est de voir en vous un acheteur possible qu'il a intérêt à tromper. Quant à l'exploitation elle-même, c'est ce qu'on peut imaginer de plus désordonné ; c'est un gaspillage inouï et un bouleversement complet du terrain qui rendrait même pour l'avenir impossible une exploitation sérieuse ; c'est dans toute la force du terme ce que les allemands appellent énergiquement un « Raub-Betrieb. »

On peut cependant dire d'une manière générale que, en creusant les puits, on trouve, à partir de la surface, d'abord des argiles jaunes reposant sur un lit de cailloux roulés et de gravier. Au-dessous de ces alluvions, à une profondeur de 10 à 20 mètres, on trouve, d'abord des argiles plastiques, puis des alternances de chistes bleus et de grès, plus ou moins imprégnés de pétrole ; et contenant une ou plusieurs couches d'argile roux. Ces couches sont complétement brisées et bouleversées. Leur inclinaison varie de l'horizontale à la verticale, leur plongement du nord au sud. Au milieu de ces couches brisées, on trouve ordinairement soit le pétrole, soit l'ozokérite, soit les deux ensemble. Le pétrole se trouve imprégnant les grès, ou plutôt entre les grès et les schistes. Quant à l'ozokérite, on la rencontre en veines de 2 ou 3 pouces, et quelquefois d'un pied d'épaisseur, qui se présentent avec les directions et les plongements les plus irréguliers. On trouve encore l'ozokérite en feuillets minces comme du papier, remplissant les failles dont toutes les couches sont traversées. Les couches sont en quelque sorte hachées dans tous les sens, et il semble que ce soit surtout au voisinage de ces failles que l'on rencontre le pétrole et l'ozokérite. Nous avons cherché sur les tas près des puits le grès à fucoïdes sans pouvoir le rencontrer. Mais nous avons trouvé en abondance, et vu en place dans un puits où nous nous sommes fait descendre, une masse marneuse noire tout à fait analogue à l'Hasel-Gebirge dans laquelle se trouve le sel de Wieliska et de toutes les salines qui bordent les Karpathes. Cette masse boueuse contient de l'ozokérite que l'on sépare au jour en lavant les terres.

On trouve aussi l'ozokérite en veines dans les strates du grès, et alors elle est souvent accompagnée de gypse. Le gypse et le sel accompagnent du reste d'une façon presque constante l'ozokérite sous forme de cristaux très-nets, et même assez considérables, empâtés dans la cire plastique. Il semble que l'on puisse faire à cet égard une distinction entre la partie sud et la partie nord du champ d'exploitation ; dans la région sud il n'y aurait guère que deux puits où l'on exploiterait l'ozokérite, et les autres puits ne donneraient que du pétrole ; dans cette même région on rencontrerait le sel en grande abondance, au milieu des marnes et des argiles ; mais je ne puis donner ce fait que sous toutes réserves, mes renseignements à cet égard étant très-incertains. L'ozokérite, lorsqu'elle se rencontre dans les puits en couches un peu considérables, forme une masse semi-fluide qui, probablement sous la pression des terrains supérieurs, jouit d'une force d'expansion considérable. Non-seulement elle brise tous les cadres de bois par lesquels on cherche à la contenir et elle disloque les puits, mais souvent on l'a vue soulever les ouvriers qui travaillaient au fond du puits, et les ramener ainsi jusqu'au jour en s'épanchant à la surface.

Les exploitants de Boryslaw se contentent en général de creuser à partir de la surface un puits circulaire de 3 mètres de diamètre, jusqu'à ce qu'ils aient traversé les premières couches argileuses, et atteint le niveau de gravier où se trouve de l'eau. Cette première partie du puits a 14 à 16 mètres de profondeur ; au centre de ce puits

circulaire, on construit une colonne carrée de 1m,30 de côté, formée de cadres en bois jointifs, et on remplit de glaise l'espace libre autour de cette colonne centrale dans le premier puits circulaire. C'est sur cette section carrée de 1m,30 de côté, que l'on continue à creuser le puits, en garnissant toujours le puits de cadres en bois jointif, formés de rondins coupés par leur tranche, et assemblés à leurs extrémités. On continue ainsi à approfondir à travers les schistes brisés, et en rencontrant sur son passage ordinairement une ou plusieurs couches d'ozokérite, jusqu'à ce que l'eau ou les gaz asphyxiants ne permettent plus de continuer. On épuise alors l'eau et le pétrole; puis on remonte dans le puits en dirigeant dans les veines d'ozokérite des galeries boisées et coffrées. Quand une de ces veines est épuisée, on laisse ébouler la galerie ou quelquefois on remblaie, et on remonte plus haut pour prendre une autre couche d'ozokérite. Le fonçage des puits coûte 7 à 8 francs le mètre courant dans la première partie (puits circulaire de 3 mètres de diamètre). Dans les schistes, le prix s'élève de 10 à 12 francs, et jusqu'à 18 et 20 fr. le mètre courant, non compris l'épuisement des eaux. Dans les galeries on paye à l'avancement 15, 16 et 18 francs par mètre courant. Les ouvriers du fond gagnent 1f,60 à 2f,50; ceux du jour gagnent 1f,20.

Au jour, à l'orifice du puits, se trouve installé un treuil à deux manivelles, sur lequel s'enroule un fil de fer, à chaque extrémité duquel est suspendu un seau, par lequel on remonte la cire minérale et les ouvriers. De plus, les ouvriers au fond du puits sont attachés par une corde de sûreté pour pouvoir les remonter en cas d'accident. L'aérage se fait très-mal par un ou deux ventilateurs à main installés à la bouche de chaque puits envoyant l'air par des tubes en fer et manœuvrés ordinairement par des femmes.

Rien ne peut donner une idée de l'état de dislocation de ces puits. Nous sommes descendus dans un de ces puits,

qui passe partout pour un des mieux tenus. Il fait partie d'un groupe de puits appartenant à une compagnie viennoise; les puits communiquent entre eux par une galerie inférieure, et l'épuisement se fait par l'un d'eux au moyen d'une locomobile. On y descend dans un seau, suspendu par une ceinture à une corde de sauvetage. Il faut se guider avec les mains contre les parois; c'est un voyage des plus dangereux dans ce puits étroit, disloqué et contourné en véritable sinussoïde; les cadres plongent dans tous les sens, et sont brisés par la pression de la terre et de l'ozokérite. Au fond, la galerie inférieure était éboulée, et l'ozokérite en couche semi-fluide faisait irruption dans le puits en provoquant à chaque instant des éboulements; il est impossible de rester quelques minutes dans le puits, sans éprouver de la lourdeur de tête et de l'étourdissement. On conçoit que dans ces conditions le nombre des accidents soit des plus élevés. Sur 10.000 ouvriers qui travaillent à Boryslaw 2.000 sont employés aux travaux du fond; on compte par an 200 ou 300 accidents presque tous mortels, dus à des asphyxies, explosions ou éboulements; encore ce nombre est-il le résultat d'une grande amélioration; il y a quelques années on comptait 1.000 morts par an, dues aux accidents. Un effet singulier est celui que produisent sur les ouvriers les gaz asphyxiants qui se dégagent des puits; ils produisent sur eux un véritable enivrement des plus agréables, à tel point que la plupart d'entre eux n'ont plus alors la force de faire le signal pour qu'on les remonte du puits, qu'il faut les en arracher de force, et qu'une fois au jour il faut encore les tenir à quatre pour les empêcher de redescendre dans le puits, pour respirer ces gaz enivrants. Ces phénomènes m'ont été attestés par un propriétaire du pays qui se trouvant un jour au fond de ces puits avec un de ces ouvriers, et étant pris par les mauvais gaz, se mit à gambader et à divaguer au fond du puits, et il lui fallut, dit-il, une grande force de volonté

pour se faire remonter au jour, et s'arracher à ses impressions voluptueuses.

Comme on le voit par cette description, le sol de Boryslaw récèle d'immenses richesses, mais qui sont aujourd'hui en grande partie gaspillées par une exploitation désordonnée, et l'anarchie la plus honteuse règne dans cette petite Californie polonaise. Des efforts ont été tentés dans ces dernières années pour l'arracher à ce pillage, tant par le gouvernement autrichien que par des compagnies financières. Ceux du gouvernement se sont heurtés contre l'impossibilité d'agir énergiquement dans ce pays, au milieu de l'hostilité systématique de toutes les classes de la population à toute ingérence autrichienne. Il doit se contenter aujourd'hui de toucher à Boryslaw un impôt annuel de 4 francs par puits, et de faire un peu de police à coups de plats de sabre ou de baïonnettes. Quant aux efforts tentés par des compagnies financières pour fonder à Boryslaw une exploitation sérieuse, ils ont toujours échoué jusqu'ici; il semble impossible de traiter une affaire sérieuse avec cette population hypocrite et voleuse, dans ce pays où la propriété est mal définie et son mode de transmission souvent incertain; une grande difficulté est encore de réunir entre ses mains ce terrain actuellement divisé à l'infini; dix propriétaires se présentent prétendant tous posséder le terrain, et d'ailleurs leurs exigences deviennent intolérables, dès qu'ils supposent que l'on a besoin d'acheter leur terrain; le prix du terrain s'élève à Boryslaw jusqu'à 160.000 francs le jock (carré de 80 mètres de côté).

Nous avons vu que Boryslaw se trouve précisément au pied des derniers relèvements karpathiques, au bord de la plaine miocène. A 6 kilomètres au nord-est de Boryslaw, nous rencontrons la couche d'argile salifère qui borde toute la formation carpathique depuis Wieliska. C'est cette formation qui est exploitée à Stebnik; nous l'avons décrite dans notre journal de voyage. Rappelons simplement que cette

formation se compose de marnes noires emportant du salzthon, et du sel en gros cristaux; cette formation plonge au sud et semble disparaître sous la formation des karpathes, dont elle est par conséquent séparée par une faille. Boryslaw semble précisément situé sur cette faille. Entre Boryslaw et Stebnik, se trouvent à Truskawicz des eaux minérales célèbres. Ce sont des eaux ferrugineuses, carboniques et sulfhydriques plus ou moins chargées de pétrole. Plusieurs puits creusés aux environs de Truskawicz y ont rencontré le pétrole; mais l'exploitation ne s'est pas encore développée en ce point et est restée concentrée à Boryslaw.

De l'autre côté de Boryslaw, si on remonte la vallée vers le sud-ouest et que l'on dépasse les premiers relèvements des Karpathes, on rencontre à Mrzaznica quelques puits à pétrole. Ce n'est que le commencement d'une exploitation dont on ne peut guère encore prévoir les résultats. Le plus profond des puits n'a que 20 mètres. On a déjà rencontré le pétrole moins riche en paraffine et moins lourd que celui de Boryslaw. Les alternances de grès et schistes bleus par couches presque verticales plongeant au sud, que l'on voit affleurer dans un ruisseau un peu au-dessus de l'emplacement des puits montrent bien nettement que l'on est déjà ici dans la chaîne éocène et que, par conséquent, Boryslaw occupe précisément l'emplacement de la faille située entre les argiles salifères miocènes et les premières assises de grès karpathique, et qui borde la chaîne dans toute son étendue. Je n'ai pu avoir aucune donnée exacte sur la succession des couches traversées à Mrzaznica, mais les échantillons recueillis près des puits m'ont permis de reconnaître outre les argiles schisteuses bleues, les grès à fuccoïdes, et un calcaire verdâtre dur, très-cassant, contenant beaucoup de quartz.

DEUXIÈME PARTIE.

RÉSUMÉ GÉOLOGIQUE ET CONCLUSIONS.

Nous voici arrivés au terme de ce voyage dans le pays du pétrole; nous pouvons maintenant regarder en arrière.

Bien que nous n'ayons parcouru que les exploitations situées dans la Galicie centrale, et que nous n'ayons visité, ni celles situées à l'ouest aux environs de New-Sandec, ni celles qui en Bukowine et en Moldavie s'étendent sur tout le développement de la chaîne; bien que, sur les points mêmes que nous avons visités, l'absence de travaux de recherches méthodiques ne nous ait permis de recueillir souvent sur la nature des couches et leur position que des renseignements superficiels, nous pouvons déjà déduire des faits observés plusieurs conclusions importantes au sujet de la nature, de l'origine, et de la répartition des gisements du pétrole.

La chaîne des Karpathes nous est apparue comme formée par une puissante formation de couches parallèles, se succédant sur une grande épaisseur, et qui, presque verticales ou plongeant au sud, ont été tronquées par les érosions postérieures de manière à former une série de falaises parallèles dirigées du nord-ouest au sud-est. A l'étage supérieur de cette formation, apparaît un étage très-développé formé de grès blanc et d'argiles feuilletées alternant. Ce sont les « magura-sandztein » de M. Paul. Les écailles de poisson trouvées près de Lubatuwa par M. Zeuschner, quelques rares fossiles, entre autres le « Nummulites perforata » trouvés près de Gorlice permettent de rapporter ces couches à la fin de la période éocène. Dans ses « *Geologische Verh-*

ältnisse der Nord-Karpathen » M. Hohenegger classe ces couches dans la période éocène sous le nom de couches à nummulites. Elles semblent correspondre aux grès de Fontainebleau.

Au-dessous de cette formation dont elles sont séparées par un conglomérat quartzeux à gros grains, apparaissent des couches plus ou moins bitumineuses. Elles sont formées d'alternances de grès et de schistes bleus feuilletées argileux ou marneux; à cet étage, appartiennent les bancs de calcaire à chaux hydraulique, de calcaire ferrugineux, de sphérosidérite et de silex, les bancs de grès à veines de calspath, les marnes bitumineuses et asphaltiques, les bancs de silex et enfin les grès ondulés à fucoïdes.

Ces couches affleurent naturellement sur les crêtes tronquées des plissements, et c'est dans ces couches que nous avons rencontré le pétrole. Ces couches sont caractérisées par le grès à fucoïdes et par des débris de poissons. Ce sont les marnes à ménilites. Elles correspondent au flish à fucoïdes de la Suisse, de l'Apennin, de l'Algérie, de la Sicile, aux gypses de Montmartre, aux sels gemmes des hauts plateaux de l'Algérie.

Au nord-est, les assises presque verticales et plongeant au sud de ces couches viennent se dresser au-dessus de la plaine miocène de Gallicie, et aux pieds de ces derniers escarpements la plaine est bordée par les marnes salifères formées de masses boueuses, renfermant des amas de sel cristallisé plus ou moins pur, très-inclinées au sud et semblant disparaître sous les premières assises de grès des Karpathes, contre lesquelles elles viennent buter, et dont elles sont séparées par une faille qui s'étend tout le long de la chaîne, parallèlement à la direction des couches relevées. C'est sur cette faille, au point où les dernières couches à ménilites brisées et fracturées en tous sens se mélangent avec les premières marnes miocènes que se trouve placé Boryslaw. Au-dessus du sel, entre la ligne des salines et les

Karpathes, se trouvent des argiles mélangées de gypse et de soufre.

Nous avons dit que nous avions toujours rencontré le pétrole accompagnant les couches à ménilites, principalement au niveau des bancs de grès avec veines de calspath, de silex, et de sphérosidérite, et au-dessous des grès à fucoïdes. M. le professeur Fœtterlé, dans un mémoire inséré au Jahrbuch de la Société géologique de Vienne (1859, tome X, V. 183), regarde l'existence du pétrole comme liée à la présence de ces couches à ménilites. Suivant lui le pétrole est une émanation des schistes noirs et bitumineux qui composent ces couches à ménilites et au milieu desquels il apparaît au jour ; l'huile volatile distillerait de ces schistes sous l'influence de la température extérieure, et aussi sous l'influence de la chaleur développée par le foisonnement des pyrites qu'elles contiennent, de telle sorte que la présence du pétrole ne serait qu'un phénomène superficiel, et que l'on ferait fausse route en cherchant à l'obtenir autrement que par une sorte de drainage des couches voisines de la surface, et en le recherchant en profondeur par des sondages. Cette hypothèse ingénieuse est démentie par les faits. D'abord, s'il est vrai que dans toute la Galicie centrale l'on rencontre le pétrole dans les couches à ménilites, ce n'est pas là un fait général. D'après M. de Hochstetter, on rencontre le pétrole dans les environs de New-Sandec aussi bien dans les couches de schistes sablonneux et argileux, non bitumineux, caractérisées par des Bryozoaires et des Pentacrinites, et appartenant à l'étage à nummulites, comme à Clerzany, que dans les couches à ménilites comme à Gribow. A Boryslaw, le pétrole se trouve aux pieds des couches à ménilites, mais aussi dans des marnes salifères miocènes ; nous avons signalé au sud de Krosciensko l'exploitation de Stuposiany où on a trouvé le pétrole dans le calcaire sur lequel repose la formation tertiaire, et sur lequel il est par conséquent impossible d'admettre que les produits de la distillation des schistes bitumineux tertiaires soient venus se condenser. Près de Dolina, à Ritnia, près de Suchodol, dans la Galicie orientale, on exploite le pétrole en grande abondance dans les couches calcaires, qui ne sont autres probablement que les couches néocomiennes affleurant au mur de la faille qui s'étend au pied de la chaîne comme aux environs de Cracovie. Il est donc avéré que le pétrole n'appartient pas exclusivement à un niveau de couches, puisqu'on le rencontre indifféremment dans toutes les formations. *D'ailleurs dans les couches à ménilites elles-mêmes, les points où nous rencontrions le pétrole n'étaient pas des points quelconques ;* la richesse de ces couches en pétrole était liée intimement et nécessairement à des phénomènes stratigraphiques remarquables ; aux points mêmes où était signalé le pétrole, nous trouvions de grandes différences entre les richesses de puits très-voisins, et les puits qui fournissaient le pétrole étaient disposés suivant certaines lois, alignés suivant certaines directions. Un fait frappant s'est imposé à notre attention pendant toute cette étude ; c'est la relation étroite qui existe entre la répartition du pétrole dans les couches et leurs lignes de fractures. A Bobrka, près de l'église d'Ivonicz, au-dessus des bains d'Ivonicz, à Ropianka, à Plowce, à Krosciensko, partout où nous avons rencontré le pétrole, nous avons reconnu que ces points correspondaient à des lignes de plissement et par conséquent de fracture des couches. En tous ces points la coupe des couches, perpendiculairement à leur direction, se présentait suivant le diagramme *a*, *fig.* 5, Pl. V, et les puits riches en pétrole étaient alignés soit suivant la crête même de ce soulèvement, soit sur un des versants, parallèlement à la crête et correspondaient par conséquent à une des lignes de fractures parallèles produites naturellement par la flexion des couches. Nous avons rencontré d'autres lignes de renversement des couches, conjuguées aux premières crêtes, et disposées suivant le

diagramme *b*, *fig.* 6, Pl. V; en ces points qui correspondent à une brisure des couches, mais par écrasement, et par conséquent sans production de fissures béantes, nous n'avons jamais vu le pétrole affluer en quantité exploitable; mais nous y avons reconnu des traces de pétrole filtrant à travers les couches verticales au point même du redressement, et se manifestant par leur odeur. A Boryslaw nous trouvons le pétrole en abondance, et ce point remarquable par la richesse en pétrole est encore un point de bouleversement et de fracture des couches; il est situé sur la faille qui longe les Karpathes; les couches y sont brisées et hachées par une série de failles. Dans le district de New-Sandec, M. de Hochstetter signale aussi la concordance des points riches en pétrole avec les lignes de fracture des couches. Nous retrouvons enfin la même loi en Amérique où le pétrole apparaît au jour dans les terrains de transition, M. Gauldrée Boileau s'exprime en ces termes : « On rencontre le pétrole « en Virginie, en Pensylvanie et dans l'Ohio dans des fissures « presque verticales; *la richesse des terrains en huile miné-* « *rale paraît être en rapport avec le nombre des fissures* « *qu'ils contiennent.* »

C'est par ces fissures que le pétrole qui s'élève en vapeur des horizons inférieurs vient se condenser et s'accumuler près de la surface. C'est par elles qu'il vient affluer dans les puits. Il afflue à la façon d'une source, plus ou moins suivant la pression de la colonne d'eau qu'il supporte et qu'il a à traverser pour s'élever au jour. N'oublions pas à cet égard les faits signalés à Bobrka, où nous avons vu que l'on activait le débit des puits en pompant le pétrole et en l'aspirant ainsi par les fissures. Au bout d'un certain temps d'écoulement les fissures s'obstruent peu à peu par les dépôts goudronneux qu'y laisse le courant de pétrole, et il faut approfondir le puits pour trouver un autre plan d'écoulement du pétrole.

M. Coquand, dans son intéressante description des gîtes

de pétrole de Moldavie et de Valachie, a vu les faits sous un autre jour. Suivant lui « le pétrole aurait été amené par des « sources aux différentes époques géologiques dans les ter- « rains mêmes où on les trouve aujourd'hui et au moment « même de la formation de ces terrains. Il a imprégné au- « tour de ces points d'émargement des surfaces plus ou « moins étendues en s'incorporant aux différents éléments « minéraux qui se stratifiaient au fond des mers ou des lacs. « Quand la roche dans laquelle le pétrole s'était déposée « était poreuse, il s'est trouvé exposé à une distillation; « et, par la pente de ces éléments volatils, il a été réduit « à l'état de liquide chargé d'une quantité plus ou moins « considérable de goudron ou transformé complétement « en asphalte. Lorsqu'au contraire, comme dans les Prin- « cipautés danubiennes, le pétrole s'est déposé dans des « argiles, il y est resté emprisonné et on ne peut l'en reti- « rer qu'en le recueillant dans des puits nombreux et très- « rapprochés qui opèrent une sorte de drainage de l'ar- « gile. » M. Coquand distingue deux niveaux de pétrole; l'un au-dessus des marnes à ménilites, l'autre au-dessus des grès correspondant aux grès de Fontainebleau, c'est-à-dire correspondant à peu près aux sels de Wieliska. Et il conclut en disant : « Les pétroles, dans leur distribution géogra- « phique, sont subordonnés à un terrain déterminé et non « à une direction géologique indépendante du terrain... « ..... Les volcans d'air, salzes et dégagements d'hydro- « gène protocarboné sont dus à la décomposition du pé- « trole et jamais à des phénomènes volcaniques. »

Cette hypothèse nous semble en désaccord avec tous les faits que nous avons pu observer. Nous avons montré la grande diversité des couches dans lesquelles on rencontre le pétrole, et la coïncidence constante de la présence du pétrole avec les lignes de fracture des couches. Partout où nous avons pu voir le pétrole, il nous est apparu, non pas emprisonné dans des argiles imperméables qu'il aurait im-

prégnées au moment de leur dépôt, mais filtrant entre les joints qui séparent ces argiles des grès perméables ; d'ailleurs ces argiles sont feuilletées et fendillées en tous sens, et traversées par des fissures verticales en grand nombre, de sorte qu'elles ne peuvent former des bancs imperméables emprisonnant le pétrole ni même isolant l'un de l'autre les différents bancs de grès. D'ailleurs l'existence de réservoirs où est accumulé le pétrole sous pression est attestée par les énormes rendements des puits qui ont le bonheur de rencontrer des fissures qui les mettent en communication avec ces réservoirs, et par les phénomènes de sources jaillissantes observées à Krosciensko. D'autre part, les gaz hydrocarburés qui se dégagent en un grand nombre de points du sol, au voisinage des gîtes de pétrole, qui accompagnent ce pétrole lui-même, et qui se dégagent dès qu'on l'atteint accompagnés d'acide carbonique et de vapeur d'eau, peuvent difficilement être considérés comme résultant de la décomposition du pétrole. Dans un mémoire publié en 1867 dans le Jahrbuch de l'Institut géologique de Vienne (Das Petroliums Terrain West-Galizien. — Jahrbuch, 1867), M. Ellenberger étudie ces bulles de gaz hydrocarburé qui se dégagent à la surface de l'eau dans un puits à pétrole. Il remarque que ces bulles se recouvrent en traversant l'eau d'une pellicule irisée de pétrole pur; il constate que par compression ou refroidissement ces gaz se condensent et donnent du pétrole pur, et que l'analyse chimique de ces gaz montre leur identité avec les produits de la volatilisation du pétrole ; et il conclut que ces gaz ne sont autre chose que le pétrole à l'état de vapeur tel qu'il se dégage du sein de la terre, pour venir se condenser à l'état liquide dans les couches plus froides de la surface.

Enfin les gîtes de pétrole en Galicie nous apparaissent comme subordonnés à une direction géologique, et se trouvent immédiatement élevés et alignés suivant cette direction. Nous avons toujours constaté que dans tous les

centres d'exploitation du pétrole, les puits riches étaient rigoureusement alignés suivant une certaine direction. Cette direction était

A Bobrka et Ivonicz.	N. 116° E.
A Plowce.	N. 108° E.
A Ropianka.	N. 115° E.
A Krosciensko.	N. 138° E.

En tous ces points cette direction des puits semble être précisément la direction des couches, sauf à Ropianka, où la direction des couches semble être de N. 138° E., tandis que la direction des puits est N. 115° E. En tous ces points nous avons vu quelle était l'importance de ces directions, nous avons reconnu que partout où ces directions rencontraient un cours d'eau où l'on puisse voir les couches, on pouvait, en remuant la vase, constater la présence du pétrole. Dans le district de New-Sandec, M. de Hochstetter ne manque pas de signaler cette loi et constate que les puits sont alignés suivant une direction de N. 95° à 108° E. Ce n'est pas tout. Outre ces alignements locaux dans chaque centre de production, ces centres eux-mêmes sont alignés d'une manière remarquable. Nous avons vu qu'en prolongeant la ligne des puits de Bobrka, on rencontre successivement les exploitations de pétrole du bas de la vallée d'Ivonicz, de Dlugié, de Plowce, et qu'en prolongeant cette ligne on passe précisément par l'exploitation de Krosciensko. En prolongeant cette ligne au N. O., elle passe aux environs de New-Sandec par Sielliska, où il y a aussi une exploitation de pétrole. Si par Ropianka nous menons une parallèle à cette ligne, elle va au N.-O. enfiler exactement toute la ligne des exploitations de district de New-Sandec, savoir: Passadava, Librantava, Wielogawi, Klenzanij, Pizarzawa, Limanowa, et cette même ligne, prolongée au S.-E., va passer encore par l'exploitation signalée à Stuposianij. Les puits de Bobrka, Ivonicz et Ropianka sont d'autre part ali-

gnés perpendiculairement à cette même direction. Cette direction, même sur la carte, est N 105° E. Elle joue un rôle évident dans la distribution du pétrole dans cette classe. Elle est différente de la direction générale de la chaîne qui, d'après la direction bien nette des chaînons sur la carte, est de N. 126° E. Mais comme elle en diffère peu en chaque point, les fissures qui en résultent suivent la stratification des courbes, et par conséquent les alignements des puits en chaque point se confondent sensiblement avec les alignements des couches. Si nous construisons la rose des directions pour cette contrée, et si nous la rapportons par exemple au point déterminé par la longitude 21° E. et la latitude 49° 20′ N., ce qui correspond à très-peu près à la position de Boryslaw, nous trouvons que le cercle primitif du Lands'End est dirigé précisément à N. 104° 9′ 40″ E., et qu'il coupe le méridien de Boryslaw à 7′ 52″ seulement au nord de Boryslaw, de telle sorte que ce grand cercle primitif traverse précisément la région du pétrole, et que les points riches en pétrole sont alignés sur son parcours parallèlement à sa direction. Si nous suivons ce cercle sur le globe, nous le voyons traverser les plaines du Don, où le pétrole se rencontre en abondance, et aller passer précisément par les gisements de pétrole de la mer Caspienne. Ce grand cercle primitif joue donc sans conteste un rôle fondamental dans la répartition des gîtes du pétrole, tant en Galicie que sur toute la surface du globe. On connaît du reste déjà l'existence de la réouverture du Lands'End pendant la période éocène, au commencement du grès de Fontainebleau. C'est le système de la Corse, de l'Eridan, et de la vallée du Rhône.

Nous connaissons donc dès à présent deux lois bien nettes qui président à la répartition du pétrole. 1° *Tous les points où le pétrole apparaît au jour correspondent à des plissements et à des fissures des couches;* 2° *ces points sont alignés suivant des directions géologiques, et principalement*

subordonnés au cercle primitif du Lands-End. En tous les points où afflue le pétrole, ces deux circonstances indépendantes l'une de l'autre, et également nécessaires, doivent se produire simultanément : 1° fissures des couches superficielles, permettant au pétrole, soit accumulé dans des réservoirs intérieurs, soit même produit par des émanations actuelles, de s'élever jusqu'à la surface; 2° alignement sur l'une des directions suivant lesquelles ces émanations se produisent, ou se sont produites à des époques antérieures. M. de Hochstetter, dans son mémoire sur le pétrole du district de New-Sandec semble n'avoir tenu compte que de la première de ces considérations bien distinctes. Il reconnaît que « l'origine du pétrole en Gallicie est due à une ligne de dislocation, ou plutôt à un système de dislocations parallèles qui traverse la masse des Carpathes sur une largeur de 40 milles dans la direction est-sud-est. L'huile entraînée par les gaz suit ces lignes de fracture, et remplit les fissures. » Mais il ne va pas plus loin, et sans reconnaître ces alignements remarquables, qui proclament l'origine éruptive des émanations, il cherche à expliquer ces émanations par la distillation de matières, soit minérales, soit végétales enfouies à une grande profondeur. « Il est, dit-il, conduit à penser que le pétrole de Galicie est le produit de la distillation d'un bassin houiller, qui s'étendrait sous toute la Galicie, et serait le prolongement du bassin houiller des environs de Cracovie. »

M. de Hochstetter est amené à cette conclusion par l'exemple des schistes bitumineux de Steyerdorff dans le banat. Ces schistes imprégnés d'une faible quantité de pétrole que l'on en extrait par distillation, sont manifestement situés à Steyerdorff au contact d'une formation houillère et la présence du pétrole dans ces schistes est probablement due, en effet, à la distillation de la houille qu'ils recouvrent. Mais pour expliquer ainsi la formation des quantités considérables de pétrole qui affluent au jour en Gallicie, dans les

principautés Danubiennes et en Amérique, il faudrait admettre l'existence de couches de houille d'une puissance considérable, dont il n'existe aucune trace au-dessous des couches à pétrole, ni en Galicie, ni dans les Principautés Danubiennes, ni en Amérique. Il existe, en effet, aux environs de Cracovie, du côté de la frontière, un petit bassin houiller; mais il est formé de couches parfaitement circonscrites remplissant une cuvette, et correspondant probablement à un étage supérieur du bassin houiller de Silésie. Aucun indice n'autorise à croire que cette formation se prolonge dans la Galicie, et on ne trouve sur les collines qui bornent la Galicie à l'est, du côté du Dniester, aucune trace d'affleurements de terrain houiller. On trouve, en effet, au milieu des couches du grès carpathique des conglomérats contenant des petits débris de charbon ou d'asphalte et que l'on peut comparer aux débris de charbon et de houille qui, d'après M. Hohenegger, sont caractéristiques des conglomérats éocènes de Silésie. Mais ces débris sont en somme peu importants, et ces résidus asphaltiques sont dus simplement à l'oxydation du pétrole et du bitume en contact de l'air extérieur.

Dans le même ordre d'idées, M. Gauldrée Boileau explique la formation du pétrole par « la décomposition de « débris animaux et végétaux amoncelés sur les rivages, et « recouverts de sables et de dépôts calcaires qui les pro- « tégeaient contre le contact de l'air atmosphérique. La « décomposition de ces détritus s'effectuait dans une sorte « de vase clos. L'oxygène de ces matières donne CO et HO, « et il reste des mélanges de H et de C les uns demi-so- « lides ou bitumes, les autres liquides ou pétrole, les au- « tres à l'état de fluides élastiques comme le gaz des ma- « rais. »

Pour nous, l'*alignement remarquable suivant un cercle primitif du réseau des points où le pétrole accumulé par des émanations antérieures ou actuelles se dégage à la surface à*

a faveur des fissures et fractures du sol, nous semble recommander singulièrement l'hypothèse de l'origine éruptive du pétrole. M. Sainte-Claire Deville, dans ses remarquables travaux sur les émanations gazeuses des évents volcaniques de Sicile, a signalé dans les salzes de Sicile « la présence de l'hydrogène carburé qui se transforme rapidement en acide carbonique à mesure que l'on se rapproche du foyer incandescent qui gît au-dessous de l'Etna. » (Seconde lettre à M. Dumas.). Et il résume ses idées à ce sujet par cette phrase : « Le gisement actuel de l'hydrogène carboné est l'extrémité des chaînes de montagnes récemment soulevées. »

La coïncidence du pétrole en Gallicie avec les dépôts de sphérosidérite et de calspath en veines calcaires dans les grès, avec la présence des eaux minérales comme à Ivonicz et à Truskawiecz, avec le sel et le gypse comme à Boryslaw confirme l'hypothèse de l'origine éruptive du pétrole. Nous avons signalé dans les couches éocènes riches en pétrole, la présence des eaux iodurées et bromurées qui l'accompagnent, ainsi que des gaz carbonique et hydrocarburé. Nous avons signalé la présence des eaux minérales ferrugineuses, carboniques ou sulfureuses, et iodurées d'Ivonicz et Truskawiecz, et de la naphte dont ces eaux sont toujours chargées. Nous avons enfin remarqué que les eaux qui accompagnent le pétrole sont presque toujours plus ou moins salées. Au milieu même de la formation éocène on rencontre plusieurs couches minces d'argile, plus ou moins salifères qui donnent aux eaux qui les traversent une réaction salée, mais les gisements de sel proprement dits sont postérieurs à ce terrain éocène, et remplissent la faille qui s'étend aux pieds des Karpathes de Wieliska ainsi qu'en Moldavie ; au-dessus sont des masses de gypse, les dépôts de soufre et les eaux sulfureuses de Swoszowice. Nous avons vu à Boryslaw le pétrole et l'ozokérite intimement mélangés avec l'argile salifère et empâtant des cris-

taux de sel et de gypse, au pied des Karpathes et au bord de cette formation miocène. Au-dessous de cette formation miocène on retrouve, paraît-il, en traversant la masse salifère, les marnes éocènes imprégnées de pétrole. La conviction contraire est généralement répandue en Galicie, et partout où on rencontre le sel, on désespère généralement de trouver le pétrole au-dessous; c'est ainsi qu'à Boryslaw, 15 puits abandonnés, parce qu'on y avait rencontré le sel, ont été achetés pour 50 florins par des juifs, qui ont traversé le sel et trouvé une grande quantité de pétrole; à Dalina une saline a été abandonnée parce qu'à 144 mètres de profondeur, on avait rencontré le pétrole; M. Güld, ingénieur de la compagnie anglaise de Krosciensko y étant descendu, m'a dit y avoir parfaitement vu au-dessous d'une couche de sel de 30 mètres de puissance des marnes bleues imprégnées de pétrole. D'ailleurs dans toute les salines de cette région les bancs de sel les plus rapprochés du mur sont toujours plus ou moins bitumineux. A Bochnia on a trouvé en poussant une galerie au mur de la couche de sel, du gaz hydrocarburé en abondance, qui força de rebrousser chemin; à la saline de Slatina près de Sigeth en Marmarosh, on a trouvé au milieu du sel lui-même, dans une couche d'argile, une masse de gaz hydrocarboné qui s'est élevée dans le puits, et a pris feu au jour; depuis on n'en a plus trouvé de traces. Ces faits établissent très-nettement la relation du pétrole et de ces dépôts salins de l'époque miocène. *Le pétrole se trouve mélangé au sel à Boryslaw, en tous les autres points on rencontre les produits hydrocarburés au-dessous du sel.*

Il y aurait un grand intérêt à connaître la loi suivant laquelle varie la nature du pétrole, suivant le lieu et suivant la profondeur où on le rencontre. Nous n'avons malheureusement pas à ce sujet de renseignements suffisamment précis, l'aréomètre dont nous nous étions munis ayant été cassé dès les premiers jours de notre voyage. La densité

du pétrole varie entre 20 et 50 degrés Baumé suivant sa plus ou moins grande pureté, et suivant sa richesse plus ou moins grande en paraffine. Celui de Bobrka ne contient pas du tout de paraffine; celui de Pisarowce, de Boryslaw, et de Neusandec, en contient au contraire une quantité notable. L'ozokérite ou cire minérale semi-fluide contenant 25 à 30 p. 100 de paraffine, n'a été rencontrée en quantité considérable qu'à Boryslaw; mais dans tous les points on la rencontre isolée en veines dans les feuillets des grès, et toujours au-dessus du pétrole. Dans le district de New-Sandec on rencontre au-dessus du pétrole, l'ozokérite en plus grande quantité, et elle forme quelquefois près de la surface une couche de 2 à 3 pouces d'épaisseur. Dans tous les puits au niveau supérieur desquels on rencontre des traces un peu notables d'ozokérite, on constate que le pétrole est plus lourd et riche en paraffine. M. Ellenberger s'est préoccupé de la question des variations que présente le pétrole aux différents points où on le rencontre; il a reconnu que la nature et la densité du pétrole variait entre des points très-voisins; il a établi cette loi que *dans un même puits la densité du pétrole diminue à mesure que l'on descend en profondeur.* M. Ellenberger s'est attaché à expliquer ces différences par l'influence que peut exercer sur la nature du pétrole la nature des couches qu'il traverse, et le plus ou moins de résistance qu'elles opposent à son mouvement; ainsi le pétrole trouvé dans des calcaires ou dans des argiles est clair, d'odeur agréable, tandis que celui que l'on rencontre dans les schistes bitumineux à ménilites, est noir, goudronneux et d'odeur désagréable. Il y aurait sans doute un grand profit à appliquer à l'étude de ces phénomènes les idées développées par M. Charles Sainte-Claire Deville, et à voir comment varie la nature de ces produits éruptifs en chaque lieu, et en un même lieu suivant le temps.

Peut-être pourrait-on arriver ainsi à dresser le tableau

de la série des émanations successives, et en quelque sorte des remplissages successifs de ce filon au sommet duquel nous apparaissent le gypse, le soufre et le sel, puis les pétroles de moins en moins chargés en paraffine, et de plus en plus légers et volatils, présentant les termes successifs de la série $C^{2m}H^{2m+2}$, dans laquelle les indices vont en décroissant jusqu'au gaz des marais $C^{1}H^{4}$.

NOTES.

A. — Distillation du pétrole.

Le pétrole brut est distillé dans une quantité de petites usines que contient le pays. La manipulation est des plus simples. Le pétrole est distillé dans les chaudières en cuivre à une température d'environ 250 degrés centigrades. Il donne les benzines, des huiles lourdes, des huiles de graissage ; il reste comme résidu des goudrons, dont on fait généralement de l'asphalte. Ainsi à Chorchowka où l'on distille tout le pétrole extrait à Bobrka, on extrait 10 p. 100 de benzine, 50 p. 100 d'huiles lampantes, 20 p. 100 d'huiles de graissage, et 5 p. 100 de résidus goudronneux.

Les benzines sont mélangées aux huiles de graissage, et l'on obtient ainsi les huiles que l'on vend comme huiles lampantes de seconde qualité. Elles satisfont aux règlements de police qui prescrivent pour les huiles du commerce une certaine densité minimum ; mais elles sont d'un usage extrêmement dangereux, à cause de la quantité de benzine et d'huile volatile qu'elles renferment. C'est là une véritable falsification, qui est pratiquée uniformément dans toutes les fabriques de Galicie, et que les fabricants avouent naïvement comme la chose la plus simple du monde.

Les huiles lampantes obtenues par distillation sont raffinées par l'action successive de l'acide sulfurique de Nordhausen, et de la soude caustique. On agite les huiles mélangées avec 6 à 10 p. 100 d'acide sulfurique de Nordhausen, pendant environ une heure, puis on fait agir la soude. L'acide sulfurique et la soude qui ont

servi à la purification des premières huiles lampantes servent une seconde fois pour le raffinage du mélange d'huile de graissage et de benzine, que l'on traite par 20 p. 100 d'huile sulfurique.

B. — Raffinage de la paraffine.

Nulle part en Galicie on n'extrait du pétrole la paraffine qu'il contient ; on se contente d'extraire la paraffine de l'ozokérite qui en contient 25 à 30 p. 100. La principale fabrique de paraffine est située à Drohobicz. Nous allons la décrire sommairement.

L'ozokérite brute au sortir du puits est fondue sur place à Borys-law même pour séparer la terre qu'elle contient. On fond simplement l'ozokérite brute sur une plaque inclinée, sur laquelle reste la terre. On perd dans cette opération jusqu'à 25 p. 100. On a cherché à remplacer cette opération par une fusion à la vapeur ; mais on n'a pas jusqu'à présent obtenu ainsi de bons résultats, parce qu'il reste dans l'ozokérite de l'eau, qui fait explosion dans le chaudron de distillation. L'ozokérite brute fond à 15 degrés.

On obtient ainsi des gâteaux d'ozokérite fondue, contenant 25 p. 100 de paraffine ; ces gâteaux sont distillés dans des cornues qui contiennent chacune, soit 1.400 kilogrammes soit 1.960 kilogrammes. Il y a deux cornues du premier modèle et quatre du second. Les produits de la distillation sont dirigés dans un serpentin ; le diamètre intérieur du serpentin est de 2 pouces ; le diamètre des spires de 4 pieds ; il n'y a que 4 spires ; on a été amené successivement à diminuer le nombre des spires, et à augmenter leur diamètre. Ces serpentins sont refroidis par de l'eau froide qui entre à 10 degrés dans les cuves et en sort à 60 degrés. Aucune séparation n'existe entre le point où l'on recueille les produits de la distillation et les foyers des cornues, de sorte qu'il arrive à chaque instant des explosions et des incendies.

L'opération dure douze heures. On ne fait qu'une opération par quarante-huit heures, on obtient 6 p. 100 de benzine, 84 p. 100 de distillat, et 10 p. 100 de résidus dans la cornue.

Le distillat obtenu contient toute la paraffine ; pour l'en séparer, on le presse dans des toiles sous des presses hydrauliques, toute l'huile liquide s'échappe à travers la toile, la paraffine reste sous forme d'écailles. Ces écailles brutes sont fondues dans les cuves avec 5 p. 100 d'acide sulfurique, ou simplement avec la benzine produite dans la première distillation. On fait arriver un courant de vapeur d'eau qui entraîne la benzine, et la paraffine fondue et

purifiée s'écoule. On la represse de nouveau, la refond, et ainsi trois ou quatre fois suivant sa pureté.

Les résidus exprimés dans la deuxième et dans la troisième pression sont mêlés avec le distillat. On obtient à chaque presse par opération 280 kilogrammes de paraffine en écailles, on fait douze opérations par jour à chaque presse.

On obtient aussi des huiles liquides, et de la paraffine brute en écailles. Ces écailles valent aujourd'hui 366 francs la tonne.

Ces huiles liquides obtenues par la pression sont distillées de nouveau, dans les cornues contenant 280 à 450 kilogrammes. On obtient :

1° 40 p. 100 d'huiles bleues lampantes qui sont raffinées avec 50 kilogrammes et la soude ;

2° 40 p. 100 d'huiles plus lourdes contenant de la paraffine, que l'on sépare par force centrifuge ;

3° 20 p. 100 de résidus.

Les écailles de paraffine brute sont fondues dans une cornue avec injection de vapeur. La benzine se condense dans un serpentin, la paraffine coule par la partie inférieure, est lavée par la vapeur dans une cuve avec du noir animal, et coule dans de longues caisses avec un fond en toile sur laquelle elle sèche. On la refond de nouveau à la vapeur, et on la coule en moules pour la fabrication des bougies.

DE L'ÉQUILIBRE D'ÉLASTICITÉ

ET

DE LA RÉSISTANCE DU RESSORT A BOUDIN.

Par M. H. RÉSAL, ingénieur des mines.

Formules fondamentales. — Considérons une portion d'hélice comprenant un nombre entier de spires et dont les extrémités soient ramenées vers l'axe par deux courbes identiques comprises chacune dans un plan perpendiculaire à cet axe. Ces deux courbes sont, en projection sur un plan perpendiculaire à l'axe, symétriquement situées par rapport au diamètre qui joint les extrémités de l'hélice.

Concevons qu'un cercle, dont le diamètre soit au plus égal au pas, se meuve normalement au système de l'hélice et des deux courbes de raccordement que son centre est censé décrire. On obtiendra un solide qui, formé d'une matière élastique, constituera un ressort à boudin.

En fixant à un point invariable l'une des extrémités du ressort, de manière que l'axe de l'hélice soit vertical, on fera fonctionner l'appareil en adaptant un poids Q à son extrémité inférieure.

Les courbes de raccordement ont pour objet de maintenir à très-peu près les points fixes et d'accrochage de la charge dans la même verticale. On arrive à cette conclusion par des considérations très-simples se rattachant à la théorie de la résistance des matériaux. Mais indépendamment de ces considérations, j'ai tenu à vérifier expérimentalement le fait dont il s'agit, comme on le reconnaît en jetant un coup d'œil sur la note placée à la fin de ce travail.

Nous admettons donc dans ce qui suit que les extrémités du ressort restent constamment dans la même verticale.

Cela posé, soient

α le complément de l'angle d'inclinaison de la tangente à l'hélice non déformée, sur son axe :

R le rayon du cylindre sur lequel cette hélice est tracée :

$$(\alpha) \qquad \rho = \frac{R}{\cos^2\alpha}, \quad \tau = \frac{R}{\sin\alpha\cos\alpha},$$

les rayons de courbure et de cambrure de cette courbe (*);

r le rayon du cercle générateur dont le moment d'inertie par rapport à son axe est $\frac{\pi r^4}{2}$, et relativement à un diamètre $\frac{\pi r^4}{4}$.

E, μ les coefficients d'élasticité et de glissement et de la matière (**).

Dans les hypothèses ci-dessus admises, l'hélice, après sa déformation, quelque grande qu'elle soit, reste encore une

(*) Ces deux expressions peuvent s'obtenir très-facilement par la géométrie, ainsi que je le fais voir dans la note (2) placée à la fin de ce mémoire.

(**) La théorie mathématique de l'élasticité donne

$$\frac{\mu}{E} = \frac{1+\frac{\lambda}{\mu}}{2+3\frac{\lambda}{\mu}},$$

λ étant une constante que l'on pourrait appeler le coefficient de dilatation.

D'après M. Lamé, le rapport $\frac{\lambda}{\mu}$ serait variable d'un corps à un autre.

Poisson et Cauchy ont trouvé $\lambda = \mu$ par une méthode d'intégration autour d'un point, maintenant contestée, donnant à la matière une continuité qu'elle n'a pas, hypothèse qui cependant, dans

hélice : il serait peut-être fort difficile de démontrer analytiquement ce théorème, mais nous l'établirons synthétiquement en démontrant qu'il satisfait aux conditions du problème.

certaines questions, est appelée à donner une approximation des plus satisfaisantes.

La relation précédente conduit à

$$\frac{\mu}{E} = \frac{2}{5} = 0{,}4000.$$

Wertheim, à la suite de quelques expériences, est arrivé à poser

$$\frac{\lambda}{\mu} = 2,$$

et par suite

$$\frac{\mu}{E} = \frac{3}{8} = 0{,}378.$$

Enfin, en mettant en regard les valeurs moyennes de E, μ, obtenues directement et respectivement par Wertheim, et MM. Duleau et Favart, on arrive à former le tableau suivant :

	$\frac{E}{10^8}$	$\frac{\mu}{10^8}$	$\frac{\mu}{E}$
Fer forgé	200	65	0,325
Fer laminé	208	60	0,289
Acier d'Allemagne	210	80	0,381
Acier fondu	250	100	0,400
Cuivre	115	44	0,383
Bronze	32	11	0,344
Fonte	91	20	0,220

La moyenne des valeurs de $\frac{\mu}{E}$ déduite de ce tableau est 0,335. Toutefois, la fonte n'étant, pas véritablement isotrope, il paraît assez convenable de ne pas en tenir compte, ce qui élève la moyenne ci-dessus à 0,354, chiffre assez peu différent de celui que propose Wertheim. Dans tous les cas, les chiffres du tableau précédent pour E et μ offrent trop d'incertitude pour qu'on puisse conclure en faveur de Poisson et Cauchy et de Wertheim ; et en effet, ces deux coefficients ont été déterminés par des expérimentateurs différents, sur des échantillons qui pouvaient varier au point de vue de la structure, de la composition et du travail mécanique

Nous désignerons par α', R', ρ', τ' les quantités relatives à l'hélice déformée correspondant à α, R, ρ, τ.

Considérons une section normale quelconque, et décomposons la force Q en deux autres, l'une Q sin α' comprise dans le plan osculateur de l'hélice, et l'autre Q cos α' perpendiculaire à ce plan.

La première composante donnera le moment Q R' sin α' par rapport au diamètre de la section situé dans le plan osculateur ; de sorte que l'on aura comme si la pièce était à simple courbure et en négligeant comme on le fait d'habitude la dilatation de la fibre moyenne

$$\frac{E\pi r^4}{4}\left(\frac{1}{\rho'}-\frac{1}{\rho}\right)=QR'\sin\alpha', \tag{1}$$

et en posant

$$\frac{4Q}{E\pi r^4}=K, \tag{\beta}$$

il vient, en vertu de la première des relations (α),

$$\frac{\cos^2\alpha'}{R'}-\frac{\cos^2\alpha}{R}=KR'\sin\alpha'. \tag{2}$$

L'autre composante Q cos α' donnera le moment QR' cos α' par rapport à l'axe normal à la section, et produira un effet de torsion. Ainsi les sections successives de la pièce éprouveront l'une sur la précédente un déplacement rotatoire relatif. Si θ est l'angle de torsion rapporté à l'unité de longueur, on a d'après un principe connu

$$\frac{\mu\pi r^4\theta}{2}=QR'\cos\alpha'. \tag{3}$$

Soient (Pl. VI, *fig.* 2) *ab*, *bc*, *cd* trois éléments égaux consécutifs de l'hélice avant la torsion ; *ds* leur longueur commune ; *k* la projection de *c* sur le prolongement de *ab*. On peut supposer que la torsion a lieu successivement de section en section. Si donc la torsion s'effectue autour de *ab* considéré comme fixe, que *bc* vienne en *bc'*, l'angle *ckc'* aura pour valeur

$$\theta . aK = 2\theta\, ds.$$

Dans cette rotation le point *d* vient en *d'*, et en définitive le plan osculateur *cba* a tourné de l'angle $2\theta ds$ autour de *ab*.

La torsion élémentaire suivante fera tourner autour de *bc'* le plan osculateur *bc'd'* dont l'angle avec le précédent *c'ba* était resté le même qu'avant la première torsion. Il suit de là que l'angle de deux plans osculateurs de l'hélice a varié de l'angle $2\theta ds$ d'où résulte la relation

$$\frac{1}{\tau'}-\frac{1}{\tau}=2\theta,$$

où, en vertu de l'équation (3),

$$\frac{\mu r^4}{4}\left(\frac{1}{\tau'}-\frac{1}{\tau}\right)=QR'\cos\alpha', \tag{4}$$

formule qui offre une analogie remarquable avec la formule (1) relative à la première courbure (*).

dont ils avaient été l'objet, et nous avons pris pour E les moyennes des chiffres donnés par les tables. Jusqu'à présent, M. Lamé paraît être dans la vérité. Qu'il nous suffise de remarquer que le rapport $\frac{\mu}{E}$ ne descend pas au-dessous de 0,220, et qu'il ne dépasse pas 0,400, que la fonte ne doit pas être considérée comme un corps homogène, que les limites ci-dessus doivent être remplacées par 0,289 et 0,403, dont la moyenne est 0,345.

Nota. — La rédaction de ce mémoire est bien antérieure aux expériences de M. Cornu, qui, en opérant sur des barres de cristal, a trouvé $\lambda=\mu$.

(*) Ce qui tendrait à justifier la dénomination de rayon de torsion donnée à $\tau\tau'$, au lieu de celle de rayon de cambrure que nous avons empruntée à M. de Saint-Venant.

En posant

$$\frac{4Q}{\mu r^4} = K' \tag{7}$$

il vient

$$\frac{\sin\alpha'\cos\alpha'}{R'} - \frac{\sin\alpha\cos\alpha}{R} = K'R'\cos\alpha'. \tag{5}$$

Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer que le rapport

$$\frac{K}{K'} = \frac{\mu}{E} \tag{8}$$

ne varie généralement de l'un à un autre des métaux les plus usuels qu'entre les limites 0,300 et 0,400.

Il nous reste à vérifier maintenant si les équations (2) et (5) sont compatibles entre elles, ou si elles donnent pour α' et R' des valeurs réelles. Pour nous en assurer, éliminons les termes $\frac{1}{R'}$ entre les équations (2) et (5); nous obtenons

$$R' = \frac{1}{R}\frac{\cos\alpha\sin(\alpha'-\alpha)}{K'\cos^2\alpha' - K\sin^3\alpha'}. \tag{6}$$

Portant cette valeur dans l'équation (2), il vient :

$$R^2\cos\alpha'(K'\cos^2\alpha' - K\sin^2\alpha')^2 - \cos^2\alpha\sin(\alpha'-\alpha)\times [K'\cos\alpha\cos\alpha' - K\sin\alpha\sin\alpha'] = 0. \tag{7}$$

Il faut que cette équation en α' ait une racine réelle comprise entre α et $\frac{\pi}{2}$; or en substituant successivement ces deux limites à la place de α', on obtient des résultats positifs ; le tout revient donc à prouver qu'une valeur de α' comprise entre α et $\frac{\pi}{2}$ conduit à un résultat régatif. On remarquera à cet effet que le premier membre de l'équation (7) s'annule pour

$$\frac{\sin^2\alpha'}{K'} = \frac{\cos^2\alpha'}{K}, \tag{8}$$

d'où

$$\operatorname{tang}\alpha' = \sqrt{\frac{K'}{K}}, \tag{9}$$

que dès lors, abstraction faite du facteur essentiellement positif $K\cos^2\alpha$, le second terme se réduit à

$$-\sin^2(\alpha'-\alpha)\sin\alpha'\cos\alpha' \text{ (*)}$$

quantité essentiellement négative, et c'est précisément ce qu'il fallait prouver. Si

$$\operatorname{tang}\alpha' < \sqrt{\frac{K'}{K}},$$

on a d'après les limites assignées ci-dessus au rapport $\frac{K}{K'}$ $\alpha < 63°$ à $79°$, suivant la substance employée (angles bien supérieurs à ceux qui sont adoptés dans la pratique), et la racine réelle de l'équation (7) que l'on devra admettre sera comprise entre α et la valeur fournie par la formule (8). En posant

$$\operatorname{tang}\alpha' = x, \quad \operatorname{tang}\alpha = a,$$

la même équation (7) devient

$$R^2(1+a^2)^{\frac{3}{2}}(K'-Kx^2)^2 = (1+x^2)^{\frac{3}{2}}(x-a)(K'-axK) = 0, \tag{10}$$

ou

$$R^4(1+a^2)^{\frac{3}{2}}(K'-Kx^2)^4 = (1+x^2)^3(x-a)^2(K'-aKx)^2 = 0, \tag{11}$$

équation du sixième degré dont on trouvera la racine qui convient au problème soit algébriquement, soit par l'intersection de deux courbes, lorsque l'on connaîtra les valeurs numériques de R, K, K'.

Cas d'une faible déformation. — Ainsi, au point de vue

(*) Cette remarque est due à M. Chevilleit, professeur de mathématiques spéciales au lycée de Besançon.

analytique, la solution du problème proposé, considéré dans toute sa généralité, est complète, mais elle ne conduit à aucun résultat général qui puisse permettre de déterminer analytiquement la section que doit avoir un ressort pour qu'il puisse résister à une charge maximum donnée, même en supposant α ou a très-petit comme cela a lieu pour les machines à pointes, à clous, etc., à moins toutefois que l'on ne considère le cas où la déformation est très-faible; c'est celui qui se présente le plus souvent et que nous allons maintenant examiner. Posons

$$\delta\alpha = \alpha' - \alpha;$$

la formule (7) donne, en négligeant les puissances de cette différence supérieures à la première,

$$(12)\quad \delta\alpha = \frac{R^2 \cos\alpha\,(K'\cos^2\alpha - K\sin^2\alpha)}{\cos^2\alpha + 5R^2\sin\alpha\left(K'\cos^2\alpha + K\sin^2\alpha - \frac{K}{5}\right)}.$$

La relation (6) devient de la même manière

$$(13)\quad R' = \frac{1}{R}\frac{\cos\alpha}{K'\cos^2\alpha - K\sin^2\alpha} = \frac{R\cos^2\alpha}{\cos^2\alpha + 5R'\sin\alpha\left(K'\cos^2\alpha + K\sin^2\alpha - \frac{K}{5}\right)}.$$

Les termes en K, K' étant de l'ordre de $\delta\alpha$, on peut écrire tout simplement

$$(14)\quad \delta\alpha = \frac{R^2}{\cos\alpha}(K'\cos^2\alpha - K\sin^2\alpha);$$

$$(15)\quad R' - R = -5R^2\,\mathrm{tang}\,\alpha\left(K' + \frac{4}{5}\,\mathrm{tang}^2\alpha - \frac{K}{5}\right)$$

Or, K' étant supérieur à $\frac{K}{5}$, on aura toujours $R' < R$.

De plus si l'angle α est très-petit, il en sera de même de $R - R'$; ces deux résultats sont conformes à ceux de l'observation. (Voir la note 1.)

Calcul de la section d'un ressort à boudin. — Désignons respectivement par Γ, Γ' les limites maximum des efforts élastiques longitudinal et transverse que l'on veut développer dans le ressort.

Il est facile de voir, en faisant entrer en ligne de compte la dilatation de la fibre moyenne, que la tension élastique maximum, estimée parallèlement à la tangente à cette fibre, est

$$Q\frac{\sin\alpha'}{\pi r^2} + E\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right)r,$$

valeur qui doit être au plus égale à Γ.

On a donc, en ayant égard à la formule (1),

$$(16)\quad r^3 \geqq \frac{Q(r + 4R')\sin\alpha'}{\pi T}\ (*).$$

En supposant l'égalité, remarquant que r peut généralement être négligé devant $4R'$, que R' diffère ordinairement peu de R et peut être remplacé par cette dernière longueur, ce qui arrive plus ou moins en compensation de l'erreur résultant de la précédente hypothèse, il vient

$$(17)\quad r^3 = \frac{4QR\sin\alpha'}{\pi\Gamma} = \frac{4QR\,\mathrm{tang}\,\alpha'}{\pi\Gamma\sqrt{1 + \mathrm{tang}^2\alpha'}}.$$

L'élimination de α' entre les équations (7) et (17) donnera une équation en r dont on devra prendre la plus petite racine positive, qui ne sera toutefois admissible qu'autant qu'elle satisfera à la condition

$$\mathrm{tang}\,\alpha \geqq \frac{r}{\pi R}.$$

(*) Il serait plus exact de remplacer l'inégalité (16) par celle qui résulte de la formule établie par M. de Saint-Venant, et qui fait connaître la valeur de la plus grande dilatation.

Pour ne pas avoir à se préoccuper de cette condition, ce que l'on aura de plus simple à faire sera de ne pas se donner *à priori* l'angle α, que l'on fera dépendre de r en vertu de la relation

$$\text{tang}\,\alpha = a = \frac{r}{\pi R}, \tag{18}$$

qui exprime qu'à l'état naturel toutes les spires se touchent, comme cela a lieu d'ailleurs presque toujours dans la construction des ressorts à boudin employés dans les machines. Considérant $\text{tang}\,\alpha' = x$ comme une abscisse et r comme une ordonnée, les équations (11 et 17) représenteront deux courbes dont l'intersection la plus voisine de l'origine fera connaître l'inconnue r.

Au point de vue de la torsion, il faut que

$$\Gamma' \geqq \mu r 0,$$

ou en vertu de l'équation (3)

$$r^3 \geqq \frac{2\,QR'\cos\alpha'}{\pi\Gamma'}, \tag{19}$$

condition à laquelle on satisfera en posant

$$r^3 = \frac{2\,QR\cos\alpha'}{\pi\Gamma'} = \frac{2\,QR}{\pi\Gamma'\sqrt{1+\text{tang}^2\alpha'}}. \tag{20}$$

Cette relation, jointe aux équations (10) et (18), fera connaître r, et l'on devra choisir la plus grande des deux valeurs obtenues par la considération de l'une ou de l'autre des formules (17) et (19).

Il ne paraît pas que l'on ait déterminé, pour les métaux autres que la fonte, la résistance maximum, la résistance à la rupture par torsion; mais comme pour l'allongement on ne fait guère travailler la matière qu'au 1/8 ou au 1/6 de

la résistance à la rupture par extension, on pourra sans inconvénient prendre

$$\Gamma' = \Gamma,$$

Γ étant la valeur que donnent les tables pour obtenir une grande sécurité.

On satisfera à la condition (19) en posant

$$r^3 = \frac{2QR}{\pi\Gamma'}, \tag{21}$$

formule qui sera applicable au cas des faibles charges, mais qui donnerait pour r une valeur beaucoup trop grande pour rendre possible l'exécution pratique lorsque Q dépassera certaines limites. Dans tous les cas, il ne sera pas inutile de calculer préalablement la valeur de r fournie par l'équation (21) en vue de se faire de la grandeur de l'inconnue une idée qui peut notablement simplifier les calculs ultérieurs.

NOTE I. — *Résultats de l'observation relatifs à la mise en charge d'un ressort à boudin.*

J'ai suivi, à l'atelier de construction de Casamène, une expérience exécutée sur un ressort à boudin avec courbes de raccordement terminées par deux petits manchons métalliques faisant corps chacun avec un crochet.

Le ressort avait 7.580 millimètres de développement, 41 spires serrées les unes contre les autres; le diamètre du fil de fer était de 8 millimètres et le diamètre extérieur des spires de 67 millimètres.

La longueur occupée par les spires à l'état naturel parallèlement à l'axe, était de 333 millimètres.

Le ressort ayant été suspendu verticalement à un point fixe à

l'aide de l'un de ses crochets, on a adopté au crochet inférieur un plateau pesant 12k,3 et destiné à recevoir des poids.

Désignant par Q la charge totale en kilogramme, par h la hauteur du ressort estimée en millimètres, nous avons obtenu les résultats suivants :

Q	h	
0,0	333	
12,3	345	En enlevant la charge, le ressort reprend sa hauteur primitive et
32,3	380	la limite de l'élasticité n'a pas été dépassée.
52,3	425	En réduisant la charge de 20 kilog., h revient à. 385
		et la limite est dépassée.
72,3	485	En enlevant 20 kilog. à Q, h revient à. 437
		— 40 — — 394
92,3	570	— 20 — — 527
112,3	870	— 20 — — 775
117,3	970	— » — — . . . . . »
127,3	1,230	En supprimant la totalité de la charge, h se réduit à. . . . 990

Quoique le ressort ait été forcé presque dès le début de l'expérience, nous n'avons pu observer aucun écart de son extrémité inférieure par rapport à la verticale du point de suspension, accusé par un fil à plomb.

Sous la plus grande charge, le diamètre extérieur du ressort a conservé la valeur primitive à l'approximation près que comportent les calibres des ateliers.

NOTE II. — *Sur la double courbure de l'hélice.*

Considérons (*fig.* 3) une hélice BMM′ tracée sur une surface cylindrique quelconque dont AN′NB représente une section droite.

Je mène aux deux points consécutifs M, M′, les tangentes MQ, M′Q′ qui rencontrent la section droite ci-dessus en Q et Q′; les génératrices MN, M′N′, et les tangentes NQ, N′Q′ aux points N, N′ de cette section.

On a pour le rayon de courbure,

$$\rho = \frac{MM'}{Q\hat{M}'Q'}.$$

Si l'on désigne par α l'inclinaison des tangentes à l'hélice sur le plan AN′NB, on a

$$M'M = \frac{NN'}{\cos\alpha},$$

et comme QQ′ est perpendiculaire à NQ, N′Q′

$$QQ' = M'Q' \times Q'\hat{M}'Q = N'Q' \times Q'\hat{N}'Q = MQ\cos\alpha \times Q'N'Q,$$

d'où

$$Q'\hat{M}'Q = Q'\hat{N}'Q \times \cos\alpha,$$

par suite

$$\rho = \frac{NN'}{Q'\hat{N}Q} \cdot \frac{\cos^2\alpha}{1},$$

et si R désigne le rayon de courbure de la section droite

$$\rho = \frac{R}{\cos^2\alpha}.$$

Quant à la direction de ρ, il est facile de voir qu'elle est parallèle à QQ′ ou à R.

Soient MP la normale au plan osculateur en M; MP′ une parallèle à la normale au plan osculateur en M′; ces deux droites rencontrent le plan de la section droite AB en P, P′. Le plan MP′N étant parallèle au plan tangent au cylindre suivant M′N′, l'angle dièdre ou de cambrure MN′ mesuré par l'angle, plan PNP′ est l'angle de deux plans tangents consécutifs à ce cylindre, c'est-à-dire l'angle de contingence de la section droite AB; de sorte que l'on aura pour le rayon de cambrure τ.

$$\tau = \frac{MN'}{P'MP} = \frac{NN'}{P'\hat{M}P} \cdot \frac{1}{\cos\alpha};$$

or

$$PP' = PM \times P'\hat{M}P = PN \times P'\hat{N}P = PM\sin\alpha \times P'\hat{N}P,$$

d'où

$$P'MP = P'\hat{N}P\sin\alpha$$

et

$$\tau = \frac{NN'}{P'\hat{N}P} \times \frac{1}{\sin\alpha\cos\alpha} = \frac{2R}{\sin 2\alpha}.$$

On remarquera que

$$\frac{\rho}{\tau} = \operatorname{tang}\alpha,$$

$$\rho\tau^2 = R(\rho^2 + \tau^2).$$

NOTE SUR LE PLANIMÈTRE DE AMSLER.

Par M. COMBES, inspecteur général des mines.

M. Ch. Laboulaye a donné dans le tome 5 des *Annales du conservatoire national des arts et métiers*, un extrait d'une notice publiée par MM. Piccard et Cuenoud, dans le bulletin de la société Vaudoise des sciences naturelles à Lausanne, contenant la description et l'explication de l'ingénieux planimètre polaire de M. Amsler de Schaffhouse, dont l'usage, en raison de la simplicité de sa construction et du bas prix auquel il est livré (50 à 80 francs selon la grandeur), commence déjà à se répandre et s'étendra sans doute rapidement.

Cet instrument est représenté par les *fig.* 4 et 5 de la Pl. VI. Il se compose de deux tiges métalliques AB, CD étagées comme le montre la projection verticale *fig.* 4, et comprenant entre elles un angle variable, comme le montre la projection horizontale *fig.* 5. La tige supérieure AB porte à son extrémité un style S, dont l'opérateur promène la pointe sur le périmètre de la figure à mesurer ; la tige inférieure CD, mobile autour de l'axe de la pièce pivotante *aa*, porte à son extrémité un appendice P, terminé en-dessous par une pointe aiguë, qui est enfoncée dans le papier sur lequel est tracée ladite figure. Le point P, qui demeure fixe, pendant l'opération du mesurage, est le pôle de l'instrument.

EEE est une pièce formée d'un tube creux prismatique à base carrée ajusté sur la tige AB, dont la section est également carrée, dans la partie qu'enveloppe le tube creux. La pièce entière EEE peut ainsi glisser longitudinalement

sur la tige AB ; elle est amenée à la position voulue et y est ensuite maintenue au moyen du coulant G placé en avant, qui peut être fixé à volonté par une vis de pression et auquel la pièce EE est reliée par la vis de rappel V, qui procure le mouvement lent, par le moyen de la molette à écrou M. La pièce EEE porte, entre les branches de deux retours d'équerre tournés vers le bas, la roulette R, dont le contour repose sur le papier et constitue l'un des trois points d'appui de l'instrument sur ce papier durant l'opération. La roulette tourne autour d'un axe perpendiculaire à son plan et parallèle à l'axe de la tige AB ; elle est divisée à la circonférence et un vernier *u* fixé à la branche d'équerre la plus rapprochée permet d'apprécier les fractions de division. Le nombre de révolutions entières de la roulette est accusé par un totalisateur T. Enfin le pivot vertical *aa* autour duquel tourne la pièce CD dirigée vers le pôle P est monté sur la même pièce EEE. Il résulte de ce qui précède que la longueur de la tige CD comptée depuis l'axe du pivot *aa* jusques au pôle P est invariable ; elle doit être déterminée avec précision, lors de la construction de l'instrument. Il en est de même de la distance du plan de la roulette à l'axe du même pivot *aa* ; elle est également une des données de la construction. Quant à la distance de la pointe du style S à l'axe du pivot *aa*, elle est variable entre des limites peu écartées et doit être réglée d'une façon précise, au moment où l'on veut se servir de l'instrument. A cet effet, la tige AB porte une graduation, qui donne l'échelle ou la valeur des divisions de la roulette pour les positions diverses que peut occuper la pièce mobile EEE.

La *fig.* 6 représente une masse de métal dont on charge l'extrémité voisine du pôle de la tige CD, afin que la pointe dont l'appendice P est armée, s'enfonce dans le papier ou même dans la planche sur laquelle il est tendu, de façon à assurer la fixité du pôle durant l'opération.

Une théorie de l'instrument fondée sur des considéra-

tions élémentaires a été donnée par MM. Piccard et Guenoud, et reproduite dans les *Annales du conservatoire*. Elle peut être abrégée, sans lui rien ôter de sa clarté, en faisant usage de l'algorithme du calcul infinitésimal. Cette théorie, comme celle de tous les instruments du même genre, a pour point de départ les principes suivants: une roulette s'appuie sur une feuille de papier plane par un point de sa circonférence, ou plutôt par une génératrice très-courte de son contour cylindrique; elle est montée sur un axe perpendiculaire à son plan, autour duquel elle est libre de tourner, et son centre est entraîné dans le mouvement de cet axe qui se déplace dans un plan parallèle à celui du papier, de telle sorte que ce plan et celui de la roulette restent toujours perpendiculaires l'un sur l'autre. Le frottement du papier à la circonférence de la roulette fait tourner celle-ci autour de son axe, de manière qu'il n'y ait pas glissement sur le papier dans le plan de la roulette, qui peut pivoter autour du rayon perpendiculaire au papier aboutissant au point de contact, en raison de la variation que subit la direction de son axe et glisser dans le sens parallèle à ce même axe. L'arc décrit par la circonférence de la roulette, pour un déplacement infiniment petit du point de contact ou d'appui sur le papier, est donc égal à la projection de ce déplacement sur le plan de la roulette. A cette projection on peut d'ailleurs substituer la somme algébrique de deux ou plusieurs déplacements *composants*, dont le déplacement réel serait la *résultante*, et supposer constante, pendant qu'a lieu le déplacement, la direction du plan de la roulette, ce qui revient à négliger les infiniment petits du second ordre vis-à-vis de ceux du premier ordre conservés dans le calcul.

Ceci posé, représentons (*fig.* 7) le planimètre polaire par les axes PC et ACD des deux tiges dont il est formé, qui sont articulées en C à angle variable et dont la seconde est perpendiculaire au plan de la roulette représentée par

RR'; celle-ci s'appuie en D sur le plan de la figure, P est le pôle fixe, A la pointe du style auquel on fait parcourir une courbe quelconque AMN, fermée ou non, mais dont les deux extrémités A et N, quand elle n'est point fermée, satisfont à la condition d'être situées à égale distance du pôle P.

Tandis que le style A décrit le premier élément Aa de la courbe donnée, le rayon vecteur PA, que nous désignerons par ρ, vient occuper la position Pa en recevant un accroissement infiniment petit $d\rho$, et engendre le triangle APa. Soit A$a = ds$, μ l'angle que l'élément ds, c'est-à-dire la tangente à la courbe en A, forme avec la direction AP du rayon vecteur, l'aire du triangle APa est exprimée par la base ds multipliée par la moitié de sa hauteur qui est égale à $\rho \sin \mu$, c'est-à-dire par le produit $\frac{1}{2} \rho \sin \mu ds$. Le déplacement A$a$ du style peut être considéré comme résultant de deux déplacements, l'un perpendiculaire au rayon vecteur ρ et égal en étendue à l'élément de la circonférence AS décrite du centre P avec le rayon PA, intercepté par les côtés de l'angle infiniment petit APa et représenté dans la figure par Aa', l'autre dirigé suivant la direction du rayon vecteur Pa, égal à $d\rho$ et représenté dans la figure par $a'a$. Le déplacement du point de contact D de la roulette et du plan de la figure, correspondant à l'élément A$a = ds$ parcouru par le style du planimètre, peut être aussi considéré comme résultant des deux déplacements successifs que subirait ce point de contact, si le style du planimètre parcourait successivement les deux chemins infiniment petits Aa' et $a'a$ qui ont pour résultant le chemin A$a = ds$.

Considérons d'abord le déplacement du style suivant Aa' perpendiculaire à PA. Dans ce déplacement, le rayon vecteur ρ demeure invariable en grandeur, et par conséquent aussi le triangle PAC; le planimètre tourne tout d'une pièce, sans se déformer, autour du pôle P et le point de

contact D de la roulette et du papier décrit un élément De de la circonférence de cercle qui a pour rayon PD et qui soustend un angle au centre DP*e* égal à APa' = APa. Or ce dernier angle est égal à

$$\frac{Aa'}{\rho} = \frac{Aa \sin Aaa'}{\rho}.$$

$Aa = ds$; sin Aaa' ne diffère de sin μ que d'une quantité infiniment petite du premier ordre, dont le produit par ds sera infiniment petit du second ordre. On a donc, en s'en tenant aux infiniment petits du premier ordre, l'angle

$$APa' = APa = \frac{ds \sin \mu}{\rho}$$

et l'angle *e*PD égal aussi à $\frac{ds \sin \mu}{\rho}$, donc

$$De = \frac{PD}{\rho} \sin \mu \, ds.$$

L'angle *e*DR′ est d'ailleurs égal à l'angle PDA, puisque les côtés de ces deux angles sont respectivement perpendiculaires l'un sur l'autre; la projection du déplacement De sur le plan de la roulette est donc égale à

$$\frac{PD}{\rho} \sin \mu \, ds \cos PDA.$$

Les arcs décrits à la circonférence de la roulette doivent être considérés comme positifs ou négatifs, suivant le sens de la rotation, qui a lieu de manière que l'extrémité du rayon aboutissant au point de contact D de la roulette et du plan marche en sens inverse de celui dans lequel se déplace le point de contact sur le papier. Nous considérerons les arcs comme positifs ou négatifs suivant que la rotation aura lieu dans le sens des aiguilles d'une

montre dont la face externe de la roulette, celle qui est à l'opposé de l'axe projeté suivant DA, serait le cadran; ils seront ainsi affectés du signe +, quand le déplacement effectif du point de contact D se trouvera du côté opposé au pôle P, par rapport à la droite DCA et du signe —, quand ce déplacement et le pôle P seront du même côté, ainsi que cela a lieu, dans le cas que la figure représente. Cela revient à multiplier dans tous les cas l'étendue du déplacement De du point de contact, par le cosinus de l'angle compris entre ce déplacement De pris dans le sens où il a lieu de D vers *e*, et la partie de la trace DR du plan de la roulette sur le plan de la figure qui est par rapport à l'axe DA de la roulette du côté opposé au pôle P. Moyennant cette convention, l'arc décrit à la circonférence de la roulette pris avec son signe sera toujours égal au produit de De par le cosinus du supplément de l'angle PDA ou par — cos PDA, c'est-à-dire à

$$-\frac{PD}{\rho} \sin \mu \, ds \cos PDA.$$

En abaissant du pôle P une perpendiculaire PQ sur la ligne DCA, on a :

$$PD \cos PDA = DQ = CD + PC \cos PCA,$$

désignons par r la longueur constante PC, par l la longueur CD et par L la longueur CA (r, l et L sont données par les dimensions même de l'instrument). L'expression cherchée de l'arc décrit par la circonférence de la roulette devient

$$-\frac{\sin \mu \, ds}{\rho} (l + r \cos PCA),$$

Or le triangle PCA donne :

$$\cos PCA = \frac{r^2 + L^2 - o^2}{2Lr}.$$

Si donc nous désignons par ε l'arc infiniment petit, décrit

à la circonférence de la roulette, pour le déplacement Aa du style de l'instrument, nous avons :

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\frac{\rho \sin \mu\, ds}{L} - \frac{1}{2}\frac{\sin \mu ds}{\rho} \times \frac{L^2 + r^2 + 2Ll}{L}. \qquad (a)$$

d'où

$$L\varepsilon = \frac{1}{2}\rho \sin \mu\, ds - \frac{1}{2}\frac{\sin \mu ds}{\rho} \times (L^2 + r^2 + 2Ll).$$

Le premier terme du second membre de cette équation est l'aire du triangle infinitésimal APa ; le facteur extérieur à la parenthèse du second terme du même membre est l'expression du demi-angle au sommet P, APa du même triangle : en appelant α cet angle infiniment petit, et σ l'aire du triangle, l'équation (a) prend la forme :

$$L\varepsilon = \sigma - \frac{1}{2}\alpha(L^2 + r^2 + 2Ll), \qquad (1)$$

on voit que, dans le deuxième terme du second membre, $L^2 + r^2 + 2Ll$ est un facteur constant, quelles que soient la position du pôle, la grandeur et la situation de l'angle α et du rayon vecteur ρ et donné uniquement par les dimensions de l'instrument.

Venons à la deuxième composante des déplacements effectifs du style de l'instrument et du point de contact de la roulette et du papier. Le style partant de l'origine A du mouvement suit le prolongement de PA sur la longueur infiniment petite $Aa'' = a'a = d\rho$.

Ce déplacement peut lui-même être décomposé en deux autres, l'un suivant la direction de la droite DCA, qui est égal à la projection de $d\rho$ sur cette ligne, c'est-à-dire à $d\rho \cos A$, en désignant par A l'angle du triangle PAC au sommet désigné par la même lettre ; l'autre perpendiculaire à la direction DCA et égal à $d\rho \sin A$. Dans le premier déplacement composant $d\rho \cos A$, la ligne DA a un mouvement de translation suivant sa propre direction ; comme

elle entraîne avec elle le système de la roulette, l'axe de celle-ci parallèle à DA chemine aussi suivant sa direction propre ; le point de contact de la roulette et du papier parcourt le même chemin qui est perpendiculaire au plan de la roulette, ce qui ne peut donner lieu à aucune rotation de celle-ci autour de son axe.

Quant au déplacement du point A dans le sens perpendiculaire à la droite DA et égal à $d\rho \sin A$, il entraîne nécessairement cette droite dans un mouvement de rotation autour de l'un de ses points : tout se réduit à déterminer la situation de ce centre instantané de rotation sur la droite indéfiniment prolongée au delà de son extrémité D, et l'angle infiniment petit dont la droite tourne autour de ce point.

A l'origine du déplacement considéré, on a dans le triangle PCA, dont les trois côtés sont r, L et ρ,

$$\cos A = \frac{L^2 + \rho^2 - r^2}{2L\rho}.$$

A la fin du déplacement, le côté ρ du triangle a augmenté de $d\rho$, les deux autres côtés sont restés constants ; l'angle A a donc varié d'une quantité infiniment petite dA que l'on obtient par la différentiation de l'équation précédente, où les deux variables sont A et ρ : la différentiation donne :

$$-\sin A\, dA = \frac{d\rho}{2L} - \frac{L^2 - r^2}{2L}\frac{d\rho}{\rho^2},$$

d'où

$$-dA = \frac{d\rho}{2L \sin A} \times \frac{\rho^2 + r^2 - L^2}{\rho^2}. \qquad (1)$$

Or il est aisé de voir que $-dA$ est l'expression de l'angle infiniment petit, compris entre la direction initiale de la ligne DCA et la direction finale, alors que le côté ρ a augmenté de $d\rho = Aa''$, et que le sommet A du triangle est venu en a''. Ces deux directions forment en effet avec la

base Aa'' un triangle infinitésimal dont les deux angles adjacents à la base sont l'un $A + dA$ et l'autre $\pi - A$. Leur somme étant égale à $\pi + dA$, l'angle au sommet est égal à $-dA$. Or en désignant par x la distance au point A du point de concours des deux directions qui comprennent entre elles cet angle $-dA$, on a :

$$x = \frac{d\rho \sin A}{-dA}$$

et en remplaçant $-dA$ par sa valeur (1) et réduisant :

$$x = \frac{2L\rho^2 \sin^2 A}{\rho^2 + r^2 - L^2}.$$

Si de x l'on retranche la longueur $DA = L + l$, on obtiendra la distance du point de concours au plan de la roulette et enfin en multipliant $x - (L + l)$ par l'angle infiniment petit $-dA$, le chemin élémentaire parcouru par le point de contact de la roulette et du plan, correspondant à la composante $d\rho$ du déplacement effectif du style de l'instrument et, comme ce chemin est dans le plan même de la roulette, il est précisément égal à l'arc décrit par la circonférence de celle-ci.

Effectuant le calcul indiqué et désignant par ε' l'arc décrit à la circonférence de la roulette, qui s'ajoutera au premier arc ε, on trouve :

$$\varepsilon' = [x - (L + l)] \times -dA = \left(\sin A - \frac{(L + l)(\rho^2 + r^2 - L^2)}{2L\rho^2 \sin A}\right) d\rho.$$

Le coefficient de $d\rho$ dans cette valeur de ε' dépend de la seule variable ρ, dont l'angle A et son sinus sont des fonctions, puisque les côtés r et L du triangle restent constants. Donc pour une même valeur de ρ, quelles que soient d'ailleurs la situation du triangle PCA dans le plan de la figure et l'inclinaison de l'élément de courbe, dont le style de l'instrument fixé en A suit le contour, la valeur ε' est proportionnelle à $d\rho$ et change de signe avec $d\rho$, de sorte que deux valeurs égales et de signes contraires de l'accroissement infiniment petit et arbitraire $d\rho$, correspondantes à des valeurs d'ailleurs égales de la variable ρ, donnent deux valeurs de l'arc ε' égales et de signes contraires, qui s'annulent mutuellement.

Or, quand le style décrit soit une courbe fermée, soit une courbe telle que AMN dont les extrémités A et N sont, à des distances du pôle P égales entre elles, pour lesquelles le rayon vecteur ρ a la même valeur, ce rayon vecteur passe nécessairement deux fois ou un nombre pair de fois par les mêmes valeurs. Si $d\rho$ est positif dans le premier passage, il est négatif dans le second ou *vice versâ*, en prenant sur les deux branches de la courbe pour lesquelles l'accroissement $d\rho$ est positif pour l'une et négatif pour l'autre, deux éléments interceptés entre deux circonférences ayant leur centre commun au pôle, et dont les rayons diffèrent d'une quantité infiniment petite, les valeurs de ρ et de l'angle A seront les mêmes pour ces deux éléments ; la grandeur de l'accroissement $d\rho$ sera aussi la même de part et d'autre, mais cette grandeur, si elle est positive pour l'un des deux éléments ainsi définis, sera négative pour l'autre, l'ordre des deux signes + et — dépendant du sens dans lequel la courbe aura été décrite par le style de l'instrument. L'intégrale des arcs ε' pour le trajet entier du style sera donc composée d'éléments égaux deux à deux, les uns positifs, les autres négatifs qui se détruiront mutuellement, de sorte que leur somme algébrique sera nulle. L'arc fini décrit par la circonférence de la roulette se réduira donc à l'intégrale des arcs ε donnés par l'équation (1).

En établissant une équation telle que l'équation (1) pour tous les éléments successifs de la courbe AMN parcourue par le style du planimètre et sommant toutes ces équations, on a :

$$L\sum \varepsilon = \sum \sigma - \frac{1}{2}(L^2 + r^2 + 2Ll)\sum \alpha, \qquad (A)$$

Dans laquelle $\Sigma\varepsilon$ est l'arc fini total décrit à la circonférence de la roulette, et qui sera lû sur la circonférence de la roulette et celle du disque, dont les divisions accusent le nombre de révolutions complètes de la roulette.

$\Sigma\sigma$ est la somme des triangles infiniment petits qui ont leur sommet commun au pôle P, et pour bases les éléments successifs de la courbe AMN parcourue par le style. Il est essentiel de remarquer que l'aire de chaque triangle élémentaire exprimée dans le calcul par $\frac{1}{2}\rho \sin\mu ds$ suit le signe de $\sin\mu$. L'angle μ étant l'angle compris entre la direction de l'élément ds, dans le sens où il est parcouru par le style et celle du rayon vecteur allant du pôle à la courbe, ou son prolongement au delà de la courbe parcourue par le style, $\sin\mu$ est nul pour $\mu = 0$ et $\mu = \pi$. Nous avons considéré l'angle μ et son sinus comme positifs, lorsque l'ouverture de l'angle PAx est tournée vers le point d'articulation C des tiges PC et PA. Nous devons par conséquent considérer cet angle et son sinus comme négatifs, quand cet angle aura son ouverture vers le côté de la ligne PA opposé à la région où est situé le point C; la valeur de l'angle μ demeurant ainsi toujours comprise entre 0 et $+\pi$, ou 0 et $-\pi$.

Ceci expliqué, si l'on mène le rayon vecteur PT tangent à la courbe parcourue par le style, les aires des triangles infiniment petits décrits par le rayon vecteur, pendant que le style de l'instrument parcourt la partie de la courbe AMT dans le sens marqué par la flèche xy seront toutes positives; leurs valeurs numériques s'ajouteront et leur somme sera l'expression de l'aire comprise dans l'angle APT et limitée par les deux rayons vecteurs PA, PT et par le contour curviligne ou polygonal AMT. A partir de la position PT, tandis que le style parcourt l'arc TN, le rayon vecteur rétrograde, l'angle μ, après avoir passé par les valeurs respectives π et 0, devient négatif, ainsi que les éléments triangulaires σ, dont les valeurs de

même signe s'ajoutant entre elles donnent une somme affectée du signe —, qui est l'expression de l'aire comprise dans l'angle TPN et limitée par la courbe TN, qui, dans l'ensemble $\Sigma\sigma$, doit être numériquement retranchée de l'aire comprise dans l'angle APT et limitée par la courbe AMT. $\Sigma\sigma$ est donc l'expression de la surface limitée par les rayons vecteurs égaux PA, PN et par le contour curviligne ou polygonal AMTN, surface qui se compose du secteur circulaire APN et de l'aire comprise dans le contour formé par l'arc de cercle AN et la courbe AMTN. Le deuxième terme du second membre de l'équation (A) est le produit du facteur constant $r^2 + L^2 + 2Ll$ par $\Sigma\alpha$. Ce dernier facteur est manifestement l'angle APN compris entre les deux rayons vecteurs égaux aboutissant au point de départ et au point d'arrivée du style de l'instrument, chacun des angles infiniment petits α qui entrent dans la somme algébrique $\Sigma\alpha$ étant affecté du même signe que le triangle infinitésimal auquel il appartient qui est, comme nous venons de l'expliquer, celui de l'angle μ et de $\sin\mu$. D'après cette dernière observation, la somme algébrique $\Sigma\alpha$ serait nulle, si, au lieu d'arrêter le style au point N, on le ramenait, par continuation du mouvement rétrograde qui a commencé à la position extrême PT du rayon vecteur, au point de départ A, en lui faisant parcourir l'arc de circonférence NA; l'équation (A) se réduirait alors à :

$$L\sum\varepsilon = \sum\sigma,$$

dans laquelle $\Sigma\sigma$ ne représenterait que la surface enfermée dans le contour fermé par l'arc de cercle AN et la courbe AMTN, l'aire du secteur circulaire PAN qui se trouve comprise dans la somme $\Sigma\sigma$, quand le style de l'instrument est arrêté en N, disparaissant par le fait du mouvement rétrograde du style de N en A et du rayon vecteur PN à la position initiale PA. La même chose aura lieu et la

somme $\Sigma\alpha$ sera nulle toutes les fois que le style reviendra à son point de départ, après avoir décrit un contour fermé quelconque, pourvu que le pôle P soit situé à l'extérieur de ce contour. L'équation se réduit alors, dans tous les cas, à $L\Sigma\varepsilon = \Sigma\sigma$, dans laquelle $\Sigma\sigma$ exprime l'aire limitée par le contour fermé que ce style a décrit et $\Sigma\varepsilon$ la longueur développée de l'arc décrit à la circonférence de la roulette, qui peut comprendre plusieurs circonférences entières. Cet arc total est donc alors proportionnel à l'aire limitée par le contour curviligne, et peut lui servir de mesure.

Mais si le pôle fixe P est situé dans la surface circonscrite par la courbe fermée, la somme $\Sigma\alpha$, au lieu d'être égale à o, serait évidemment égale à quatre angles droits, c'est-à-dire au rapport 2π de la circonférence au rayon, et l'équation (A) deviendrait :

$$L\sum\varepsilon = \sum\sigma - \pi(L^2 + r^2 + 2Ll),$$

qui revient à :

$$\sum\sigma = L\sum\varepsilon + \pi(L^2 + r^2 + 2Ll),$$

dans laquelle le deuxième terme du second membre est une quantité constante, pour un instrument donné, qu'il faut ajouter au produit de la longueur L multiplié par l'arc décrit à la circonférence de la roulette, pour obtenir l'aire de la surface limitée par la courbe fermée que le style a décrite. Cette quantité constante n'est autre chose que la surface du cercle dont le rayon est $\sqrt{L^2 + r^2 + 2Ll}$. Supposons par exemple que, dans la *fig.* (1), le style, après avoir parcouru la courbe AMTN, revienne à son point de départ A, non en rétrogradant de N en A, suivant l'arc NA, mais en suivant par un mouvement direct tout le reste de la circonférence de rayon PN = PA. Le pôle P sera à l'intérieur du périmètre fermé parcouru par le style. $\Sigma\alpha$ sera égal à

2π; et la surface totale $\Sigma\sigma$ se composera de celle du cercle entier de rayon PA et de celle qui est comprise dans l'espace limité par l'arc AN et la courbe AMTN. Cette surface totale n'est plus alors proportionnelle à l'arc total décrit par la circonférence de la roulette; il faut, pour l'obtenir, ajouter au produit $L\Sigma\varepsilon$, l'aire $\pi(L^2 + r^2 + 2Ll)$ du cercle qui a pour rayon $\sqrt{L^2 + r^2 + 2Ll}$, aire qui dépend des seules dimensions L, r et l de l'instrument.

Exemple. — Qu'on fasse décrire au style de l'instrument une circonférence d'un rayon quelconque P ayant son centre au pôle, l'aire du cercle limitée par la courbe sera $\pi\rho^2$, ρ étant constant. Or, dans ce cas, l'angle μ reste aussi constant et égal à un droit; $\sin\mu = 1$. La valeur de l'arc ε décrit par la circonférence de la roulette pour un élément ds de la circonférence de rayon ρ se réduit donc à :

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\frac{\rho ds}{L} - \frac{1}{2}\frac{ds}{\rho} \times \frac{L^2 + r^2 + 2Ll}{L}$$

et comme ρ est constant on a l'intégrale :

$$\sum\varepsilon = \frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{L} - \frac{L^2 + r^2 + 2Ll}{L\rho}\right)\int_0^{2\pi\rho} ds = \pi\left[\frac{\rho^2}{L} - \frac{L^2 + r^2 + 2Ll}{L}\right],$$

d'où

$$L\sum\varepsilon = \pi[\rho^2 - (L^2 + r^2 + 2Ll)],$$

et

$$L\sum\varepsilon + \pi(L^2 + r^2 + 2Ll) = \pi\rho^2,$$

conformément à la formule générale.

Second exemple.—Reportons-nous à la *fig.* 7 et imaginons que le style A décrive la circonférence de cercle dont le centre est au point d'articulation C et le rayon CA = L, il est évident que la tige CA tournera autour de son point C, qui restera fixe pendant cette rotation, et cela quelle

que soit la position du point P et de la tige PC ; le pôle fixe de l'instrument n'est donc plus, dans ce cas, le point P, mais bien le point C, centre de la circonférence décrite par A. Il faut donc, pour avoir l'aire du cercle dont le style décrit la circonférence, ajouter au produit $L\Sigma\varepsilon$ de la longueur L par l'arc développé à la circonférence de la roulette, le terme constant $\pi(L^2 + r^2 + 2Ll)$ dans lequel nous devons faire $r = 0$, puisque le pôle coïncide avec le centre C. Ce terme se réduit ainsi à $\pi(L^2 + 2Ll)$.

Or, tandis que le style A décrit la circonférence de rayon L, enfermant une aire égale à πL^2, le point de contact de la roulette et du papier décrit autour du même centre C la circonférence de rayon l dont la longueur est $2\pi l$; chacun des éléments de cette circonférence est situé dans le plan de la roulette à l'instant où il est décrit. La roulette, durant une révolution complète de la ligne CD autour du centre C tournera donc à sa circonférence d'un arc égal à $2\pi l$ et nous aurons

$$\sum \varepsilon = -2\pi l,$$

conformément à la convention établie sur l'application des signes positif et négatif suivant le sens de la rotation de la roulette sur son axe. Donc

$$L\sum \varepsilon = -2\pi Ll;$$

et

$$L\sum \varepsilon + \pi(L^2 + 2Ll) = \pi L^2,$$

qui est bien l'aire du cercle dont le style décrit le contour.

Les propriétés du planimètre polaire de Amsler subsistent, quelque grande que soit la longueur de la tige CP et par conséquent aussi à la limite, quand on suppose cette longueur infinie. La circonférence décrite par le point C de la tige, qui porte le style et la roulette, devient alors une

ligne droite, et le planimètre se réduit à cette tige unique qui, tandis que le style suit le contour de la figure à mesurer, tourne dans son plan autour de ce point C, lequel est lui-même mobile suivant une ligne droite déterminée. Le pôle étant, dans ce cas, situé à une distance infinie, est nécessairement extérieur au périmètre de la figure à mesurer et l'aire de celle ci, pourvu qu'elle soit limitée par un périmètre fermé, est proportionnelle à l'arc entier dont la circonférence de la roulette a tourné, pendant que le style en a parcouru le périmètre. C'est ce qu'il est facile de démontrer directement.

MÉMOIRE

SUR LA PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS DE PLOMB ET DE ZINC EN BELGIQUE ET DANS LES PROVINCES RHÉNANES.

Par M. A. HENRY, ingénieur des mines.

La préparation mécanique des minerais traverse actuellement une phase de transformation complète.

Les appareils, qui se métallisent de plus en plus, tendent à devenir automatiques et continus.

Les ateliers eux-mêmes se modifient dans le même sens, de sorte que les ouvriers n'ont pour ainsi dire plus de travail propre à faire ; ils n'ont qu'à régler et à diriger convenablement les appareils.

J'ai pu observer ce double caractère de la préparation actuelle des minerais dans les ateliers de la Belgique et de la Prusse rhénane. Pour chercher à le faire ressortir, je diviserai le présent mémoire en deux parties.

Dans la première, je décrirai les différentes opérations qui constituent l'ensemble de la préparation, et je passerai en revue tous les appareils employés, en m'étendant principalement sur ceux qui ont été inventés dans ces derniers temps. Je chercherai à bien montrer leurs avantages ; je les comparerai entre eux, et j'indiquerai quels sont ceux qui, à mon sens, doivent être employés dans les différents cas.

Dans la deuxième partie, j'étudierai la disposition relative des appareils qui composent un atelier, et je terminerai en donnant la description complète de plusieurs établissements que j'ai visités avec soin, et qui m'ont paru remarquables et intéressants, soit par le mode de traitement, soit par la nature du minerai traité, soit enfin par leur disposition générale.

PREMIÈRE PARTIE.

Les minerais arrivent au jour séparés en deux grandes catégories, en gros et en menus. Le traitement des menus commençant aux trommels, j'en parlerai lorsque je décrirai ces appareils. Je vais d'abord indiquer par quelles opérations spéciales passent les gros avant d'entrer dans le courant commun. Ces opérations sont : le cassage, le scheidage et le broyage.

I. — Cassage.

Le cassage a simplement pour but de rendre facilement maniables les morceaux de minerai, et de bien montrer, par les cassures fraîches qu'il produit, la nature des matières qui les composent. Cette opération, qui se faisait toujours au gros marteau à deux mains, peut être effectuée par une machine à casser dite *concasseur américain*. Ce concasseur a été décrit dans plusieurs mémoires, aussi je n'en dirai rien. Il est employé presque partout ; si dans quelques endroits on n'a pas encore abandonné le cassage au marteau, cela tient à des circonstances toutes particulières, et c'est souvent pour donner de l'ouvrage aux vieux mineurs. Dans tous les cas, qu'il soit fait à la main ou à la machine, ce cassage est toujours suivi d'un triage qui a pour but de partager le minerai en un certain nombre de classes devant subir chacune un traitement spécial. Dans ce triage, on ne doit pas chercher à faire du minerai à fondre ou du stérile à rejeter, car le cassage n'a pas eu lieu dans ce but. Cependant, si l'on rencontre accidentellement des morceaux massifs soit de minerai, soit de gangue, il va sans dire qu'on les sépare ; mais on ne doit avoir en vue qu'une chose, c'est la séparation du minerai à scheider et du minerai à broyer. La première classe se composera de tous les morceaux desquels on

peut, par des coups de marteau bien appliqués, détacher des fragments de minerai ou de stérile, et retirer ainsi, par cette seule opération, une certaine quantité de riche à fondre et de gangue à rejeter immédiatement. La deuxième classe, au contraire, comprendra tous les fragments où les matières sont trop finement disséminées pour qu'on puisse les séparer au marteau.

Cependant le minerai à scheider est souvent divisé lui-même en plusieurs catégories qui passent au scheidage séparément. Ainsi, si le mélange qui constitue le minerai est seulement binaire, on aura le minerai à scheider riche et le minerai à scheider pauvre. Si, comme au Bleyberg, on traite un mélange de blende, galène et gangue, on fera trois classes : galéneux riche, blendeux riche, galéneux et blendeux pauvres. Si enfin le minerai est plus complexe, comme à Ems et comme à Holzappel, et renferme en outre du cuivre pyriteux et du cuivre gris, on fera une classe renfermant tous les morceaux cuivreux, quelle que soit d'ailleurs leur composition.

Il est évident qu'on ne peut fixer *à priori* de règle générale pour ce triage; la manière dont on l'effectue doit nécessairement varier suivant la nature des minerais et la valeur des matières qu'ils renferment. Mais on peut dire, en thèse générale, que s'il est bon d'opérer dès lors une séparation nette entre les différentes matières qui constituent la masse du minerai, il ne faut pas pousser la classification trop loin et faire trop de divisions ; car alors le triage ne peut plus avoir de netteté, et les différentes catégories ne peuvent être traitées à part, à moins de compliquer beaucoup la marche des opérations.

Quant aux ateliers de cassage et de triage, ils ont rarement une disposition bien en rapport avec leur destination. Cependant, lorsque l'on emploie le concasseur mécanique, il est une manière de disposer les choses qui facilite beaucoup le travail et réduit les transports. Pour cela, on ex-

hausse le concasseur, et l'on fait tomber la matière qui en sort sur une table ronde en fonte, animée d'un mouvement de rotation, autour de laquelle se tiennent quelques femmes qui enlèvent les morceaux au fur et à mesure qu'ils passent devant elles, et les jettent dans des caisses en bois que des manœuvres emportent à l'atelier de scheidage. Chaque ouvrière prend les fragments d'une seule classe; les minerais à broyer seuls restent sur la table, et vont se butter contre une règle fixe oblique sur les rayons (*fig.* 1, Pl. VII), qui les conduit sur le bord, et les fait tomber dans une caisse. Ce mode de triage est très-rapide, et donne de bons résultats; seulement, avant de tomber sur la table, le minerai doit passer sur une grille qui enlève les menus ; c'est le refus de cette grille qui se rend seul sur la table de triage.

Les menus sont mélangés avec ceux qui proviennent de la mine. Leur proportion est d'ordinaire plus forte avec le concasseur que lors du cassage au marteau; c'est là une légère infériorité du cassage mécanique.

La disposition que je viens d'indiquer est adoptée à Angleur, près de Liége, dans un petit atelier tout nouvellement construit, et dont je parlerai souvent dans ce mémoire en raison de la simplicité et de la nouveauté de tous les appareils qu'on y rencontre.

II. — Scheidage.

Je dirai très-peu de chose du scheidage, qui est une opération bien connue, et qui subit très-peu de modifications. Il est impossible de l'effectuer avec une machine, parce que les coups de marteau doivent être appliqués dans des points déterminés afin de séparer le plus possible le riche et le stérile. Si l'on cassait le minerai en fragments de la grosseur de ceux qui proviennent du scheidage, en se servant d'un concasseur, puis qu'on fasse ensuite un triage, l'effet

utile de l'opération serait certainement beaucoup moindre, car la machine ne peut distinguer la composition des morceaux et appliquer sa force en tel ou tel point ; elle casse pour casser, aussi bien le riche que le stérile. De plus, elle produit beaucoup trop de menus, ce qui est un grand désavantage.

Cependant cette opération capitale du scheidage n'est pas toujours beaucoup mieux exécutée à la main qu'elle ne le serait à la machine. Cela tient à ce que les ouvriers employés sont presque toujours des enfants de douze à quinze ans, qui sont souvent distraits, et n'apportent pas à leur besogne toute l'attention nécessaire. Quand ils cassent beaucoup, ils croient faire beaucoup d'ouvrage. Dans certains cas, lorsque le minerai est difficile, il serait peut-être préférable de n'employer au scheidage que des hommes faits et de les payer en conséquence ; ils feraient plus et surtout de meilleure besogne.

Le nombre de classes que l'on fait au scheidage est extrêmement variable ; on fait toujours du minerai à fondre, du minerai mélangé à broyer et du stérile. Mais la classe des mélangés renferme souvent un très-grand nombre de catégories, lorsque le minerai est très-complexe. Ainsi à Ems, où l'on trouve à la fois de la galène, de la blende, de la pyrite, du cuivre pyriteux, du cuivre gris et du mispikel, du quartz et du fer carbonaté avec plusieurs autres gangues, le scheidage fait jusqu'à vingt-quatre catégories différentes. Il est évident que ce classement doit être bien incertain, et que c'est pousser les choses jusqu'à l'exagération. Il est en effet impossible de distinguer exactement les nuances qui séparent ces nombreuses catégories, dont les produits sont forcément mélangés dans la suite des opérations.

Les ateliers de scheidage sont le plus souvent de simples hangards plus ou moins clos, où les ouvriers sont assis à terre, une enclume entre leurs jambes, et dispersés un peu

irrégulièrement. Ils jettent les produits de leur travail dans des boîtes que des manœuvres emportent au pesage, et vident ensuite dans des dépôts qui encombrent plus ou moins l'atelier.

A Ems, le bâtiment où se fait le scheidage présente une bonne disposition, et n'est jamais encombré. Sur tout le pourtour, règnent dans les murs des ouvertures à trémies qui font tomber le minerai dans des cases extérieures d'où les wagons viennent le prendre. Chaque trémie porte une étiquette qui indique à quelle catégorie elle est affectée. Les boîtes sont versées aussitôt qu'elles sont pesées. De cette manière il n'y a jamais d'encombrement dans l'atelier. Enfin, chaque ouvrier est assis sur un petit banc, ce qui est plus commode que de l'être simplement à terre.

Cette installation est toute récente, je ne l'ai vue nulle part ailleurs.

III. — Broyage.

Les appareils qui servent au broyage sont différents, suivant la grosseur des matières à broyer. Ce sont les cylindres, les petits concasseurs américains, les meules et les bocards.

Cylindres. — Les cylindres broyeurs peuvent s'appliquer à toutes les grosseurs de minerais ; seulement leur diamètre doit être d'autant plus grand que les morceaux à passer sont plus gros. On connaît leur disposition. Aujourd'hui l'on emploie presque partout des cylindres très-courts, on a supprimé les engrenages ; l'un des cylindres est actionné sur la machine, le second est simplement entraîné par suite du frottement. On a reconnu que cette disposition avait pour effet de produire une usure beaucoup plus régulière, et d'empêcher la formation de traces profondes à la surface des cylindres. Cela se conçoit facilement, car alors il peut se produire des glissements relatifs, et ce ne sont pas toujours les mêmes parties qui viennent au contact

l'une de l'autre. On peut produire le même effet avec des cylindres de diamètres très-peu différents et commandés par des engrenages. Mais il est bien plus simple d'enlever ces derniers, qui sont toujours des causes d'interruption de travail, par suite des ruptures fréquentes auxquelles ils sont sujets.

De même, on a encore simplifié leur construction en supprimant les contre-poids énormes qu'ils portaient souvent, et en maintenant les coussinets au moyen de rondelles de caoutchouc comprimé.

Comme les cylindres sont toujours à l'abri et que leur emploi n'exige pas d'eau, ces rondelles résistent très-bien, ce qu'elles ne feraient pas si elles étaient constamment mouillées et soumises aux intempéries et à la gelée.

J'ai dit que les cylindres peuvent s'employer pour toutes les grosseurs. Mais ils conviennent bien moins pour les matières fines et les sables, car alors une usure un peu irrégulière ou un défaut de construction influent beaucoup sur la marche, et empêchent l'action d'être constante et uniforme. Il est préférable pour cela d'employer les bocards ou les meules.

Concasseurs. — Jusqu'ici les concasseurs n'ont guère été employés que pour le cassage des gros, et non pour le broyage. Cependant on peut les appliquer au broyage, quand il ne s'agit que de faire des grenailles de la grosseur d'une noisette ou d'un pois. Dans ce cas, on réduit de beaucoup leurs dimensions, et les mâchoires n'ont plus guère que $0^m,20$ de longueur sur $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur. De plus, au lieu d'être simplement ondulées comme dans les gros concasseurs, elles sont garnies d'aspérités en forme de pyramides à quatre faces, disposées de manière que les sommets viennent se montrer dans le mouvement des mâchoires. De cette manière on fait beaucoup moins de menus qu'avec les cylindres broyeurs. J'ai vu fonctionner ainsi deux petits concasseurs à la mine Blücher à Bensberg, près de Cologne ; on était très-satisfait des services qu'ils rendaient.

Meules. — Les meules à axe horizontal et à surface conique sont et doivent être très-rarement employées, parce qu'elles font trop de menus renfermant une très-grande proportion de schlammes. On ne doit s'en servir que lorsque l'on n'a précisément pour but que de produire des schlammes, et lorsqu'on broie des matières déjà très-fines. Dans ce cas, elles ont plus d'effet utile que les bocards, et les cylindres ne pourraient pas être employés. J'ai vu fonctionner ces meules à Welkenraedt, dans un atelier de la Vieille-Montagne, où l'on traite des minerais très-finement disséminés, et qu'il faut réduire en farine pour avoir une séparation un peu nette.

Bocards. — Les bocards, dont on connaît d'ailleurs la disposition, ne sont pas du tout employés dans les ateliers de préparation de la Belgique ; on leur préfère toujours les cylindres broyeurs. Cela tient à ce que généralement, quand ces derniers sont maintenus en bon état, leur effet utile est bien supérieur à celui des bocards ; de plus, ils ne consomment pas d'eau. Cependant, quand on doit broyer très-fin de grandes quantités de schlichs, les cylindres, en s'usant irrégulièrement, ne réalisent plus ces avantages et sont souvent abandonnés ; c'est ce qu'on fait généralement dans la Prusse Rhénane ; les cylindres servent au broyage des grosses grenailles, et les bocards au broyage des schlichs.

Mais les bocards employés aujourd'hui ne ressemblent plus aux anciens appareils des vieilles laveries allemandes dont j'ai encore vu un spécimen dans l'ancien atelier de Holzappel. Leur construction tend à se métalliser de plus en plus, et même aujourd'hui beaucoup de bocards sont complétement métalliques. La Planche IX, *fig.* de 1 à 7, représente un bocard de construction mixte en usage à la mine de Diepenlinchen, près de Stolberg, et qui rend de bons services. Je vais en donner la description.

Sur un massif en maçonnerie repose une plaque de fondation en fonte S à laquelle est boulonné un bâtis A (*fig.* 1) également en fonte. Entre les deux fermes de ce bâtis, reposant sur la maçonnerie, est fixée une pièce B sur laquelle repose une autre pièce C qui forme le fond de l'auge; les parois *f* de cette auge sont en bois; elles sont assujetties contre les montants du bâtis au moyen de boulons. Sur le bord de l'auge se trouve la trémie de chargement L qui est en tôle; au-dessus de cette trémie arrive un tuyau M qui donne l'eau nécessaire.

Les deux fermes du bâtis sont reliées entre elles au moyen de larges traverses en fer D et de deux grands boulons E placés à la partie superieure. Les traverses portent dans des enclaves des pièces mobiles F qui servent de glissières aux flèches.

Entre ces traverses se meuvent cinq flèches en bois P, armées d'un sabot en fonte dure K et garnies vis-à-vis des glissières, de pièces de fer G qui sont assujetties au moyen de petits boulons. Chaque flèche pèse 150 kilogrammes et absorbe la force d'un cheval-vapeur. Le mouvement est communiqué par un mentonnet H, mobile le long d'une cremaillère N fixée à la flèche, afin de pouvoir faire varier la hauteur de chute. Ce mentonnet est représenté à une plus grande échelle par les *fig.* 4 et 5, Pl. IX. Il est maintenu en place par un boulon I qui traverse la flèche, et qui reste fixe; en desserrant sa tête, on peut faire glisser le mentonnet au moyen de la rainure K qu'il porte. Les cames R qui soulèvent les flèches sont en fonte; les extrémités sont garnies de pièces rapportées en fonte blanche Q. L'arbre J qui les porte est en fer.

Comme on peut le voir à l'inspection de la figure et d'après la description qui précède, il y a un principe qui a servi de base à la construction de cet appareil. On a voulu rendre indépendantes toutes les pièces qui s'usent rapidement par suite du frottement ou du choc. C'est ainsi que

le fond de l'auge, les glissières des traverses ou des flèches, les extrémités des cames, sont des pièces rapportées. A mon avis, c'est une bonne manière de procéder, car alors les réparations sont plus faciles, plus expéditives, et n'entraînent pas un chômage aussi prolongé que si tout était solidaire. Le seul inconvénient réside dans la complication plus grande de la construction. Mais dans le cas d'une construction mixte, comme ici, cet inconvénient est très-faible.

Les flèches sont successivement élevées, en partant de la gauche, dans l'ordre 1, 3, 5, 2, 4, comme l'indique la *fig.* 3, Pl. IX.

Le minerai bocardé sort de l'auge par sa face postérieure; tout le long de cette face règne une toile métallique de 1 millimètre; le courant d'eau entraîne à travers cette toile tous les grains suffisamment fins pour la traverser, et les porte dans un canal en planches *h* qui les conduit aux appareils de lavage.

J'ai dit plus haut que l'on faisait des bocards complétement métalliques : ceux de l'atelier de Silberau, près d'Ems, sont dans ce cas. Les *fig.* 8, 9 et 10, Pl. IX, montrent leur disposition.

Le bâtis A et l'auge sont en fonte comme à Diepenlinchen; les deux fermes sont réunies par des traverses B présentant des ouvertures circulaires pour laisser passer les tiges en fer C qui forment les flèches. Ces dernières sont au nombre de cinq, et pèsent chacune 160 kilogrammes. La tige est filetée, et porte un écrou mobile D dont la partie inférieure élargie E, sert de mentonnet : la came G fixée à un arbre en fer F a un profil de développante de cercle; comme il se produit une certaine adhérence entre cette came et le mentonnet, la tige tourne sur elle-même d'une certaine quantité chaque fois qu'elle s'élève; il en résulte que l'usure du mentonnet est très-régulière. En tournant l'écrou D de manière à le monter ou le descendre, on fait varier la hauteur

de chute, qui est de $0^m,24$ à $0^m,30$, suivant la grosseur des grenailles bocardées. On donne quarante-huit à soixante coups par minute.

Ces bocards sont d'une construction très-simple; sans accroître beaucoup le travail d'ajustage, les pièces qui s'usent peuvent être disposées de manière à être facilement remplacées. Ils me semblent encore préférables à ceux de Diepenlinchen. Ils sont également employés dans le nouvel atelier de Holzappel, à Laurenburg.

IV. — Classement en grosseur.

Je vais d'abord dire quelques mots du traitement spécial des menus.

Débourbage des menus — Les menus arrivent au jour à un état plus ou moins boueux; ils empâtent assez souvent d'assez gros morceaux de minerai. La première opération qu'on leur fait subir consiste dans un débourbage plus ou moins énergique, suivant que la gangue est argileuse ou non. Pour cela, on les verse d'abord sur une grille dont les barreaux sont espacés de $0^m,04$ à $0^m,05$, et sur laquelle arrive un fort courant d'eau.

On fait passer à travers cette grille tout ce qui peut y passer; le courant d'eau lave parfaitement les gros morceaux qui restent et entraîne tous les menus. Le refus de la grille est porté à l'atelier de scheidage.

Ce qui la traverse se rend dans un débourbeur, capacité cylindrique ou tronconique en tôle forte, animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe horizontal, et dont la disposition varie suivant la nature du minerai. Pour les matières faciles, à gangue dure, ne faisant pas pâte avec l'eau, le débourbeur est un simple cylindre en tôle dont la longueur ne dépasse pas 1 mètre. Pendant le temps que les matières cheminent le long de ce cylindre, dont l'axe est un peu incliné, elles sont suffisamment agitées pour se

séparer complétement. Pour les minerais plus difficiles, on allonge le cylindre, et s'il renferme des boules d'argile, on le garnit intérieurement de poignards, on augmente la quanté d'eau, et alors, l'agitation durant plus longtemps, ayant lieu dans une grande quantité d'eau et étant surtout très-augmentée par la présence des poignards, les boules finissent par se désagréger et se séparer complétement en fragments isolés. Tel est, par exemple, le débourbeur que l'on emploie au Rocheux, près de Spa, où l'on traite un minerai de plomb carbonaté à gangue de dolomie très-argileuse.

On donne encore plus de puissance au débourbeur en le formant de deux troncs de cône accolés sur la grande base (*fig.* 2, Pl. VII). Le premier des troncs de cône est très-raccourci, et comme l'axe est horizontal, le minerai descend en A, en décrivant des hélices par rapport à l'appareil. Le deuxième tronc de cône, beaucoup plus allongé, a sa génératrice plus inclinée que le précédent; alors le minerai, forcé de monter le long de cette génératrice, séjourne plus longtemps dans l'espace A qu'il ne le ferait sans l'adjonction du deuxième tronc de cône. Le diamètre de sortie BC étant plus grand que celui d'entrée DE, il en résule que le point C est plus bas que le point E, et alors, sous la pression du minerai qui entre constamment, la matière débourbée peut sortir en C.

Pour les minerais très-argileux, comme les calamines de Moresnet, on garnit l'intérieur de poignards. A Welkenraedt, où la gangue est très-argileuse, on a remplacé les poignards par des plaques de tôle, en forme d'hélicoïdes, disposées de manière à faire rebrousser chemin au minerai, et par des baguettes longitudinales. On a ainsi obtenu le débourbeur le plus énergique que l'on possède. Il n'a que l'inconvénient de laisser former quelques boules d'argile qu'il ne détruit pas, et qu'on doit repasser au débourbeur à poignards; mais la partie débourbée l'est très-bien. C'est

cet appareil qui est employé dans les ateliers de la Vieille-Montagne, à Welkenreadt et à Moresnet : il est connu sous le nom de débourbeur de Welkenraedt. La *fig.* 3, Pl. VII représente le développement d'une partie de cet appareil. La flèche *a* indique le sens de la marche du minerai, la flèche *b* celui de la rotation. La *fig.* 4, Pl. VII, représente la coupe de la même partie.

A la suite du débourbeur, se trouve d'ordinaire un trommel à deux toiles dont les trous ont 10 à 15 millimètres et 35 à 40 millimètres.

Le refus de ces trommels est trié.

Pour cela, il tombe, soit sur une toile sans fin qui se meut horizontalement devant des femmes qui enlèvent les morceaux de minerai et les classent, soit sur une table en fonte, tournant autour d'un axe vertical, et identique à celle qui sert au triage après le cassage des gros. La première disposition, adoptée à Silbérau, est moins bonne que la deuxième; cette dernière est en effet d'une installation plus simple. Elle est adoptée à Moresnet et à Angleur, et fonctionne très-bien.

Classement. — Les deux classes formées par ce premier trommel sont ensuite versées à d'autres trommels, et sont traitées comme les matières provenant du broyage des gros, pour être classées en grosseur. Ce classement peut se faire de deux manières différentes. On peut séparer d'abord les matières les plus fines, ou bien faire l'inverse.

Dans le premier cas, les dimensions des trous des trommels doivent s'accroître au fur et à mesure que le minerai avance. Alors toute la masse passe sur les toiles les plus fines ; ces dernières sont très-délicates et s'usent vite ; elles seront promptement hors de service si l'on fait passer dessus de grandes quantités de matières renfermant des fragments d'une certaine grosseur ; de plus, ces fragments retiennent par adhérence beaucoup de menus que l'eau ne parvient pas à enlever quand on emploie des trommels

mouillés, ce qui se fait toujours à moins d'un manque d'eau absolu ; il en résulte que le classement, surtout des matières fines, est assez imparfait. De plus ces matières fines, dont le traitement est le plus difficile et dont le classement doit être le plus parfait, sont enlevées du milieu d'une masse considérable de minerai. Toutes ces raisons font que l'on préfère aujourd'hui, dans tous les ateliers bien établis, le second mode de classement. Dans ce dernier, en effet, la classification devant se faire par refus, les fragments qui restent à l'intérieur du trommel appartiennent à une seule classe ; par suite leur masse est faible et l'eau agit plus facilement pour les débarrasser des menus adhérents. De plus les toiles fines s'usent beaucoup moins vite, car elles ne reçoivent que des matières fines. Le seul inconvénient qu'on puisse reprocher à ce mode de classement, c'est de forcer à donner à l'appareil une assez grande hauteur ; il faut en effet que les différents trommels soient étagés, les plus gros placés en haut, afin que ce qui traverse l'un d'eux tombe dans le suivant qui est plus petit.

Pour parer à cet inconvénient, on a bien essayé de faire des trommels à enveloppes multiples, en plaçant à l'intérieur les tôles dont les trous sont les plus gros. De cette manière on n'avait pas besoin de surélever l'appareil. Chaque tôle était conique, et les inclinaisons alternaient. Mais il y avait encombrement aux extrémités où l'on était forcé de placer des récipients pour recevoir les produits classés ; en outre, et ceci est le principal inconvénient de ce système, les réparations aux tôles intérieures étaient presque impossibles, et souvent même on ne s'apercevait pas de leur nécessité. C'est pour ces motifs que l'on a abandonné les trommels à enveloppes multiples. Cependant, le trommel qui suit le débourbeur, ou celui qui vient après les broyeurs, et qui n'a que deux tôles, est souvent, presque toujours même, à double enveloppe ; la tôle la plus grosse est à l'intérieur. C'est surtout pour ce classement primitif en

deux catégories qu'il est nécessaire d'opérer par refus. Alors, si l'on n'employait pas le système à double enveloppe, il faudrait deux trommels étagés ; on évite cette complication. Du reste, la tôle intérieure étant très-forte, dès qu'il faut la réparer en un point, il est plus simple de la remplacer; la tôle extérieure, la plus délicate, est accessible à toutes les réparations. Par conséquent, on peut appliquer sans inconvénient les trommels à double enveloppe, lorsque celle qui est à l'intérieur est d'une grande solidité ; il faut les proscrire dans tous les autres cas.

Si l'on applique le classement par refus, il faut donc se résoudre à étager les trommels l'un au-dessus de l'autre ; du reste, on monte facilement le minerai soit brut, soit broyé à la hauteur voulue ; la complication n'en est guère plus grande pour cela. Les ateliers de Sibérau et de Laurenburg présentent de beaux types d'appareils ainsi construits.

A Silberau, on a sept trommels étagés, de 2 mètres de longueur sur $0^m,50$ de diamètre. Le tout est porté sur un bâtis complétement métallique, et qui présente une grande hauteur. La surélévation a été augmentée parce qu'on a voulu que le dernier trommel fût encore assez haut pour verser directement ses produits dans un crible. L'appareil est en effet entouré de cribles mécaniques dans lesquels tombent tous les refus des trommels. De cette manière on évite la main-d'œuvre relative au transport des grenailles et au chargement des cribles. Cette disposition me paraît très-bonne ; mais il faut avoir soin, dans la construction de l'appareil, de masquer le moins de pièces possible, afin que les réparations puissent s'éxécuter facilement.

A Laurenburg, on a également sept trommels étagés comme à Silberau ; les dimensions de l'appareil sont à peu près les mêmes, mais les produits ne tombent pas directement dans des cribles.

Il arrive souvent, lorsque le minerai à traiter est complexe, qu'il faut faire un grand nombre de classes ; alors il faudrait donner au système des trommels une hauteur considérable si l'on voulait, comme à Silberau et à Laurenburg, les placer tous sur une même face de l'appareil. Aussi il convient de disposer le bâtis à deux faces, de manière à réduire sa hauteur de moitié. Alors on place au sommet le trommel à double enveloppe qui partage la masse en deux grandes classes ; l'une des classes suivra une série de trommels, l'autre passera par la deuxième série. De plus, si malgré cela la hauteur était encore trop grande, on peut la diminuer de moitié en donnant deux toiles à chaque trommel ; de cette manière, on suit une sorte de système de classification mixte. On fait, en classant par refus, une série de catégories qui sont ensuite dédoublées par un classement de l'autre système. Cette méthode, qui me paraît être un très-bon moyen terme, a tous les avantages du classement par refus sans en avoir les inconvénients. Je ne l'ai vu appliquer qu'à Angleur. Je vais donner la description de l'appareil employé : il me semble constituer un excellent type.

Au sommet d'une plate-forme élevée sur un bâtis en charpente, est disposé le débourbeur A (*fig.* 5. Pl. VII), suivi du trommel B à deux tôles consécutives dont les trous ont 6 et 25 millimètres de diamètre. Ici l'on a mis la première la tôle dont les ouvertures sont les plus petites ; mais comme leur diamètre est déjà de 6 millimètres, une partie des inconvénients de cette manière de classer disparaissent. Néanmoins, un trommel à double enveloppe serait préférable. Les grenailles qui traversent les trous de 6 millimètres passent à une série de trois trommels étagés D, sur une rampe de la plate-forme. Celles qui traversent les trous de 25 millimètres vont également à la série C disposée sur l'autre rampe.

Les chiffres indiqués sur la figure donnent les dimen-

sions des trous. Les flèches montrent suffisamment la marche des matières.

Le mouvement, transmis directement à l'axe du débourbeur, est communiqué par des roues d'angle à deux axes ab, cd, qui règnent le long des deux faces de l'appareil. Au droit de chaque trommel, ces axes portent une roue d'angle qui engrène avec une autre roue située sur l'axe même du trommel. Ces roues sont telles que la vitesse des trommels soit la même pour tous, et un peu plus grande que celle du débourbeur.

Les différentes classes de grenailles tombent dans des caisses placées au bas de la charpente du bâtis.

A Angleur, un appareil semblable débourbe et classe en vingt-quatre heures 40 tonnes de minerai.

V. — Détermination des dimensions des trous des trommels successifs.

Je n'ai rien dit jusqu'ici de la manière de fixer les dimensions des trous des trommels. Le plus souvent on le fait un peu arbitrairement, ou d'après les indications que fournit la pratique. Il est pourtant possible d'arriver à cette détermination par des considérations théoriques que je vais résumer.

Comme on le verra plus loin, les procédés de séparation des grenailles reviennent toujours à faire tomber ces grenailles dans une masse d'eau. Voyons quelles sont alors les conditions de leur mouvement.

Supposons que tous les grains soient semblables, et soit a une dimension linéaire de l'un d'eux et D son poids spécifique.

Son poids sera alors proportionné à a^3D et égal à Ka^3D, l'indéterminée K étant la même pour toutes les grenailles. La masse sera donc

$$\frac{Ka^3D}{g}.$$

Lorsqu'il tombe dans l'eau, il est soumis à l'action de trois forces : la pesanteur, la poussée du liquide et la résistance au mouvement produite par le liquide, résistance qui est proportionnelle à la section du corps normale à la direction du mouvement et au carré de la vitesse, et qui par suite est égale à

$$K_1 a^2 u^2,$$

si l'on appelle u la vitesse relative du grain par rapport à l'eau.

Par suite, l'équation différentielle du mouvement sera

$$\frac{Ka^3D}{g}\frac{du}{dt} = Ka^3D - Ka^3 - K_1 a^2 u^2,$$

ou bien

$$\frac{du}{dt} = \frac{g}{D}(D-1)(1-A^2u^2),$$

A étant donné par l'équation

$$A^2 = \frac{K_1}{Ka(D-1)}.$$

En intégrant cette équation et déterminant la constante par la condition que u soit nul à l'origine du temps, on a :

$$t = \frac{D}{2Ag(D-1)} \text{L.} \frac{1+Au}{1-Au}.$$

Si l'on pose

$$B = \frac{Ag(D-1)}{D},$$

l'équation précédente peut s'écrire

$$e^{2Bt} = \frac{1+Au}{1-Au},$$

d'où

$$u = \frac{1}{A}\frac{e^{2Bt}-1}{e^{2Bt}+1};$$

B étant un nombre très-grand, la valeur de u arrivera bien vite à sa valeur-limite

$$u = \frac{1}{A},$$

lorsqu'on fera croître t.

Pour que u soit constant pratiquement, il suffit dans la plupart des cas que t soit égal à un très-petit nombre de secondes.

On peut donc dire qu'en laissant tomber un grain dans l'eau, il arrivera rapidement à se mouvoir uniformément avec une vitesse égale à $C\sqrt{a(D-1)}$ (C étant une constante), vitesse qui, comme on le voit, ne dépend que de la dimension transversale et de la densité de ce grain.

Dans le cas où a est le diamètre d'un trou dans lequel est passée la grenaille, M. de Rittinger a trouvé que la constante C est égale à 2,44, et par suite que la vitesse-limite d'un grain peut se représenter par la formule

$$u = 2{,}44\sqrt{a(D-1)}.$$

M. de Rittinger a cherché à vérifier expérimentalement les conclusions de la théorie ; le tableau suivant donne les résultats des expériences qu'il a faites à ce sujet.

NATURE de la grenaille.	DENSITÉ	DIMENSIONS transversales.	VALEURS DE LA VITESSE $t =$				
			1″/8	1″/4	1″/2	1″	2″
		millimèt.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Galène.....	7,5	16	0,903	1,441	1,630	1,650	1,650
Pyrite.....	5,0	16	0,825	1,174	1,287	1,293	1,293
Quartz.....	2,6	16	0,570	0,767	0,801	0,817	0,817
Galène.....	7,5	4	0,704	0,814	0,823	0,824	0,824
Pyrite.....	5,0	4	0,586	0,643	0,646	0,646	0,646
Quartz.....	2,6	4	0,383	0,409	0,409	0,409	0,409
Galène.....	7,5	1	0,409	0,413	0,414	0,414	0,414
Pyrite.....	5,0	1	0,321	0,323	0,323	0,323	0,323
Quartz.....	2,6	1	0,203	0,204	0,204	0,204	0,204

Ce tableau montre bien que même pour des grenailles

grosses et lourdes, la vitesse est constante après 1″ de chute.

Soient maintenant a et D, a_1 et D_1 les dimensions transversales et les densités de deux grains ; si l'on a

$$a(D-1) = a_1(D_1-1),$$

les vitesses limites qu'ils acquerront en tombant dans une masse d'eau seront les mêmes, et ils arriveront au fond de l'eau à peu près en même temps. M. de Rittinger dit alors que ces deux grains sont *gleichfällig*, ou qu'ils ont la même *gleichfälligheit*. Ces deux dernières expressions peuvent se traduire par les mots *équivalent* et *équivalence*. On dira donc que deux grains sont équivalents lorsqu'ils ont la même vitesse limite dans l'eau.

Il résulte de ce qui précède que si on laisse tomber dans l'eau une grande quantité de grains, ils se classeront au fond par équivalence, si l'on suppose qu'ils n'agissent pas l'un sur l'autre.

Si l'on veut qu'en même temps ils se classent par densité, il faut que le plus gros grain de la matière la plus légère soit au plus équivalent au plus petit grain de la matière la plus lourde. Donc si a et a_1 sont les dimensions maxima et minima, D et d la densité des grains, on doit avoir

$$a_1(D-1) \overline{=} a(d-1),$$

ou bien

$$\frac{a_1}{a} > \frac{d-1}{D-1}.$$

Il faut donc que le rapport entre la plus petite et la plus grande dimension soit supérieur ou égal au rapport des densités diminuées de l'unité chacune. On voit par là que si

$$a_1 a_2 a_3 a_4 \ldots$$

sont les dimensions croissantes des trous des trommels,

puisqu'on fait des classes dont les grains ont un diamètre compris entre a_1 et a_2, entre a_2 et a_3, etc., on devra avoir :

$$\frac{a_1}{a_2} > \frac{d-1}{D-1}, \quad \frac{a_2}{a_3} > \frac{d-1}{D-1}, \text{ etc.,}$$

en supposant que ces grains ne soient formés que de deux substances.

On voit qu'on sera à la limite en faisant

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{a_2}{a_3} = \ldots = \frac{d-1}{D-1}.$$

Par suite les dimensions des trous des trommels doivent être en progression géométrique croissante dont la raison soit un peu inférieure au rapport

$$\frac{D-1}{d-1}.$$

Si le minerai était composé de galène et quartz seulement, ce rapport serait

$$\frac{7,5-1}{2,6-1} = \frac{6,5}{1,6} = 4,05.$$

On pourrait alors prendre 4 comme raison de la progression.

De tous les ateliers que j'ai visités, celui de Mechernich seul serait dans ce cas ; mais le minerai étant sous forme de conglomérat siliceux répandu dans du grès, il faudrait mettre à la place de la densité de la galène celle de ce conglomérat. La série des dimensions des trous est la suivante :

$$2^{mm} - 4 - 6 - 10 - 18.$$

On voit que ces dimensions ne sont pas en progression : elles ont été déterminées un peu arbitrairement.

Dans le cas où le minerai est complexe, si l'on veut séparer tous les éléments, il faut chercher à séparer ceux dont les densités sont les plus voisines ; si l'on y arrive, on obtiendra évidemment la séparation des autres et même plus complétement.

Ainsi, avec un minerai de blende, galène et quartz, on devra chercher à séparer la blende du quartz, et alors la raison de la progression sera égale à

$$\frac{4-1}{2,6-1} = 1,87.$$

C'est ce qui arrive à Diepenlinchen, Silberau et Laurenburg. Dans ces trois ateliers, les dimensions des trous sont :

A Diepenlinchen : $1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 8 - 10 - 15^{mm}$,
A Silberau : $0,5 - 1 - 2 - 3 - 5 - 8 - 13$,
A Laurenburg : $1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7$.

Théoriquement, ces dimensions seraient :

A Diepenlinchen : $1 - 1,8 - 3,2 - 5,7 - 10,2 - 18,3$,
A Silberau : $0,5 - 1 - 1,8 - 3,2 - 5,7 - 10,2$,
A Laurenburg : $1 - 1,8 - 3,2 - 5,7$.

C'est bien aussi le cas du Bleyberg-èz-Montzen, où la série est la suivante :

$$2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 10 - 12 - 15 - 18 - 20 - 22 - 25 - 28 - 35.$$

Mais là une partie de la galène se trouve transformée en phosphate de plomb de densité peu différente, et que l'on cherche à séparer le plus possible pour le traiter à part ; c'est pourquoi on a augmenté de beaucoup le nombre des termes de la série, sans cependant le faire autant qu'il l'aurait fallu théoriquement ; comme on aurait été conduit à une série beaucoup trop longue, on comprend facilement qu'on se soit arrêté à un juste milieu.

Souvent, avec la blende et la galène, on trouve encore de

la pyrite, comme cela a lieu à Welkenraedt, Angleur et Immekeppel.

Dans ce cas, si l'on veut séparer la blende de la pyrite, la raison de la proportion est

$$\frac{4,9-1}{4-1}=1,3.$$

Voici quelles sont les dimensions des trous :

A Welkenreadt : 0,75 — 1 — 1,5 — 2 — 2,7 — 3,7,
A Angleur : 0,5 — 1 — 2 — 3 — 4 — 5 — 6 — 8 — 10 — 12 — — 14 — 16 — 20 — 25,
A Immekeppel : 0,7 — 1,4 — 2 — 2,7 — 3,7 — 5,2 — 7,2 — 10.

Théoriquement, elles seraient :

A Welkenraedt : 0,75 — 0,97 — 1,3 — 1,69 — 2,2 — 2,86 — 3,7,
A Angleur : 0,7 — 1 — 1,3 — 1,69 — 2,2 — 2,86 — 3,7 — — 4,9 — 5,3 — 7 — 9,1 — etc.,
A Immekeppel : 0,7 — 1 — 1,3 — 1,69 — 2,2 — 2,86 — 3,7 — — 4,9 — 5,3 — 7 — 9,1 — 11,8.

Lorsque le minerai est plus complexe encore, quand il renferme par exemple du cuivre pyriteux ou du cuivre gris, on sépare ces derniers éléments au scheidage, afin de faire du minerai cuivreux impur; mais je ne crois pas qu'il existe d'ateliers dans lesquels on fasse cette séparation au crible ; elle est trop difficile et donnerait trop de pertes.

Comme on le voit, on s'écarte presque partout très-notablement des chiffres théoriques. Quoiqu'il ne faille pas juger trop vite, car souvent les minerais présentent des difficultés particulières que l'on ne peut traduire par des chiffres, on peut certainement dire que c'est un tort. A Welkenraedt, cependant, on est très-près du résultat théorique ; il est à remarquer que c'est là que l'on fait la séparation la plus nette, quoique le minerai sur lequel on opère soit très-difficile à traiter.

Le classement en grosseur par les trommels donne des produits qu'on peut ranger en trois grandes catégories : les grenailles, les sables et les schlammes. Nous allons étudier sommairement les différents traitements que l'on fait subir à ces différentes catégories.

VI. — Traitement des grenailles.

On classe d'ordinaire parmi les grenailles tout ce qui passe à travers les trous de 25 ou 30 à 2 ou 3 millimètres. Ces grenailles sont toujours traitées au moyen des cribles à secousses. Nous allons d'abord indiquer avec quelques détails la nature du travail produit par ces appareils.

Il existe deux types de cribles bien connus ; dans les plus anciens, qui étaient manœuvrés à bras, c'est le tamis qui est mobile dans une masse d'eau immobile ; ces cribles ne sont presque plus en usage nulle part. Partout on les remplace par des cribles mécaniques à piston latéral, dans lesquels le tamis qui porte les grenailles est fixe, et l'eau en mouvement. Le travail est absolument le même dans ces deux appareils, car ce travail ne dépend que de la vitesse relative des grenailles par rapport à l'eau, sans être influencé par l'état du repos ou du mouvement du liquide. Puisque les cribles à piston sont les plus employés, c'est leur exemple que je prendrai.

Lorsque la masse d'eau ascendante vient rencontrer les grenailles immobiles sur le tamis, elle les choque et les entraîne dans son mouvement. Mais dès qu'elles sont soulevées, la pesanteur, la poussée et la résistance au mouvement agissent sur elles, et alors elles commencent à se mouvoir par rapport à l'eau, comme je l'ai indiqué plus haut. Si elles sont soulevées à une assez grande hauteur, et si l'eau a une assez grande vitesse, elles auront le temps de prendre leur vitesse relative limite, et par suite elles se classeront par équivalence, lorsque l'eau se retirera, elles seront en-

traînées de nouveau en sens inverse, et retomberont sur le crible. On comprend alors que par une série de secousses on puisse obtenir sur le crible une séparation très-nette des grenailles.

Voyons maintenant quelle peut être l'influence sur la netteté de la séparation, de la vitesse ascendante de l'eau, du temps pendant lequel cette vitesse persiste, de la vitesse descendante, et de l'amplitude de la secousse.

La masse de l'eau étant très-grande relativement à celle des grains, lorsque ces derniers sont choqués par le liquide, qui est à peu près incompressible, ils sont tous soulevés, et prennent d'abord une vitesse égale à celle de l'eau. Mais cependant, si l'eau arrivait avec une vitesse faible et croissant graduellement, il se pourrait que la masse des grains, qui présente une certaine cohésion, ne fût pas désagrégée, et qu'elle se laissât traverser par le courant d'eau en quelques points seulement, sans se soulever tout entière. Il est donc nécessaire que la vitesse de l'eau soit tout d'abord assez grande. On réalise cette condition en faisant en sorte que, lorsqu'elle commence à monter, son niveau soit inférieur à celui du fond du tamis; de cette manière, elle a déjà une vitesse notable quand elle vient rencontrer les grains. Cependant, il ne faudrait pas pousser les choses à l'extrême, car on perdrait ainsi une grande partie de la course de l'eau, et l'on serait amené à exagérer l'amplitude de la secousse, ce qui occasionnerait un grand surcroît de travail.

Si, à un moment donné, la vitesse ascendante de l'eau est plus grande que la vitesse relative d'une grenaille par rapport à cette eau, cette grenaille a un mouvement absolu ascendant; le contraire arrive si elle est plus petite. Il semble donc que si cette vitesse est intermédiaire entre les vitesses-limites des différentes grenailles, celles-ci, lorsque ces vitesses-limites seront atteintes, se sépareront très-nettement, car les unes monteront tandis

que les autres descendront. Cependant, il n'est peut-être pas nécessaire d'aller jusque-là. En effet, la vitesse de l'eau n'influant pas sur les vitesses-limites relatives des grains par rapport à elle, les écartements de ces derniers ne sont fonctions que du temps. Si la durée de l'action de l'eau est la même, ces écartements auront donc toujours la même valeur. Il suffit par conséquent que la vitesse ascendante de l'eau puisse soulever les grains à une hauteur telle qu'ils puissent atteindre leurs vitesses-limites et se mouvoir avec ces vitesses pendant un certain temps avant de retomber sur le crible. Cette hauteur dépend aussi de l'amplitude de la course du piston, à laquelle elle est toujours inférieure.

Enfin, il faut que le temps que dure l'action de l'eau soit suffisant pour que les conditions précédentes soient remplies.

Comme ce sont les grenailles les plus grosses qui mettent le plus de temps à acquérir leurs vitesses-limites, il en résulte que la vitesse de l'eau, l'amplitude et la durée de la secousse devront être d'autant plus grandes que les grenailles seront plus grosses.

Lorsque l'eau prend son mouvement descendant, elle entraîne les grenailles; mais la vitesse relative de ces dernières ne change pas pour cela; par conséquent, la grandeur de la vitesse descendante n'influe pas sur le classement produit. Néanmoins il convient de la rendre la plus petite possible, afin qu'au moment où les grenailles rencontrent le tamis il ne se produise pas de chocs qui pourraient changer leurs positions relatives et refaire le mélange.

De ce qui précède, il résulte évidemment que, dans tous les cas, il convient de donner à l'eau une assez grande vitesse ascendante, de faire durer longtemps la période ascendante et celle de repos, et de retirer l'eau avec la plus faible vitesse possible. C'est pour satisfaire à ces conditions que l'on emploie pour mouvoir le piston différents artifices mécaniques dont le plus usité est la coulisse dif-

érentielle, ou l'équivalent de cette coulisse (*fig.* 6, Pl. VII).

Le mouvement est communiqué à un arbre O qui porte une manivelle OB dont le bouton B s'engage dans la coulisse BC. Cette coulisse est mobile autour du point fixe O', et s'articule en A à la tige P du piston. Par suite, on voit que le piston descend pendant que B parcourt l'arc *ac'b*, et qu'il monte au contraire pendant le parcours de l'arc *bca* qui est beaucoup plus grand. Si le mouvement de rotation de l'arbre O est uniforme, on voit que le piston montera beaucoup plus longtemps qu'il ne descendra, et par suite sa vitesse descendante sera plus grande que sa vitesse ascendante.

On a augmenté encore les avantages de cette coulisse en inclinant la ligne OO' sur l'horizon de 45 degrés environ. De cette manière, le temps que durent la montée et l'arrêt est plus considérable ; il en résulte que la vitesse descendante est un peu accrue, mais pas assez pourtant pour donner des désavantages réels.

Pour prévenir l'usure qui résulte souvent de l'emploi de la coulisse, on a cherché à obtenir un système équivalent à l'aide de bielles articulées. La *fig.* 7 (Pl. VII) montre la disposition employée à Silberau. Elle est équivalente à la coulisse modifiée.

L'ensemble du crible à piston présente une disposition semblable à celle du crible continu du Bleyberg qui sera décrit plus loin. La caisse est tantôt en bois, tantôt en fonte. La construction complétement métallique commence à prévaloir ; ainsi, à Angleur, tous les appareils sont en fonte. Dans les ateliers de la Vieille-Montagne, où le type actuel a pris naissance, la caisse est encore en bois, mais les supports du mouvement sont en fonte.

La coulisse différentielle étant un organe assez compliqué et s'usant assez rapidement, on a cherché à la supprimer et à remplacer son action par celle d'un ressort. On ne pouvait guère songer à employer un ressort métallique que la rouille aurait rapidement détruit ; on a alors appliqué un ressort en caoutchouc. Voici la disposition adoptée (*fig.* 8, Pl. VII) :

Une came ou une excentrique soulève lentement la tige P du piston. Cette tige porte un renflement *a* sur lequel est posé un système formé de rondelles de caoutchouc séparées par des rondelles de tôle, et qui vient s'appuyer à la partie supérieure contre une barre transversale que traverse la tige du piston ; cette barre est fixée à deux montants appuyés sur la caisse du crible. Pendant que la tige monte, le ressort se comprime ; au moment où la came cesse d'agir, ce ressort se détend brusquement et imprime au piston un mouvement descendant très-rapide.

En théorie, cette disposition semble excellente ; en effet, la vitesse descendante du piston est très-grande et très-brusque, tandis qu'on est maître de régler comme on veut sa vitesse ascendante. Mais, en outre qu'il serait difficile d'appliquer cet organe aux cribles à grande course, l'action du ressort de caoutchouc n'est pas constante ; suivant les circonstances atmosphériques, son élasticité varie considérablement ; de plus, comme il est exposé continuellement à l'humidité, l'eau agit sur lui d'une façon désastreuse et le détruit très-rapidement. C'est pour ces deux causes que cette disposition a été abandonnée. Je l'ai encore vue en usage à l'atelier de la mine Blücher, près Bensberg ; mais on se proposait de la supprimer plus tard.

Un crible mécanique peut traiter en dix heures de trois à cinq tonnes de minerai suivant la grosseur des grenailles Plus ces dernières sont grosses, plus la production est forte.

Cribles continus. — Dans le crible à piston ordinaire, le travail est discontinu. Lorsqu'une opération est terminée, il faut enlever à la main, à l'aide d'une raclette, les matières classées, par autant de couches qu'on veut faire de classes distinctes. Lorsque l'ouvrier est habile, il ne

dérange pas beaucoup le classement, et enlève les grenailles sans trop les mélanger. Néanmoins un peu d'inattention suffit pour que le contraire arrive. De plus, puisque le travail est discontinu, la production d'un appareil est relativement faible, et la main-d'œuvre est encore assez grande, quoiqu'en général une femme puisse gouverner facilement deux cribles.

C'est pour parer à ces inconvénients que l'on a cherché à faire des appareils automatiques et continus. Il y en a aujourd'hui de plusieurs systèmes ; je vais décrire les principaux.

Cribles à tube. — Pour arriver à la continuité, le problème à résoudre est celui-ci : il faut enlever les matières classées au fur et à mesure qu'elles se produisent, d'une manière continue, et charger les matières brutes d'une façon continue aussi. Pour cette dernière condition, on y satisfait en adaptant aux appareils des trémies dont on soulève les vannes convenablement. Un ouvrier, du reste, chargé de la surveillance des appareils et du chargement, tient la main à ce que l'écoulement se fasse convenablement par ces vannes. Pour obtenir l'écoulement continu des matières classées, voici comment on a opéré au Hartz, où les cribles continus ont pris naissance (*fig.* 9, Pl. VII).

Le tamis, au lieu d'être plan, affecte la forme d'une surface pyramidale tronquée, très-surbaissée, et dont la petite base est en bas. Cette base est traversée par un tube *ab* par lequel les matières riches sont évacuées. Pour cela, un manchon en tôle *m m* entoure l'orifice du tube et descend un peu plus bas que cet orifice, de manière que sa base plonge toujours dans la couche de grenailles riches. Ces dernières, sous l'effort de la pression qui s'exerce autour du manchon, suivent le chemin indiqué par les flèches. Cet appareil, décrit en détail par M. Matrot (*Annales des mines* de 1867, tome XII, 6e série), a été employé dans différents ateliers ; mais on a supprimé tout le mécanisme compliqué

qu'il avait au Hartz et adapté au piston une coulisse ordinaire, comme pour les autres cribles. Pendant quelque temps, il a été le seul appareil continu employé. Je l'ai encore vu à Diepenlinchen et au Rocheux ; mais on l'abandonne généralement. La forme du tamis n'est pas favorable au classement ; l'évacuation n'ayant lieu que par un seul point, il n'y a pas dans la marche de l'opération toute la symétrie désirable. De plus, tel qu'il est, il ne peut servir que pour un mélange binaire : le riche sort par le tube et le stérile par un déversoir. A la vérité, on accole souvent deux appareils identiques, et alors on peut traiter des mélanges plus complexes. Enfin, comme il faut que le manchon laisse au-dessous de lui un espace libre au moins égal au diamètre des grenailles, si l'on traite des matières grosses et pauvres, l'évacuation peut devenir trop rapide, et empêcher ainsi l'enrichissement complet.

Au Rocheux, avec un appareil simple, on passe en 10 heures 6 à 7 mètres cubes ($2^t,5$) de grenailles de 4 à 7 millimètres de diamètre. On enlève de temps en temps la partie qui reste sur le crible, et qui doit être rebroyée.

A Diepenlinchen, l'appareil double ne fonctionne que lorsqu'on a un mélange binaire à repasser. On a reconnu que pour les minerais complexes il ne donnait pas de bons résultats.

Crible continu de Moresnet. — A Moresnet, où l'on n'a qu'un mélange binaire de calamine et de dolomine argileuse à traiter, on se sert d'un crible continu pour les grenailles de 4 à 6 millimètres. Dans ce crible, le tamis est plan. L'évacuation de la matière riche se fait au moyen d'une fente latérale qui existe tout le long de la face antérieure de l'appareil. Cette fente peut être élargie ou rétrécie au moyen de deux registres en tôle que l'on peut écarter ou rapprocher à volonté (*fig.* 10, Pl. VII). La matière stérile s'écoule en déversoir par-dessus l'une des parois de la caisse.

Cet appareil, qui fonctionne très-bien, traite jusqu'à 18 tonnes de minerai en dix heures.

Crible continu du Bleyberg.—Au Bleyberg-èz-Montzen, on se sert depuis longtemps d'un crible continu qui rend de très-bons services, et qui a été appliqué dans plusieurs autres ateliers avec quelques légères modifications. Il est représenté par les *fig.* 13 et 14 (Pl. IX). Comme on le voit par le dessin, c'est un crible à piston latéral, d'assez grande dimension, auquel on a ajouté un système d'évacuation continue. La matière riche sort de l'appareil par le tube D. La plaque horizontale F, que l'on peut descendre ou remonter à volonté, détermine l'épaisseur de la couche dans laquelle les matières riches sont puisées, et sert par suite à régler l'enrichissement à obtenir. Sur la face latérale se trouvent deux déversoirs E et G dont le premier sert à l'évacuation de la couche intermédiaire formée de minerais mélangés, et la seconde à la sortie du stérile. Une vanne B règle le chargement.

En dix heures, on passe 20 mètres cubes, soit 36 tonnes de minerai.

Quoique cet appareil donne de bons résultats, on peut encore lui reprocher, comme à l'appareil du Hartz, l'action du tube qui empêche l'opération d'être complétement identique sur toute l'étendue du tamis. A mon avis, il vaudrait mieux évacuer le riche par un troisième déversoir, comme on l'a fait à Angleur et au Rocheux.

Cribles d'Angleur et du Rocheux. — Dans ces deux ateliers, toutes les classes sont évacuées sur des déversoirs en tôle, présentant la disposition qu'indique la *fig.* 11 (Pl. VII). La tôle qui forme le déversoir 2 est recourbée, et peut s'élever ou s'abaisser à volonté, de manière à accroître ou réduire l'espace *ab* sur lequel la matière riche peut sortir. La même chose a lieu pour le déversoir 3. De plus, comme l'évacuation a lieu sur toute la largeur de la caisse, si le minerai était trop pauvre et les grenailles trop

grosses, l'espace *ab*, dont la hauteur doit être au moins égale au diamètre des grenailles, serait trop grand, et l'enrichissement insuffisant. Alors on dispose entre les déversoirs des tasseaux en bois dont les *fig.* 12 et 13 (Pl. VII) donnent une idée (*). Ces tasseaux présentent une série d'échancrures par lesquelles la sortie des grenailles peut se faire. On laisse ouvertes un nombre convenable de ces échancrures, en ayant soin de les fermer de deux en deux, de trois en trois, etc., de manière à produire une évacuation constante tout le long de la face. C'est, à mon sens, la manière la plus simple et la meilleure d'opérer. A Angleur l'appareil est double (*fig.* 14, Pl. VII); on y passe des grenailles de 1 à 10 millimètres, renfermant 75 p. 100 de pyrite avec un peu de blende et de galène.

La matière enrichie du premier tamis est de la galène à fondre ne contenant que très-peu de pyrite.

La deuxième couche se compose de pyrite et galène, et doit repasser au même appareil. Ce qui s'échappe par le troisième déversoir se rend dans le deuxième crible, dont la matière riche est de la pyrite (sur les 75 p. 100 de pyrite contenue, on en obtient là 70 p. 100). La partie intermédiaire est un mélange de blende et pyrite. Enfin, le reste est du stérile que l'on examine souvent, afin de voir s'il ne renferme pas de blende.

Au Rocheux, l'appareil est double comme à Angleur, on y traite les grenailles de 7 à 18 millimètres. Comme le mélange ne contient que plomb carbonaté et calcaire, chaque crible n'a que deux déversoirs. On obtient ainsi du minerai à fondre dans les deux cribles; le stérile s'échappe par le dernier déversoir.

Crible de Welkenraedt.—A Welkenraedt, où l'on traite un mélange intime de blende, galène et pyrite, on emploie un

(*) La *fig.* 13 représente la coupe transversale du tasseau faite suivant *ab*.

appareil formé de trois cribles du Bleyberg disposés en étages. Mais outre les déversoirs, les matières ont encore une issue à travers le crible. On opère sur fond de tamis, comme je le dirai plus loin en parlant des cribles à sables. On traite des grenailles de 1 à 3 millimètres. En dix heures et demie on peut passer de 60 à 70 tonnes de minerai.

Voici quel est le travail de ce crible, lorsqu'on traite du minerai qui n'a encore subi aucune opération.

Premier crible. . . .	1° A travers tamis.	Galène à fondre.
	2° Premier déversoir. . .	Galène mélangée de pyrite et de blende.
	3° Deuxième déversoir, conduisant au deuxième crible.	Mélangés.
Deuxième crible. . .	4° A travers tamis. . . .	Pyrite mélangée d'un peu de blende et de galène.
	5° Premier déversoir. . .	Blende mélangée de pyrite.
	6° Deuxième déversoir, conduisant au troisième crible.	Blende et stérile.
Troisième crible. . .	7° A travers tamis.	Blende.
	8° Déversoir.	Stérile.

Les classes 1 et 7 sont seules finies.

La classe 5 est finie après un repassage au même appareil.

Enfin les classes 2 et 4 doivent passer au broyeur avant de subir un nouveau criblage.

Comme on le voit la séparation n'est pas nette; cela tient à la nature du minerai qui est on ne peut plus difficile. Du reste, on ne se propose au criblage que de retirer les grenailles qui sont homogènes, et qu'il n'est pas nécessaire de réduire en schlammes. La majeure partie de la masse ne peut être traitée qu'après avoir été pulvérisée très-finement.

Néanmoins, le traitement de 6 tonnes de minerai à 25 à 30 p. 100 de plomb donne environ 1 tonne de galène à 82 p. 100.

C'est encore un résultat assez bon, vu la difficulté.

La *fig.* 15 (Pl. VII) montre la marche de l'appareil.

Crible Osterspei à Mechernich. — Le crible continu de Méchernich est formé de deux appareils réunis. Le minerai traité étant seulement binaire, chaque crible ne fait que deux classes : knottes plombeuses et mélangés pour le premier, knottes et stérile pour le second.

Le système d'évacuation se compose d'une pièce de bois A (*fig.* 16, Pl. VII), ayant la forme d'un segment cylindrique mobile autour de l'axe horizontal O. Cette pièce présente une série d'échancrures B, qui servent au passage de la matière riche. En relevant plus ou moins A au moyen de la tige filetée *t*, on peut donner plus ou moins d'espace libre, et par suite régler comme il convient l'évacuation de la substance riche qui tombe dans le canal C. La face supérieure de A forme déversoir. Cet appareil fonctionne bien; comme il fait partie d'un atelier complétement automatique, je n'ai pu connaître sa production.

Si l'on compare maintenant les cribles ordinaires avec les cribles continus, on trouve à l'avantage de ces derniers leur forte production, et un abaissement considérable de la main-d'œuvre. Néanmoins, il ne faudrait pas en conclure la suppression immédiate de tous les appareils discontinus. On a reconnu que ces derniers seront toujours les seuls à donner des résultats satisfaisants pour les grosses grenailles. On conçoit en effet que quand les éléments sont un peu gros, l'évacuation continue ne peut se faire avec la régularité qui est possible dans le cas où la finesse des grenailles rapproche les propriétés de la masse qui est sur le crible de celles des liquides. Aussi, comme l'ont montré les expériences faites à ce sujet au Bleyberg, le crible continu ne peut traiter des grenailles au-dessus de 15 millimètres.

Le tableau suivant donne le résultat d'expériences comparatives faites au Bleyberg entre le crible ordinaire et le crible continu.

MINERAI TRAITÉ en 10 heures.	TENEUR.	PRODUITS : Galène.	Mélangés.	Stériles.	Nombre d'ouvriers. Salaires.
Crible ordinaire { 3.420k (1m3)	Plomb, 17 p. 100 Zinc. 13 p. 100	450k à 80 p. 100 de plomb.	1.200k { 9 p. 100 plomb. 35 p. 100 zinc.	1.300k à 2 p. 100 zinc.	1
Crible continu { 36.000k (20m3)	Plomb, 17 p. 100 Zinc, 13 p. 100	5.640k à 81 p. 100 plomb	11.400k { 10 p. 100 plomb. 35 p. 100 zinc.	11.700k à 4 p. 100 zinc.	3

On voit par là que le crible continu est un peu inférieur au crible ordinaire quant à la teneur en zinc du stérile; mais on peut remédier à cela en surélevant un peu le dernier déversoir. D'un autre côté, la main d'œuvre a été réduite à 1f,42 par tonne de galène préparée, tandis qu'avec le crible ordinaire elle est de 3f,80. De plus, la production étant bien supérieure, les frais d'entretien sont moins élevés.

Il conviendra donc, pour les grenailles de 3 à 15 millimètres, d'employer le crible continu. Pour les minerais difficiles, il fera rapidement un bon dégrossissage ; on pourra alors finir les matières aux cribles ordinaires.

VII. — Traitement des sables.

On peut aujourd'hui ranger dans la catégorie des sables et traiter comme tels toutes les matières fines au-dessous de 2 à 3 millimètres et tangibles aux doigts. Les trommels ne peuvent guère classer au-dessous de 1/2 millimètre; nous verrons plus loin comment, à la tête des classeurs à schlammes, on obtient encore certaines catégories de sables fins descendant jusqu'à 1/4 de millimètre et même au-dessous, lorsque les minerais sont bien débourbés, et qui peuvent encore être traités très-facilement, comme les sables classés aux trommels.

Autrefois, le domaine du crible à secousses ne s'étendait guère en deçà des grenailles de 2 millimètres. Les sables

proprement dits étaient toujours traités sur des appareils de laverie, soit aux caissons allemands, soit aux round-buddles, soit enfin aux tables à secousses.

Aujourd'hui, au contraire, dans tous les ateliers bien dirigés, ces appareils tendent à disparaître pour faire place à des cribles continus, dits cribles du Hartz, et qui peuvent traiter tout ce qui est tangible aux doigts.

Caisson allemand. — On connaît cet appareil, qui dans les laveries du Hartz est nommé caisse à tombeau ; je n'en dirai que peu de chose, parce qu'il est généralement abandonné; je ne l'ai vu fonctionner encore que dans le vieil atelier de Holzappel; mais là il doit disparaître aussi.

Cependant, dans le cas d'une installation provisoire, ou bien lorsque la main-d'œuvre est à bon marché, cet appareil peut rendre de bons services ; c'est ainsi qu'on l'emploie quelquefois pour laver les cendres de zinc dans les usines à zinc et en retirer les poussières métalliques qu'elles renferment. Comme deux ou trois caissons suffisent pour une usine même considérable, il vaut mieux les employer que de monter des appareils compliqués et coûteux.

Le grand inconvénient de cet appareil réside surtout dans l'énormité de la main-d'œuvre qu'il entraîne lorsqu'on a affaire à un minerai un peu complexe, et dans les pertes qui résultent nécessairement du grand nombre des repassages.

Roundbuddle. — C'est pour éviter cet inconvénient qu'en Angleterre surtout on a remplacé le caisson par un appareil mécanique connu sous le nom de roundbuddle, et qui peut exécuter le même travail. Cet appareil est employé actuellement dans un certain nombre d'ateliers allemands. Je l'ai vu fonctionner à Diepenlinchen, à Breinigerberg, à Mechernich et à Holzappel. Mais dans ce dernier atelier, il était condamné à disparaître.

Je ne donnerai pas sa description qui est bien connue;

je vais seulement indiquer la nature du travail qu'il effectue, et la manière dont on l'emploie dans les ateliers dont j'ai parlé.

Considérons un grain de dimension a, de densité D, soumis à l'action d'un courant d'eau sur une table ou surface plane assez peu inclinée pour qu'on puisse négliger la composante de la pesanteur parallèle à cette surface. Ce grain sera alors soumis à deux forces, la résistance de l'eau et le frottement sur la table. Si u est sa vitesse relative par rapport à l'eau, on aura donc :

$$-\frac{du}{dt}\cdot\frac{\mathrm{K}a^3\mathrm{D}}{g}=\mathrm{K}'a^2u^2-\mathrm{K}a^3(\mathrm{D}-1)f,$$

f étant le coefficient du frottement.

De là on tire :

$$-\frac{du}{dt}=g\left(\frac{\mathrm{M}u^2}{a\mathrm{D}}+f\frac{\mathrm{D}-1}{\mathrm{D}}\right),$$

M étant égal à $\frac{\mathrm{K}'}{\mathrm{K}}$.

On voit que cette équation est de la même forme que celle qui résulte de l'étude de la chute des corps dans l'eau ; elle peut en effet s'écrire :

$$\frac{du}{dt}=\frac{gf}{\mathrm{D}}(\mathrm{D}-1)(1-\mathrm{A}^2u^2),$$

A^2 étant donné par l'équation

$$\mathrm{A}^2=\frac{\mathrm{M}}{fa(\mathrm{D}-1)}.$$

Par conséquent, il en résulte que si le mouvement des grenailles n'était pas gêné sur la table, et si ce mouvement durait assez longtemps pour que les vitesses-limites fussent atteintes, ces grenailles se classeraient par équivalence.

Mais en réalité, il n'en est pas ainsi; dans le caisson ou dans le roundbuddle, on travaille toujours la masse descendante, de manière à l'agiter et à remettre en suspension les grains de minerai et de gangue. Alors ces grains retombent et prennent par rapport à l'eau une vitesse verticale dont la valeur est donnée par l'équation

$$\frac{du}{dt}=\frac{g}{\mathrm{D}}(\mathrm{D}-1)(1-\mathrm{A}^2u^2).$$

Comme la hauteur de chute est très-faible, lorsque le mouvement finit, u est très-petit ; on a donc approximativement

$$\frac{du}{dt}=g\frac{\mathrm{D}-1}{\mathrm{D}}=g\left(1-\frac{1}{\mathrm{D}}\right).$$

On voit que plus D sera grand, plus $\frac{du}{dt}$ sera grand, et aussi u. Donc, dans ce petit mouvement vertical, ce sont les matières les plus denses, quelles que soient leurs dimensions, qui tombent le plus vite; les matières les moins denses resteront donc à la surface, et le courant les entraînera, sans presque toucher à celles qui sont déposées sur la table ou sur la surface libre d'un dépôt antérieur.

On peut donc dire approximativement que le caisson allemand et le roundbuddle classent par densité, les matières les plus lourdes étant toujours les plus rapprochées de la tête de l'appareil.

Généralement le roundbuddle ne fait qu'un travail préparatoire. Il ébauche les sables pauvres, et les rend propres à être traités sur d'autres appareils, tels que les tables à secousses. Ainsi, à Diepenlinchen on l'emploie pour les sables plus petits que 1 millimètre ; il prépare le minerai pour les tables à secousses. On passe en dix heures un quart 4 tonnes de sable par appareil. Lorsque la cuve est remplie, on la divise au moyen de cercles concentriques en cinq, six ou sept classes. La première seule va directement aux tables ; la dernière est rejetée comme stérile ; toutes les autres repassent au même appareil.

A Breinigerberg, où l'on appliquait la méthode anglaise, le roundbuddle est employé pour toutes les matières fines plus petites que 1 millimètre ; la tête de la cuve est ensuite passée au tossing-kive. Les coups que l'on applique sur le pourtour de ce dernier appareil ont pour but de remettre continuellement les matières en suspension, et alors, comme sur la table, et pour les mêmes raisons, ces matières se classent par ordre de densité. Après avoir frappé ainsi quinze à vingt minutes, la masse est séparée en couches ; on fait : galène à 48 p. 100 seulement, galène et pyrite, pyrite et blende, blende et stérile. Les trois dernières classes doivent repasser au même appareil.

Ce tossing-kive, qui donne d'excellents résultats en Angleterre pour les minerais d'étain, me semble ici moins bien à sa place. Il demande trop de main-d'œuvre pour être employé au traitement d'un minerai aussi complexe.

A Mechernich, les roundbuddles sont employés pour traiter les sables provenant du bocardage de knottes, et les parties pauvres rejetées par les appareils classeurs à eau dont je parlerai plus loin. Comme le traitement des sables riches sera décrit avec détails dans la suite de ce travail, et que de plus il ne se fait pas seulement aux roundbuddles, mais sur une série d'appareils différents, je n'en parlerai pas ici.

Les sables pauvres sont en très-grandes quantités ; ils ne contiennent que très-peu de plomb carbonaté, bien moins de 1 p. 100. Aussi le traitement est assez sommaire. Le minerai doit repasser cinq fois à l'appareil pour arriver à une teneur de 50 p. 100.

Un roundbuddle peut traiter en vingt-quatre heures de travail 32 à 35 tonnes de sable pauvre.

Table à secousses. — Pendant longtemps, la table à secousses a été l'appareil de laverie le plus parfait et le plus expéditif de ceux qui étaient employés en Allemagne. Tandis que les Anglais lui préféraient toujours le roundbuddle, elle trônait dans tous les ateliers du continent. Mais aujourd'hui, il n'en est plus ainsi, et bientôt roundbuddles et tables à secousses vont disparaître pour faire place au crible dont je parlerai plus loin. C'est pourquoi je ne m'étendrai pas longtemps au sujet de la table ; je dirai seulement comment elle travaille et comment on l'emploie.

Comme le roundbuddle, elle classe par densité. La secousse, en effet, a pour but de remettre continuellement les matières en suspension dans l'eau, tout comme le fait le balai mobile du roundbuddle. L'effet doit donc être le même ; mais de plus, la secousse tend à faire remonter sans cesse les matières vers la tête de la table : il en résulte que l'action de l'eau se fait sentir plus longtemps et que, par suite, le travail doit être plus efficace. Il n'est cependant jamais définitif ; on ne finit pas le minerai en une fois ; il faut le séparer en catégories qui sont retraitées séparément. C'est là le point faible de l'appareil : il y a encore trop de main-d'œuvre de chargement et de déchargement, et la production est trop faible.

Dans ces derniers temps, avant l'invention du crible à sables, on avait modifié la construction de la table de manière à la rendre plus légère et moins massive. Pour cela, on employait le métal.

Presque partout, dans les ateliers récents, ces appareils sont complétement métalliques. Les chaînes de suspension sont attachées à de petits treuils fixés au sommet de quatre petites colonnes en fonte, ce qui permet de supprimer toute la charpente. Les buttoirs seuls sont en bois.

Table Hartweg. — La table Hartweg, inventée dans les ateliers de la Vieille-Montagne, y est encore en usage aujourd'hui ; on l'emploie également à Mechernich pour le traitement des knottes bocardées. Mais elle doit bientôt disparaître de l'un et de l'autre de ces ateliers. C'est, en effet, un appareil trop compliqué ; la toile sans fin, faite ordinairement en fort tissu imprégné de caoutchouc, et soutenu

par des lattes en bois, se déchire souvent. De plus, pour éviter la suspension, et pour donner néanmoins de la tension à la table, on produit la secousse au moyen de ressorts en caoutchouc; j'ai donné plus haut les inconvénients de ces ressorts. Enfin, l'appareil ne peut servir qu'à un mélange binaire, et ne finit pas le minerai qu'il traite.

On s'en sert quelquefois, soit comme à Steinenbrück, pour ébaucher le minerai destiné aux tables à secousses ordinaires, soit, comme à Mechernich, pour finir les têtes de roundbuddles.

Un appareil peut traiter une fois en dix heures, environ 20 tonnes de minerai facile. C'est ce qui a lieu à Moresnet.

Crible du Hartz. — Le véritable appareil à sables, celui qui doit remplacer tous les autres dans un atelier bien dirigé, c'est le crible continu, dit crible du Hartz. Je vais en donner la théorie et la marche avec quelques détails.

L'appareil est continu; mais l'évacuation de la matière riche, au lieu d'avoir lieu par un orifice particulier, se fait par toute l'étendue du tamis dont les ouvertures ont un diamètre beaucoup plus grand que celui des grains de sable traités; mais alors, pour empêcher que toute la matière ne traverse ce tamis, on le recouvre d'une couche plus ou moins épaisse de grosses grenailles, de sorte que, pour arriver jusqu'à lui, le sable doit cheminer dans les interstices que ces grenailles laissent entre elles; on crible sur *fond de tamis*.

La nature et la grosseur de ces grenailles ont une très-grande influence sur la richesse du produit obtenu. Voici comment cette influence, qui paraît étrange au premier abord, peut être expliquée tout naturellement. La colonne ascendante d'eau qui traverse le tamis soulève les grains de sable, et les classe par équivalence; mais en même temps elle soulève aussi les grenailles; plus ces dernières sont grosses et lourdes, plus la hauteur à laquelle elles

montent est faible. Lorsque l'action de l'eau cesse, ces grenailles retombent beaucoup plus vite que le sable; alors elles entraînent avec elles toute la couche de sable où elles avaient pénétré.

Cette couche sera donc d'autant plus faible et par suite d'autant plus riche que les grenailles auront monté moins haut, c'est-à-dire qu'elles auront une plus grande densité.

Le plus souvent on emploie des grenailles de minerai; quelquefois aussi, comme à Angleur, on se sert de plomb de chasse de grosseur variable avec l'enrichissement que l'on a en vue.

Ce que je viens de dire se passe dans chacune des caisses dont se compose l'appareil; le plus souvent, pour des minerais complexes, ces caisses sont au nombre de quatre. La Pl. IX (*fig.* 11 et 12) représente le crible employé à Steinenbrück; comme on le voit, l'appareil est quadruple.

Le sable y est versé par un distributeur dont je parlerai plus loin, et arrive sur le premier tamis, accompagné d'un assez fort courant d'eau horizontal; tout celui qui n'est pas entraîné par les grenailles qui forment le fond du tamis, suit ce courant, et passe sur le deuxième tamis qui est à un niveau un peu inférieur à celui du premier, et ainsi de suite.

Les matières qui traversent les tamis se réunissent au fond des caisses, d'où elles sont évacuées par des ouvertures que l'on débouche par des intervalles, ou que l'on tient constamment ouvertes à un degré convenable. C'est le premier cas qui est représenté sur les figures indiquées. Lorsque cette évacuation se produit, il s'écoule de l'eau des caisses; aussi faut-il en remettre constamment, afin qu'elles ne se vident point; il ne faut pas, en effet, compter pour les remplir sur le courant horizontal qui traverse l'appareil, car alors ce courant perdrait trop de sa force, et ne pourrait plus entraîner les matières. On restitue donc constamment de l'eau au moyen de tuyaux qui aboutissent

dans le compartiment du piston, et que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté au moyen de robinets. Lorsque l'évacuation a lieu constamment, on use plus d'eau que dans le cas où elle est intermittente. Du reste, la consommation d'eau est toujours assez forte dans cet appareil, comme dans tous ceux qui sont continus; elle s'élève environ à un tiers de mètre cube par minute.

Le nombre des secousses que donne l'appareil est très-considérable; il est d'autant plus grand que le sable traité est plus fin; à Welkenraedt, ce nombre est de 110 par minute pour les sables de 1 millimètre, et de 150 pour ceux d'un quart de millimètre. Ce nombre est ordinairement le même pour tous les tamis d'un même appareil; cependant il pourrait y avoir avantage à le diminuer pour les derniers tamis, sur lesquels on traite des matières moins riches. C'est ce qu'on a fait quelquefois. Mais il y a une grande complication dans la transmission; de plus on croit que si toutes les secousses n'ont pas lieu au même instant, les différentes caisses réagissent l'une sur l'autre. Somme toute, dans certains ateliers on soutient que le nombre doit être le même pour tous les tamis : dans d'autres on dit le contraire; l'expérience n'a pas encore tranché la question.

L'amplitude de la secousse est également très-faible; à Welkenraedt, elle varie de 7 à 12 millimètres. Mais on peut donner des amplitudes différentes pour chaque tamis, cela n'a pas d'inconvénients, et présente l'avantage d'appauvrir un peu plus le stérile rejeté.

Comme on le voit, l'amplitude des secousses est faible, et le nombre en est grand. Aussi n'a-t-on pas appliqué à ces appareils la coulisse différentielle; pour mouvoir le piston, on s'est simplement servi de l'excentrique circulaire, modifiée de manière à pouvoir faire varier au besoin la longueur de l'excentricité. Pour cela, on a adopté deux dispositions.

Dans l'une (*fig.* 17, Pl. VII), l'excentrique porte une fenêtre rectangulaire dans laquelle vient se loger l'arbre qui a une forme carrée en cet endroit; il est maintenu dans une position déterminée, au moyen des deux vis contrebutantes v et v'; en allongeant l'une et raccourcissant l'autre de ces vis, on peut ainsi faire cheminer l'arbre dans la fenêtre, et par suite faire varier l'excentricité.

L'autre disposition consiste à former l'excentrique de deux pièces A et B (*fig.* 18, Pl. VII). La pièce A, calée à demeure sur l'arbre, forme par elle-même une excentrique dont B serait le collier; mais, comme l'indique la figure, B n'a pas partout la même épaisseur; alors en la tournant autour de A, son centre se place à des distances variables de l'arbre. Un système de vis de pression permet de fixer les deux pièces l'une à l'autre dans une position déterminée.

Le nombre de caisses est variable suivant le minerai traité; à Diepenlinchen, où le minerai se compose de galène et blende avec un peu de pyrite, il y a jusqu'à six tamis qui donnent :

Le 1er.	de la galène à	80 p. 100	de plomb,
Le 2e.	id.	à 72 p. 100	id.
Le 3e.	des mélangés de galène, pyrite et blende,		
Le 4e.	de la blende à	52 p. 100	de zinc,
Le 5e.	id.	à 45 p. 100	id.
Le 6e.	id.	mélangée de stérile.	

Mais il y a évidemment là une exagération; on l'a reconnu, et dans les nouveaux appareils, on ne mettra plus que quatre tamis qui donneront : galène, mélangés, blende, blende et stérile.

A Welkenraedt, où le minerai est très-difficile, et où l'on ne peut espérer appauvrir facilement le stérile, on n'a même mis que trois tamis qui donnent :

Le 1er.	. . .	de la galène à fendre,
Le 2e.	. . .	des mélangés (pyrite, galène et blende),
Le 3e.	. . .	de la blende.

Le plus souvent, pour le mélange ternaire en question, on emploie un appareil à quatre tamis.

Mais pour les mélanges binaires, deux tamis suffisent toujours lorsque les matières sont bien classées par grosseur.

La production d'un appareil est assez variable, suivant la nature et la grosseur du sable traité ; voici la moyenne obtenue dans les différents ateliers en dix heures de travail:

	tonnes.
Rocheux (plomb carbonaté et dolomie) . . .	9 à 10
Bleyberg (galène, blende, stérile)	4 à 4 1/2
Diepenlinchen (mélange quaternaire) . . .	6 à 10
Steinenbrück — id. —	7 1/2 à 10
Welkenraedt — id. —	5 à 7
Laurenburg — id. —	4 à 5

On ne peut tirer aucune conclusion de la diversité de ces chiffres, parce que les conditions sont trop différentes.

La main-d'œuvre afférente au crible du Hartz est très-faible ; un jeune homme ou une femme suffit pour diriger cet appareil, opérer le chargement et vider les caisses.

Lorsque l'on traite certains minerais qui se réduisent facilement en lamelles minces, comme les galènes et les blendes clivables ou le plomb carbonaté, le stérile n'est jamais appauvri complétement, parce que le courant d'eau entraîne ces lamelles. Pour remédier à cet inconvénient, on fait suivre le crible du Hartz d'une caisse pointue au fond de laquelle arrive un courant d'eau ascendant, comme celles qui servent au traitement des schlammes, et dont il sera question plus loin. Alors, on règle le courant de manière à ne pas entraîner le stérile, il n'enlève que les parties les plus fines et les lamelles riches ; le tout va se déposer dans des labyrinthes.

Pour augmenter encore la production de l'appareil, on a cherché à le doubler, en le formant de deux appareils simples accolés, mais n'ayant qu'une seule rangée de pistons; de cette manière un piston donne la secousse à deux cribles; mais on a reconnu que la régularité de l'action y perdait, il y avait toujours un des cribles qui recevait plus d'eau que l'autre ; il est en effet bien difficile d'arriver à ce que les couches de sable et de grenailles qui les recouvrent soient assez identiques pour opposer à l'eau une même résistance. On a renoncé à cet appareil.

Si maintenant nous comparons le crible du Hartz aux autres appareils qui servent au traitement des sables, nous lui trouverons de nombreux avantages. Je ne veux pas parler ici des caissons allemands ; je comparerai seulement avec les tables à secousses ordinaires. D'abord la production d'un appareil du Hartz est beaucoup plus forte, ainsi que le montre le tableau suivant :

	Table.	Crible du Hartz.	
Steinenbrück. . . .	2t,3	7,5 à 10t	en 10 heures.
Diepenlinchen. . .	2,5 à 3	6 à 10	en 10 —
Laurenburg.	1	4 à 5	en 10 —

La comparaison des chiffres relatifs à Laurenburg n'a pas grande valeur, car les produits traités sont très-différents ; mais les autres sont relatifs au traitement de produits semblables.

On voit par ce tableau que le crible du Hartz fait plus du double de besogne que la table à secousses ; or, son prix n'est pas plus élevé, et il tient beaucoup moins de place.

De plus, et c'est là son principal avantage, il donne toujours un ou deux produits complétement finis, il n'exige pas, comme la table, de nombreuses manipulations et repassages. Il en résulte nécessairement que la main-d'œuvre est très-diminuée. Ainsi, à Steinenbrück, pour produire en dix heures 6 tonnes de blende préparée, il faut aux tables dix-sept ouvriers ; tandis qu'avec un seul, au crible, on fait dans le même temps, avec une matière un peu plus pauvre, 1 tonne de minerai pur ; la main-d'œuvre est donc réduite dans le rapport de 3 à 1.

Enfin, les pertes peuvent être beaucoup réduites, car la séparation est beaucoup plus nette que sur les tables, et sans diminuer notablement la quantité de stérile rejeté, on peut l'appauvrir presqu'à volonté.

Le seul inconvénient du crible, c'est d'exiger une plus grande quantité d'eau ; mais généralement ce n'est pas un empêchement sérieux.

Par ce qui précède, on voit que le crible du Hartz est bien préférable à la table à secousses, et par suite au roundbuddle dont elle est l'égale. Aussi, depuis quelques années, l'a-t-on presque partout employé en remplacement des anciens appareils de laverie. De son introduction résulte certainement un des plus grands progrès qu'ait faits l'art de la préparation mécanique. Avant peu il sera appliqué dans tous les ateliers, et je ne doute pas qu'avec l'expérience, on n'arrive à lui faire donner de meilleurs résultats encore. On possède en effet un excellent moyen pour régler la marche, c'est la modification à volonté du fond de tamis et de la course du piston ; en faisant varier ces deux éléments ainsi que la vitesse d'arrivée du minerai et celle du courant d'eau, on peut obtenir facilement la richesse voulue dans le produit.

Appareils distributeurs.

Avant de passer au traitement des schlammes, je vais dire quelques mots des dispositions ayant pour but de distribuer convenablement les matières, sables ou schlammes, aux différents appareils où on les traite. Les anciennes laveries n'en avaient pas besoin, car, les opérations étant essentiellement discontinues, c'était l'ouvrier lui-même qui opérait et réglait le chargement. Tout au plus avait-on, à la tête des tables, des patouillets pour délayer les sables dans l'eau. Mais aujourd'hui, avec les appareils automatiques et continus que l'on emploie, il faut que la distribution se fasse aussi mécaniquement ; de plus, elle doit être très-régulière et très-constante, afin de ne pas faire varier la marche des appareils. C'est pour satisfaire à ces conditions que l'on a imaginé les différentes dispositions suivantes :

Au Rocheux, les matières, sables ou schlammes, sont chargées à la pelle, un peu humides, de manière à présenter une certaine consistance, dans un entonnoir conique en tôle. Cet entonnoir se prolonge par un tube dans lequel se meut un axe portant une plaque de tôle enroulée en hélicoïde. Cet axe est mis en mouvement, avec une vitesse convenable. On voit qu'à chaque tour la quantité de matière qui sortira de l'entonnoir aura un volume constant, égal à celui qui est compris entre deux spires consécutives de la surface hélicoïdale. Pour que la distribution soit constante, il suffira donc de donner à l'axe un mouvement uniforme.

A Angleur, la trémie de chargement A est sans fond, et elle est placée au-dessus d'un cône renversé C, qui porte suivant ses génératrices des lames a, a (*fig.* 19, Pl. VII). Ce cône tourne autour de l'axe G ; alors en passant pardessous la trémie, les lames a prennent une certaine quantité de sable entre elles qui est entraîné ensuite par le courant d'eau E dans la rigole circulaire B conduisant à l'appareil par le canal F. Au moyen du volant D, on peut soulever ou abaisser le cône distributeur, de manière à diminuer ou augmenter l'espace libre entre lui et la trémie qui est fixe, et par suite à faire varier la quantité de sable donnée à l'appareil.

Une semblable disposition est appliquée à la table à secousses latérales de Steinenbrück (*fig.* 2, 3 et 5, Pl. XI) ; seulement là, le cône distributeur est fixe, parce qu'il engrène avec un pignon placé sur l'axe d'un trommel ; alors c'est la trémie qui est mobile au moyen d'un petit volant.

Les deux appareils de chargement que je viens de dé-

crire sont un peu compliqués ; de plus, ils amènent toute la matière en un même point. La disposition représentée par les *fig.* 12 et 15 (Pl. IX), et appliquée aux cribles du Hartz des ateliers de la Vieille-Montagne, me semble préférable ; elle est en effet beaucoup plus simple, et a permis de distribuer le minerai sous la forme d'une lame ayant toute la largeur de l'appareil. Au fond de la trémie de chargement se trouve un cylindre A qui tourne dans le sens indiqué par la flèche. Il tend par suite à entraîner la matière qui est dans la trémie ; mais l'espace par où celle-ci peut s'échapper est limité par le registre B, qu'on éloigne ou qu'on rapproche à volonté du cylindre. Comme le sable humide adhère à ce dernier, un tuyau à mille trous D le lave complétement, et le courant d'eau qui en sort entraîne la matière dans l'appareil par le canal E. Ce canal n'est pas nécessaire ; il vaudrait mieux mettre le cylindre dans une direction perpendiculaire à celle qu'il a ; de cette manière le sable pourrait arriver dans le crible sous forme de nappe par un simple déversoir. Il est vrai que cette disposition nécessiterait des roues d'angle pour mettre le cylindre en mouvement ; mais ce n'est pas là une complication bien grande.

Ce distributeur peut être appliqué à tous les appareils de laverie.

VIII. — Traitement des schlamms.

§ I. *Appareils classeurs.* — Aujourd'hui, on réserve le nom de schlamms pour les matières les plus fines, qui ne sont pour ainsi dire plus tangibles aux doigts. Tout ce qui a des dimensions appréciables peut en effet être traité avantageusement comme sable. On a vu plus haut qu'à Welkenraedt le crible du Hartz traite des matières d'un quart de millimètre.

Mais il est à peu près impossible de séparer les sables fins des schlamms au moyen des trommels, dont on ne

peut faire descendre les dimensions des trous au-dessous d'un demi millimètre. Aussi faut-il pour cette séparation avoir recours à d'autres appareils. Ceux que l'on emploie sont tous basés sur l'action mécanique de l'eau ; ce sont les labyrinthes, les caisses pointues simples et les classeurs à courant ascendant. Je vais décrire ces appareils et donner quelques détails sur chacun d'eux.

Labyrinthes. — Les labyrinthes sont les appareils les plus anciens ; ils se retrouvent toujours à la suite des vieux bocards. Ils se composent d'un canal plus ou moins sinueux, au travers duquel sont placés de petits barrages destinés à rendre stagnantes en profondeur les eaux chargées de schlamms qui le parcourent. Mais la profondeur n'est jamais assez grande pour que cette stagnation se produise à peu près complétement. Voyons alors quelle est la nature du classement qui a lieu dans ces appareils.

Si un grain est entraîné dans une masse d'eau se mouvant horizontalement, et si sa vitesse est la même que celle de l'eau supposée constante, il en résulte que son mouvement dans le sens horizontal sera uniforme. Dans le sens vertical, il se mouvra au contraire comme s'il tombait librement dans l'eau en repos. Par suite, les grains équivalents mettront le même temps pour arriver au fond, si ce temps est suffisant pour que les vitesses-limites soient atteintes. Dès lors, des grains équivalents partis du même point, iront encore se déposer au même point, en décrivant des courbes d'autant plus tendues que la quantité $a(D-1)$ sera plus petite. Le classement aura donc lieu par équivalence.

Mais les choses ne se passent pas tout à fait ainsi dans les labyrinthes, précisément à cause des barrages dont j'ai parlé. Il n'y a que la tranche supérieure du liquide qui soit en mouvement ; le fond est presque immobile. De sorte que, en réalité, les grains arrivent animés d'une vitesse horizontale dans une masse d'eau presque en repos.

Le mouvement dans le sens vertical n'est pas modifié ; et

si le temps est assez long, c'est-à-dire si l'eau est assez profonde, tous les grains équivalents arriveront au fond en même temps. Le mouvement dans le sens horizontal s'effectue en vertu de la vitesse initiale et de la résistance du liquide. Voyons quelle est la nature de ce mouvement.

Soit u la vitesse horizontale et a la dimension transversale d'un grain, la résistance de l'eau sera

$$K'a^2u^2,$$

Par suite, on aura :

$$\frac{du}{dt}\frac{Ka^3D}{g} = -K'a^2u^2,$$

d'où

$$-\frac{du}{u^2} = \frac{K'g\,dt}{KaD},$$

et, si u_1 est la vitesse initiale,

$$\frac{1}{u} = \frac{K'gt}{KaD} + \frac{1}{u_1}.$$

Comme on le voit, la vitesse sera décroissante; elle ne dépendra que de la quantité aD. Tous les grains pour lesquels cette quantité est la même se trouvent au même moment sur un plan vertical. Cette vitesse sera d'autant plus grande que aD sera plus grand. Par suite les grains les plus gros et les plus lourds iront le plus loin dans un temps donné; mais comme la durée de leur chute est la plus faible, on ne peut plus rien dire de net. Du reste, les conditions pratiques ne sont pas tout à fait celles que nous avons supposées, car au moment où les grains pénètrent dans l'eau immobile, ils n'ont pas la même vitesse. De plus, on rapproche les barrages de manière à ne faire qu'une classe pour le produit qui se dépose entre deux d'entre eux; de sorte qu'on n'a pas beaucoup à s'inquiéter de la manière dont sont classés les grains dans cet intervalle.

Enfin, comme on travaille souvent à la pelle dans les labyrinthes, on gêne les mouvements relatifs des grains,

et par suite on tend à produire un classement par densité.

De tout ce qui précède, il résulte que le classement obtenu aux labyrinthes n'a rien de net; on sait seulement que les grains les plus gros et les plus lourds sont à la tête. On n'obtient un résultat certain que si l'on remue beaucoup les produits qui dès lors se classent par densité.

Caisses pointues simples (*Spitzkasten*). — Les caisses pointues ne sont qu'une modification des labyrinthes; comme l'indique leur nom, elles se composent d'une série de caisses ayant la forme de pyramides renversées et communiquant entre elles au moyen de canaux peu profonds dans lesquels le courant prend dès lors une vitesse horizontale assez forte.

La masse de liquide qui remplit la caisse est presque stagnante; le courant ne se fait sentir qu'à la partie supérieure.

L'appareil se compose toujours d'au moins quatre caisses; il y en a souvent plus; leurs dimensions vont en croissant à partir de la première. Voyons quel est le travail produit par cet appareil. Si nous considérons isolément la portion d'eau en mouvement dans la caisse 1, nous savons que les grains se classent le long de *ab* (*fig.* 20, Pl. VII) par équivalence; tous les grains qui se déposeraient dans l'intervalle *ab* tombent dans la caisse 1 et se rassemblent au fond. De même pour les caisses suivantes. Il en résulte que l'appareil sépare en catégories, chaque catégorie renfermant tous les grains pour lesquels $a(D - 1)$ est compris entre deux limites d'autant plus rapprochées que les intervalles tels que *ab*, *cd*, etc., sont plus petits. Comme ce sont les matières les plus riches que l'on a intérêt à classer le plus exactement par équivalence, et que ces matières se déposent dans les premières caisses, on fait les largeurs de ces caisses plus faibles pour rapprocher les limites entre lesquelles $a(D - 1)$ est renfermé.

En réalité, les choses ne se passent pas tout à fait ainsi;

le courant d'eau qui arrive dans une caisse suit un instant la paroi de cette caisse, et se noie dans la masse d'eau qu'elle renferme; de même à la sortie, le courant vient un peu de l'intérieur, et entraîne par suite une partie des matières qui étaient tombées dans la caisse, mais seulement les plus légères, ce qui augmente encore la netteté du classement.

Les caisses pointues, dues à M. de Rittinger, sont très-usitées dans les laveries allemandes, où elles ont presque partout remplacé les anciens labyrinthes qui ont pour ainsi dire totalement disparu. Elles produisent en effet un travail beaucoup plus net que ces derniers, et sont moins encombrantes, parce qu'on peut facilement les placer à un niveau quelconque au-dessus du sol, les ouvriers n'ayant jamais à y travailler. Des orifices percés à la base servent à évacuer les matières classées, et peuvent dès lors les verser directement aux appareils de laverie, ce qui supprime la main-d'œuvre, et la remplace simplement par le travail d'une pompe centrifuge ou d'une roue élévatoire pour porter l'eau chargée de schlamms au niveau des caisses.

Appareils à courant d'eau ascendant. — Malgré ces avantages, les caisses pointues simples tendent à disparaître aussi des ateliers de préparation mécanique pour faire place aux appareils à courant d'eau ascendant qui n'en sont quelquefois que des modifications. Ces appareils sont très-nombreux comme types; mais tous reposent sur le même principe que je vais d'abord établir.

Si un grain tombe dans une masse d'eau ayant une certaine vitesse ascendante, si la vitesse-limite qu'il peut prendre par rapport à l'eau est supérieure à celle de l'eau, il tombera au fond; si elle est égale, il sera en équilibre, et si elle est plus faible, il sera entraîné. Comme cette vitesse limite ne dépend que de la quantité $a(D-1)$, il en résulte que dans un courant semblable, les grains seront

classés suivant la verticale, par équivalence, et séparés en trois catégories : ceux qui sont entraînés, ceux qui restent en équilibre, et ceux qui tombent au fond de l'eau.

Je vais décrire un certain nombre d'appareils basés sur ce principe; ils rendent de très-grands services en effectuant un travail préparatoire qui rend les schlamms propres à être traités ultérieurement.

Caisses pointues à courants ascendants. — Souvent on se contente de modifier les caisses pointues simples en faisant arriver au fond de chacune d'elles un tuyau qui amène un courant d'eau; ce tuyau peut simplement plonger dans la caisse (*fig.* 21, Pl. VII), ou bien traverser sa paroi. Le courant qu'il produit peut être modéré à volonté au moyen d'un robinet à cadran. Mais la caisse allant en s'élargissant continuellement vers le haut, et le courant étant constant dans le tuyau, il en résulte que la vitesse ascendante de l'eau dans la caisse va constamment en diminuant au fur et à mesure que cette eau s'élève. Il en résulte que des grains qui ont pu traverser les couches supérieures seront arrêtés plus bas, mais sans pouvoir être entraînés hors de la caisse. Il y aura donc en suspension dans la caisse toute une catégorie considérable de grains qui finira bientôt par l'obstruer en formant une boue de moins en moins liquide. Pour remédier à cet inconvénient, on n'a qu'à augmenter brusquement la vitesse du courant ascendant, et on entraîne ainsi tout ce qui était en suspension dans la caisse; puis on revient à la vitesse normale.

Il vaut cependant mieux empêcher ce dépôt, et on y arrive facilement de la manière suivante. La caisse pointue est prolongée en hauteur par une caisse parallélipipédique *ab* (*fig.* 22, Pl. VII). Dès lors, la vitesse ascendante de l'eau est constante dans tout l'intervalle *ab*, et les seuls grains qui restent en suspension sont ceux qui prennent dans l'eau une vitesse égale à cette vitesse constante. Leur quantité est donc considérablement diminuée, et on n'a pas

à s'en inquiéter, parce que, pratiquement, la vitesse n'étant pas rigoureusement constante dans le tube, ils finissent par tomber ou être entrainés si cette vitesse diminue ou augmente un peu.

Ces caisses sont appliquées à Welkenraedt et à Silberau. Comme pour les caisses pointues simples, et pour les mêmes raisons, celles qui sont en tête doivent avoir les plus faibles dimensions.

Ces caisses à courant d'eau ont sur les autres l'avantage de pouvoir donner, sans diminuer outre mesure leurs dimensions transversales, des catégories de grains renfermées dans des limites d'équivalence plus resserrées.

L'appareil de Welkenraedt, que l'on nomme *strom canal*, a six caisses. On y traite toutes les matières qui ont traversé les trommels de 1 millimètre. Les produits des trois premières caisses, dont les dimensions moyennes sont de $0^{mm},75$ à 1 millimètre pour la première, $0^{mm},5$ à $0^{mm},75$ pour la seconde et $0^{mm},25$ à $0^{mm},5$ pour la troisième, sont encore traités comme sables, et vont au crible du Hartz; ce sont ceux des trois dernières caisses seulement qui sont traités comme schlamms proprement dits.

A Silberau, lorsque les produit proviennent des menus de la mine, on ne donne à l'appareil que les matières qui ont traversé le trommel de $0^{mm},5$; il n'y a qu'une seule caisse dont le produit est traité comme sable sur une table à secousses ordinaire.

Ce qui sort de cette caisse se rend dans les labyrinthes où se déposent les schlamms proprement dits.

Si les produits proviennent du broyage des mélangés de scheidage, l'appareil qui reçoit des matières de mêmes dimensions que précédemment se compose de trois caisses alimentant chacune un système de tables à secousses. Le refus de la dernière caisse va également aux labyrinthes.

Enfin, les produits des bocards, ayant traversé une toile de 1 millimètre, se rendent à un appareil de petites

dimensions et formé de six caisses contiguës qui alimentent des cribles du Hartz. Les refus seuls de ces caisses, qui vont se déposer dans des caisses pointues simples, sont traités comme schlamms proprement dits.

Quelquefois on simplifie beaucoup la construction de l'appareil en sacrifiant un peu la netteté du classement. Ainsi, à Steinenbrück, le système se compose d'une caisse rectangulaire en zinc, de $1^{m},50$ de longueur environ, cloisonnée à l'intérieur et divisée en six loges comme l'indique la *fig.* 23, (Pl. VII). Les trois premières seules reçoivent un courant ascendant par le fond.

Les cloisons sont de plus en plus inclinées à partir de la première; cette disposition ayant pour effet de rétrécir l'espace laissé au courant au fur et à mesure qu'il s'élève, la vitesse de ce dernier augmente vers le haut; de cette manière tous les grains qui ont traversé la première couche d'eau tombent nécessairement au fond, car ils arrivent dans des couches animées d'une moindre vitesse. Il ne peut donc rien y avoir en suspension dans l'eau. C'est un moyen très-simple et très-efficace de remédier à l'inconvénient que je citais plus haut.

Les produits des quatre premières loges sont traités comme sables aux cribles du Hartz. Les autres seuls vont aux appareils à schlamms.

A Breinigerberg et à Saint-Goar, l'appareil est encore plus simple. Il se compose d'une auge en bois ayant la forme d'un prisme triangulaire dont une des faces serait placée horizontalement (*fig.* 24 et 25, Pl. VII). Dans le courant d'eau qui remplit cette auge et qui porte les schlamms, viennent plonger une série de tubes verticaux amenant de l'eau pure qui forme un remous plutôt qu'un courant ascendant, remous qui entraîne les matières légères, et laisse tomber les matières lourdes qui s'échappent par des orifices placés au-dessous des tubes et constamment ouverts. On obtient ainsi un classement indéterminé, mais dont on se contente.

Il existe, en Belgique surtout, des appareils à courant d'eau qui ont pour but, sinon de produire la séparation définitive des matières traitées, du moins de la préparer très-efficacement. Ce sont les lavoirs dits « bacs d'Engis, » et les classeurs Dor. Je vais les décrire et indiquer les résultats qu'ils donnent avec quelques détails.

Bac d'Engis. — C'est dans les ateliers de la Nouvelle-Montagne, à Engis, que cet appareil a été inventé et appliqué tout d'abord. Il se compose d'une série de treize loges, disposées dans une auge en bois placée dans le sol. (*fig.* 1, 2, 3, 4 et 5, Pl. X). Ces loges sont séparées par des cloisons en bois dont les hauteurs vont en décroissant, depuis la tête de l'appareil, de sorte que si on verse de l'eau dans la première, lorsqu'elle est pleine, la cloison forme déversoir, la seconde loge s'emplit à son tour, et ainsi de suite jusqu'à la dernière; une fois l'appareil rempli, si on continue à verser de l'eau, elle s'écoulera d'une manière continue en passant successivement par toutes les loges. Au-dessus des dix premières loges, règne une rigole en zinc dans laquelle on fait arriver la matière à traiter. A la base de cette rigole, et de chaque côté, règnent deux petits canaux en zinc *n* qui communiquent avec les pièces transversales *a* ayant la forme indiquée sur la *fig.* 5. Le fond de la rigole est à jour : il n'est formé que par l'ensemble des pièces *a*. A la tête de l'appareil, un entonnoir *d* sert à conduire de l'eau pure à la fois dans les loges par les tuyaux *b*, et dans les deux canaux de la rigole, par les branches *c*. Par suite de la vitesse horizontale que possède la lavée dans la rigole de zinc, l'eau se tient dans les loges à un niveau supérieur. Alors, il en résulte un courant ascendant qui monte dans la rigole par les intervalles des pièces *a*. De plus, chacune de ces pièces fournit un courant dont l'inclinaison va en augmentant quand on s'éloigne de la tête.

Par conséquent, les matières en suspension dans l'eau

sont soumises à la fois à trois courants, l'un horizontal, l'autre vertical et le troisième oblique. Dès lors, elles devront se classer dans les loges par catégories pour chacune desquelles l'expression a (D — 1) sera comprise entre deux limites d'autant plus rapprochées que ces loges seront plus étroites, et que la vitesse horizontale sera plus grande. C'est précisément pour augmenter cette vitesse horizontale et, par suite, faire un triage plus complet des matières pauvres, que l'inclinaison des pièces *a* diminue.

Les trois loges qui suivent sont destinées à recueillir les parties pauvres, mais non tout à fait stériles. Le stérile seul s'échappe.

A Engis, on passe à cet appareil toutes les matières ayant traversé un trommel de 1 millimètre 3/4. Souvent, quand ces matières sont riches, on obtient du minerai à fondre dans les premières loges; mais presque toujours on ne fait qu'un travail préparatoire. La production est forte; en dix heures on peut passer à l'appareil 15 tonnes de matières; mais la consommation d'eau est aussi très-grande; elle va jusqu'à 160 à 180 litres par minute. Les frais de traitement propres à l'appareil ne s'élèvent pas au delà de 0f,70 par tonne de minerai passé.

Au Rocheux, on emploie le même appareil qu'à Engis, mais avec des dimensions plus petites. On y passe toutes les matières ayant traversé un trommel de 3/4 de millimètre. Les deux premières loges donnent du carbonate de plomb à 58 p. 100 qui est considéré comme fini. Les produits de toutes les autres loges sont traités aux cribles du Hartz. Mais les eaux qui s'écoulent avec une grande vitesse, entraînent beaucoup de matières très-fines qu'il faut encore recueillir. On le fait dans des bassins en bois où elles sont conduites. Ces matières sont traitées sur les tables Rittinger dont je parlerai plus loin.

Au Bleyberg, on emploie également le bac d'Engis, avec dix loges seulement. Il est clair que le nombre de ces loges

peut varier beaucoup. Le produit des six premières va aux cribles du Hartz ou aux tables à secousses ; ce qui se dépose dans les dernières est traité sur les tables Rittinger.

Enfin, à Moresnet, on a construit un vaste appareil de 16 mètres de longueur ; mais on a supprimé la rigole de zinc et les pièces *a* qui introduisent une grande complication dans la construction. Le courant ascendant d'eau pure vient d'une rigole où le niveau est de 25 cent. plus élevé que celui de l'eau dans les loges. Ici encore, les premières loges donnent de la calamine finie ; les produits des autres sont traités sur les tables Hartweg, mais bientôt ils passeront aux cribles du Hartz.

Si l'on veut restreindre un peu le nombre des loges, et chercher à ne faire un produit définitif que dans les deux premières tout au plus, on peut beaucoup simplifier le bac d'Engis en supprimant les pièces *a*. Et alors, c'est un appareil très-simple, tenant peu de place, et pouvant donner d'excellents résultats sans beaucoup de frais. Il est surtout très-utile pour faire un travail préparatoire. Comme il classe à peu près par équivalence, il faudrait autant que possible, lui faire succéder un appareil classant par densité ; c'est ce qu'on a fait à Engis, où les produits du bac sont traités sur les tables ou aux caissons. Le contraire arrive quelquefois, comme au Rocheux et au Bleyberg. Alors l'effet du crible n'est plus que d'achever ce que le bac avait commencé, et il n'est plus nécessaire de multiplier les loges, car le crible ne servirait plus à rien, si on lui donnait des matières déjà classées exactement par équivalence. Aussi, serait-il préférable, si c'était possible, de classer en grosseur tout ce qui doit passer aux cribles, et de réserver le bac pour les schlammes proprement dits qui passeraient ensuite aux tables.

Classeurs Dor. — M. Dor, ingénieur à Ampsin, a inventé et appliqué plusieurs appareils classeurs qui ne sont que

des modifications des caisses pointues à courant ascendant. Tout d'abord il avait formé ses classeurs de cinq barillets plus ou moins semblables à celui qui est représenté par les *fig.* 26 et 27, Pl. VII, et qui est destiné au charbon. Mais si l'on se reporte à ce que j'ai dit plus haut, on voit que le système présentait des inconvénients graves dus à l'élargissement des barillets au-dessus du point d'arrivée du courant. C'est ce que la pratique a montré à M. Dor ; alors il eut l'idée de placer au-dessus de l'orifice de ce courant un disque conique très-aplati. La lavée arrive au moyen d'un tuyau central sur ce disque qu'elle abandonne pour recevoir l'action du courant. Au-dessus, il y a bien encore un élargissement, mais il est très-brusque, et l'inconvénient dont je parlais a disparu en partie.

L'appareil actuel se compose de cinq barillets dont quatre à courant et un sans courant.

On peut y passer environ quatre tonnes en dix heures. La consommation d'eau est considérable.

Dans cet appareil, les barillets vont en augmentant, puisque la quantité d'eau qui les traverse va en croissant rapidement, quoique la matière diminue. Il en résulte aussi que la consommation d'eau augmente en même temps, car plus le courant descendant est abondant, plus le courant ascendant doit l'être aussi.

C'est pour parer à cet inconvénient que M. Dor a construit son appareil vertical (*fig.* 6, Pl. X). Le classement se faisant par refus, il en résulte que la quantité d'eau diminue dans les barillets successifs, et que ceux-ci sont de plus en plus petits. De plus, le cylindre A placé au-dessus du cône C empêche tout élargissement de la section au-dessus du point où la matière reçoit l'action du courant, et la marche de l'appareil est encore améliorée. Tous ces classeurs sont en zinc ; ils sont légers et occupent peu de place, surtout celui qui est vertical. Je crois qu'ils peuvent rendre de grands services. Pourtant, ils gagneraient encore à être simplifiés.

D'abord on pourrait réduire le nombre des barillets. Si l'on cherche, en effet, les teneurs des produits des deuxième, troisième et quatrième barillets, on trouve qu'elles ne diffèrent que peu. Quelquefois même elles augmentent au lieu de diminuer. Cela tient à la difficulté de placer convenablement les robinets à cadran qui règlent les courants ascendants. Il vaudrait donc mieux demander seulement à l'appareil un travail d'ébauche, et diminuer le nombre des catégories qu'il fournit. De plus, pour éviter tout engorgement, il faudrait s'arranger de manière que la section diminuât au-dessus du joint où le courant attaque la matière traitée et augmentât au contraire au-dessous. Il en résulterait que les grains entraînés le seraient de plus en plus, car ils rencontreraient des tranches où la vitesse croîtrait successivement, et ceux qui ne le seraient pas tout d'abord tomberaient immédiatement, car ils ne rencontreraient que des vitesses plus faibles que celle qu'ils auraient déjà surmontée. Il n'y aurait pas de matière en suspension continue, et la production de l'appareil pourrait être considérablement augmentée, sans que pour cela la consommation d'eau devînt beaucoup plus grande.

La *fig.* 28 (Pl. VII), indique comment on pourrait réaliser la disposition décrite ci-dessus. Trois barillets ayant cette forme, placés verticalement l'un au-dessus de l'autre, et classant à refus, feraient, je crois, un bon appareil. On pourrait éliminer beaucoup de stérile et faire deux classes riches.

Les appareils à courant d'eau rendent de grands services aussi, lorsqu'ils ne sont pas destinés à produire un classement définitif, ni même un travail préparatoire, mais simplement une séparation en deux classes qui doivent subir isolément ensuite un traitement complet et souvent très-différent. C'est le cas des appareils employés à Welkenraedt et à Mechernich.

Celui de Welkenraedt, désigné sous le nom de *schlammpeter*, est un petit appareil en zinc représenté par la *fig.* 7 (Pl. X). Celui qui est destiné à la calamine reçoit tout ce qui a traversé un trommel de 5 millimètres et partage la matière en deux classes dont les dimensions extrêmes sont à peu près 1 millimètre et 5 millimètres. Celui qui est destiné aux minerais sulfurés ne reçoit que les matières plus petites que $2^{mm},7$; il fait aussi une classe de 0 à 1 millimètre. Ce sont ces matières fines qui sont traitées aux caisses pointues à courant ascendant dont j'ai parlé plus haut.

L'appareil de Mechernich, nommé *Hebewäsche*, est de plus grandes dimensions. Il est représenté par les *fig.* 8, 9 et 10 (Pl. X). Il se compose de deux cylindres en fonte formant chacun un barillet distinct. Les matières rejetées par le premier sont versées dans le second. Le courant ascendant arrive par le tuyau *b* à travers les ouvertures du faux-fond D ; les matières lourdes tombent dans la partie E. On les évacue en pressant sur la pédale P, ce qui ouvre la soupape A ; en même temps, A′ se ferme, afin que l'eau du cylindre ne s'échappe pas pendant qu'on vide.

Cet appareil consomme environ 8 pieds cubes d'eau par minute. Mais il a une production colossale. Il sert à appauvrir les sables qui ont traversé le trommel de 2 millimètres. Il traite en vingt-quatre heures tous les sables provenant de 2.000 tonnes de minerai, soit au moins 1.500 à 1.600 tonnes. Il les rend tout à fait stériles, à l'exception de ceux qui renferment du plomb carbonaté, et qui sont épuisés par un traitement au roundbuddles.

On peut dire en général que l'introduction des appareils classeurs à courant ascendant a été la cause d'un très-grand progrès dans la préparation mécanique. Elle a en effet donné lieu à un traitement plus rationnel des matières fines, la main-d'œuvre a été diminuée, et la continuité introduite dans une partie de la préparation. De plus le traitement ultérieur est rendu plus facile, grâce au dé-

bourbage énergique, que le courant fait subir aux matières sur lesquelles il agit.

On avait essayé autrefois à Engis un classeur à vent. Les matières fines, bien desséchées, venaient tomber dans un courant d'air très-intense : elles étaient ainsi lancées à des distances variables et classées. Cherchons quelle était la nature du classement.

Nous pouvons admettre que tous les grains tombent avec la même vitesse, lorsque la durée de la chute est faible, ou la hauteur de chute petite. Cela revient à négliger la résistance de l'air qui est à peu près nulle pour de petites vitesses. Nous n'avons donc à nous inquiéter que du mouvement dans le sens horizontal.

Chaque grain reçoit une impulsion proportionnelle à la surface qu'il oppose au courant, il prend par suite une vitesse qui sera proportionnelle à

$$\frac{K' a^2 g}{K a^3 D}, \quad \text{ou à} \quad \frac{1}{aD},$$

et qui sera toujours plus faible que celle du courant, de sorte que le mouvement du grain aura lieu en vertu de cette vitesse et de la résistance de l'air.

Soit V la vitesse du courant, et u celle du grain. La vitesse relative est $v = V - u$, on aura donc

$$\frac{K a^3 D}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = -K' a^2 v^2.$$

Par suite,

$$\frac{1}{v} = \frac{K' g t}{K a D} + \frac{1}{v_1}.$$

Mais

$$v_1 = V - \frac{K' g}{K a D},$$

d'où

$$\frac{1}{v} = \frac{K' g t}{K a D} + \frac{1}{V - \frac{K' g}{K a D}},$$

Plus aD sera grand, plus $\frac{1}{v}$ sera petit, et par suite plus v ou $V - u$ sera grand, et u petit.

Donc, puisque les grains arrivent sur le sol dans le même temps, ils seront classés d'après les valeurs de aD. Plus cette expression sera forte, plus ils seront près de l'appareil.

Le classeur à vent produisait un très-bon résultat à Engis; malgré cela on a dû l'abandonner, la grande difficulté dans un atelier humide comme une préparation mécanique est de dessécher suffisamment les matières, pour que le classeur agisse bien. On était forcé de produire cette dessiccation par des foyers, de sorte que le prix de revient augmentait beaucoup. On a préféré se servir du classeur à eau. Les frais pour une tonne s'élevaient à 1f,18.

§ II. *Traitement des schlamms proprement dits.* — Les schlamms proprement dits, séparés et classés comme on vient de le voir, sont ensuite traités sur des appareils spéciaux destinés à les enrichir. Pour que ces appareils produisent un bon résultat, il faut qu'ils classent par densité. On ne pourra donc employer que les tables ou leurs équivalents.

Tables dormantes. — Pendant longtemps, lorsqu'on ne rejetait pas les schlamms, on se contentait de les traiter sur de grandes tables peu inclinées, et dites *tables dormantes;* la lavée arrivait au sommet de l'appareil, sur toute sa largeur, sous forme de lame très-mince. Cette lame recevait normalement un courant d'eau pure qui entraînait les matières légères, et laissait les plus lourdes sur la table. Pour aider à la séparation, des ouvriers agitaient très-légèrement les matières, soit à l'aide de rables en bois, soit avec des balais en forme de brosses et très-mous. Lorsque la table était remplie, on la partageait en un certain nombre de tranches, au moyen de plans verticaux. Ces tranches formaient autant de catégories différentes, qui

devaient ensuite repasser séparément sur le même appareil pour être enrichies. Il fallait souvent repasser ainsi les matières un grand nombre de fois, et ce mode d'opérer exigeait une main-d'œuvre considérable pour une production très-faible. Il fallait en effet, faire couler la lavée très-lentement, si l'on ne voulait pas entraîner la majeure partie des matières riches hors de la table, et occasionner par suite des pertes considérables. Comme on le voit, les tables dormantes étaient pour les schlamms, l'équivalent des caissons allemands pour les sables.

Tables à secousses. — Pour diminuer la main-d'œuvre, et augmenter la rapidité du traitement, on a essayé d'appliquer les tables à secousses qui donnaient de très-bons résultats pour les sables. Aujourd'hui encore, on opère ainsi à Laurenburg. Mais c'est une mauvaise manière d'opérer. D'abord la production est très-faible, car il faut que le courant de matières soit lent. Cela tient à ce que l'amplitude des secousses et la tension de la table doivent diminuer vite avec les dimensions des matières traitées ; alors la secousse n'ayant plus autant d'énergie, n'a plus autant d'effet, et l'appareil se rapproche ainsi de plus en plus de la table dormante. De plus, la secousse a pour effet de tasser les schlamms au lieu de les agiter, surtout s'ils ne sont pas parfaitement débourbés.

A Laurenburg, une table ne traite en dix heures que 750 à 1,000 kilogrammes de schlamms. C'est réellement trop peu.

Tables à balais (*Kehrherde*). — Pour éviter de repasser successivement les différentes catégories que l'on faisait sur les tables dormantes ou sur les tables à secousses, on a lappliqué en Allemagne un appareil appelé *kehrherde*, et qui finit complétement le minerai. Il se compose d'une vaste table dormante très-peu inclinée et présentant vers sa base une série de fentes transversales qui peuvent être ouvertes ou fermées à volonté au moyen de bandes de cuir (*fig.* 1, Pl. VIII). J'ai encore vu fonctionner un appareil semblable dans le vieil atelier de Holzappel, qui doit disparaître bientôt, lorsque celui de Laurenburg sera complétement terminé. Voici comment on s'en sert.

Les bandes de cuir A, B et C étant relevées de manière à fermer les fentes transversales, on admet la lavée sur la table ; lorsqu'elle est descendue jusqu'en A, et qu'elle recouvre la table d'une très-faible épaisseur, on l'arrête et on fait couler par dessus un courant d'eau pure. Au moyen d'un balai on agite en commençant au sommet ; l'eau entraîne les matières stériles qui s'écoulent par la rigole *d*. On ouvre alors la fente C en abaissant le cuir, puis on recommence à agiter comme précédemment ; alors les matières plus denses viennent se rendre dans la caisse C ; on ouvre ensuite B, puis A. A la fin on nettoie complétement la table, puis on admet de nouveau la lavée, et ainsi de suite. On a ainsi trois catégories, en *a*, *b*, *c*, classées par densité. A Holzappel, où l'on traitait un mélange ternaire de blende, galène et stérile, on obtenait en C de la blende pure, en *b* un mélange de blende et galène, et en *a* de la galène à fondre.

Le kehrherde donne de bons résultats comme séparation ; mais sa production est insignifiante ; il donne à peine quelques kilogrammes de minerai préparé dans une journée. De plus, la netteté de la séparation dépend absolument de l'habileté de l'ouvrier à manier le balai, et comme on ne peut employer que des jeunes gens, car le salaire des hommes serait hors de proportion avec la production, on ne peut pas toujours obtenir d'eux une attention et une expérience suffisantes.

Tables tournantes (*rotirendeherde*). — C'est pour éviter ces inconvénients que l'on a cherché un appareil fondé sur le principe même du kehrherde, mais qui soit continu et n'ait plus besoin que d'être réglé une fois pour toutes. Les tables tournantes, ou rotirendeherde, sont précisément dans ce cas.

Ces tables sont de deux sortes : les unes sont convexes et les autres concaves; les tables convexes sont les plus employées. Ces dernières ont été décrites en détail dans le mémoire déjà cité de M. Matrot. Je n'insisterai donc pas beaucoup sur leur description. Je dirai seulement qu'aujourd'hui on est loin de la lourde construction en bois des ateliers du Hartz; comme tous les autres appareils de préparation mécanique, les tables tournantes se sont métallisées, et dans les nouveaux ateliers de Laurenburg, où on les emploie sur une grande échelle, elles sont complétement métalliques.

L'emploi du métal pour la construction de la table a eu pour avantage de la simplifier beaucoup en supprimant tout le système de brosses destinées à agiter les matières à la surface et à produire leur évacuation complète. Avec le bois, il était en effet impossible d'avoir une surface parfaitement unie; l'humidité faisait gonfler le bois, et un grand nombre de petits éclats se soulevaient sans cesse et rendaient l'action des brosses indispensable. Avec la fonte, au contraire, il n'en est plus ainsi : les courants d'eau provenant des tuyaux à mille trous qui se trouvent par-dessus suffisent très-bien, soit pour agiter, soit pour nettoyer la table.

En les rendant métalliques, on a beaucoup diminué le rayon des tables tournantes ; ainsi, à Laurenburg, elles n'ont que $1^{m}.50$ de rayon, et encore la couronne n'a que $0^{m}.65$ de largeur. Malgré ce peu de largeur, on peut néanmoins produire un bon travail; en disposant les tuyaux à mille trous de manière que leurs jets soient dirigés vers le haut de la table, on peut faire remonter un peu les matières, et les empêcher de descendre trop vite; on les force ainsi à rester plus longtemps sur la table, et on les agite constamment, ce qui est une bonne condition pour que le classement par densité se produise bien. Ainsi, à Laurenburg, lorsque l'on traite les matières les plus lourdes provenant du classeur à eau, on fait immédiatement de la galène à 50 p. 100 de plomb, en une seule opération, avec d'autres classes de mélangés qui doivent subir des traitements ultérieurs.

Les différentes catégories fournies par les tables tournantes et recueillies à leur circonférence ont presque toujours besoin d'être retraitées pour être finies. Ce n'est que dans le cas où l'on traite des matières déjà enrichies, comme à Laurenburg, que la première classe donne du minerai bon à fondre. Il faut alors reporter successivement les matières au sommet de la table, ce qui occasionne encore beaucoup de main-d'œuvre et de transports. C'est pour éviter une partie de cette main-d'œuvre que l'on a imaginé les tables étagées. Deux tables tournantes à axes parallèles sont disposées l'une au-dessus de l'autre, de sorte que la première classe de l'une tombe sur la seconde, et soit finie là. Mais on n'évite ainsi qu'une partie du mal, et on complique l'appareil. Souvent la table supérieure est concave ; les matières et l'eau de lavage arrivent à la circonférence, et descendent comme dans un entonnoir. A l'inverse de ce qui se produit sur la table convexe, l'intensité du courant descendant va en augmentant au fur et à mesure qu'il s'approche du bas de la table. Si c'est une bonne condition pour que l'entraînement des matières stériles se fasse bien, et que par suite la première classe soit plus enrichie, c'est aussi une cause de pertes plus considérables, car les points riches peuvent être entraînés avec les stériles. On a pris cette disposition surtout pour mettre les deux tables sur le même axe, et simplifier par suite l'appareil. A Silberau, où beaucoup de tables sont doubles, les deux systèmes se rencontrent concurremment, et je ne sais trop celui qui doit avoir la préférence.

Je vais indiquer maintenant en quelques mots le travail des tables tournantes dans les divers ateliers où je les ai vu appliquer.

A Silberau, les schlamms provenant des menus de la mine, et qui se déposent dans les labyrinthes, sont traités sur des tables tournantes simples, en bois, de 3 mètres de rayon. Elles produisent quatre classes, savoir : galène à 50 pour 100 de plomb bonne à fondre, mélangés riches, mélangés pauvres, stériles.

Les mélangés riches sont retraités sur une table spéciale et donnent également quatre classes, savoir : galène à fondre, galène et blende, blende et stérile, stérile. Les deux produits intermédiaires retournent aux premières tables.

Les mélangés pauvres ne donnent que trois classes : galène et blende, blende et stérile, stérile. Les deux premières classes sont traitées avec les produits intermédiaires du traitement des mélangés riches.

En 10 heures, une table peut traiter une fois 2.225 kilog de schlamms.

Les tables destinées aux schlamms provenant des minerais de bocards sont toutes à deux étages. Celle du dessus a 2 mètres de rayon et celle du dessous 3 mètres. La table supérieure donne trois classes, savoir : galène à fondre à 50 pour 100 de plomb, mélangés riches et mélangés pauvres. Ce sont ces derniers seuls qui coulent directement sur la table inférieure et qui donnent : un peu de galène à fondre, des mélangés riches qui sont traités concurremment avec ceux qui proviennent de la table supérieure, et du stérile qui est rejeté. Les mélangés riches passent à une table spéciale où l'on sépare d'abord la galène ; ce qui reste est ensuite retraité pour blende. En 10 heures, une table à deux étages peut traiter 5 tonnes de schlamms.

A Laurenburg, avec de petites tables en fonte, on fait quatre catégories, savoir : galène à 50 pour 100 de plomb, galène et blende, blende et stérile, stérile. Les produits intermédiaires vont aux tables à secousses. La production est très-faible ; en 10 heures, une table ne traite pas plus de 500 kilogrammes de schlamms.

A Saint Goar, il existe une table tournante à deux étages ; la table supérieure est de grandes dimensions ; elle est en bois. La table inférieure, au contraire, est en fonte, et n'a que deux mètres de rayon. On traite sur cet appareil des schalmms riches tenant 24 pour 100 de plomb et 34 p. 100 de zinc. La table supérieure donne directement de la galène à fondre, des mélangés riches, des mélangés pauvres et du stérile. Les mélangés pauvres tombent sur la table inférieure, et sont classés en quatre catégories : galéneux et blendeux qui repassent aux tables à secousses, mélangés riches et mélangés pauvres qui sont retraités sur le même appareil. En 10 heures, on passe environ 5 tonnes de schlamms.

A Steinenbrück, il existe encore deux tables tournantes simples, en bois et à brosses comme celles du Hartz. On y fait cinq classes, savoir : galène et blende, blende et galène avec un peu de stérile, blendeux riche, blendeux pauvre, stérile. Les troisième et quatrième classes seules repassent au même appareil pour faire de la blende ; les deux premières classes sont traitées sur les tables à secousses latérales dont je vais parler un peu plus loin.

En 10 heures, une table traite 4 à 5 tonnes de schlamms provenant des deux dernières loges du classificateur dont j'ai parlé plus haut (page 349).

La main-d'œuvre nécessaire pour le service d'une table est assez faible ; un jeune homme suffit toujours pour charger l'appareil et décharger les caisses où se rendent les produits différents.

En somme, on peut voir que la table tournante est un bon appareil ; on ne peut lui reprocher qu'une chose, c'est de ne pouvoir donner du premier coup, même avec des matières enrichies, des produits très-riches, et d'exiger par suite trop de traitements ultérieurs. Quand on a des minerais de plomb et zinc, elle sacrifie trop la blende qu'elle laisse en grande partie dans la galène ; or on sait quel mau-

vais rôle joue le zinc dans la métallurgie du plomb, et quelles pertes sa présence occasionne. Il était donc à désirer qu'on pût avoir un appareil produisant, même pour les schlamms les plus fins, un classement assez net pour permettre d'avoir de la galène débarrassée de blende, et de retirer du minerai la plus grande partie de cette dernière matière à un état de pureté suffisant pour être traitée directement pour zinc. L'appareil que je vais décrire maintenant est précisément dans ce cas.

Tables à secousses latérales, dites Tables Rittinger. — des tables à secousses latérales ont été imaginées par M. de Rittinger, et appliquées tout d'abord en Hongrie. De là elles ont passé en Belgique où elles sont presque partout employées aujourd'hui. Elles font concurrence aux tables tournantes; les Allemands préfèrent encore ces dernières; mais déjà beaucoup d'ateliers ont adopté le nouvel appareil qui certainement se répandra de plus en plus.

La table Rittinger se compose d'un rectangle suspendu au moyen de chaînes inclinées, de manière à avoir une certaine tension, et présentant une légère pente dans le sens AD (*fig.* 2, Pl. VIII); ce rectangle est actionné par une came qui le pousse dans le sens de la flèche *f* et qui l'abandonne pour le laisser retomber sous l'action de la tension des ressorts qui pressent la face AD. Il vient butter contre un arrêt fixe et reçoit par suite une secousse latérale. La lavée arrive à l'angle supérieur A, sur la largeur AB; de l'eau claire s'épanche sur la table par toute l'étendue BC; les produits classés se rendent à la base dans différentes caisses *a*, *b*, *c*, *d*; les matières les plus riches sont les plus rapprochées de l'angle E.

Voyons quelle est la nature du classement produit.

Une molécule quelconque *m*, si elle était seule sur la table, serait soumise à l'action du courant descendant, et à celle de la secousse. Son mouvement relatif par rapport

à l'eau, dans le sens AD, serait déterminé par l'équation suivante trouvée page 31,

$$\frac{du}{dt} = \frac{gf}{D}(D-1)(1-A^2u^2),$$

dans laquelle $A^2 = \frac{M}{fa(D-1)}$. Mais le mouvement dure assez longtemps pour qu'il devienne uniforme, et par te la vitesse est constante, et donnée par l'équation

$$u = \frac{1}{A} = \sqrt{\frac{f}{M}a(D-1)}.$$

Donc, à chaque instant, les grains équivalents seront à peu près sur une même droite parallèle à AC, si l'on suppose que leurs mouvements réciproques ne se gênent pas.

Le mouvement dans le sens de AC est dû à l'impulsion produite par la secousse. Au moment où la table retombe sur son buttoir, elle est animée d'une vitesse qui s'anéantit immédiatement. Le grain *m* continue en vertu de son inertie, à se mouvoir dans le sens AC, jusqu'à ce que le frottement et la résistance du liquide aient anéanti sa force vive. Si *v* est sa vitesse à un moment donné, on doit avoir:

$$\frac{dv}{dt}\cdot\frac{Ka^3D}{g} = -K'a^2v^2 - Ka^3(D-1)f,$$

d'où l'on tire

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{gf}{D}(D-1)(1+A^2v^2),$$

A^2 ayant la même valeur que précédemment.

On voit que *v* va toujours en décroissant; sa valeur maximum est la vitesse de la table au moment de la secousse. Or, dans la pratique, cette vitesse est toujours très-faible: on peut donc négliger le terme en v^2, ce qui revient à négliger la résistance du liquide. On est d'autant plus en droit de le faire que l'eau, étant aussi soumise à la se-

cousse, est animée d'une vitesse dans le sens du mouvement, et oppose par suite une moindre résistance.

On peut donc écrire :

$$\frac{dv}{dt} = -gf.\frac{D-1}{D}.$$

Par conséquent, le mouvement relatif par rapport à l'eau, qui se produira à la suite d'une secousse, dans le sens AC sera uniformément retardé. La composition des deux mouvements auxquels une molécule isolée est soumise donne lieu à une trajectoire ayant la forme d'une parabole dont l'axe est parallèle à AC, et la concavité tournée vers AD.

Le chemin parcouru dans le sens AC pendant le temps t sera donné par l'expression

$$e = V_0 t - \frac{gf}{2D}(D-1)t^2,$$

V_0 étant la vitesse de la table au moment de la secousse, et t étant compté à partir de ce moment. Cet espace n'étant en fonction que de D, il en résulte que tous les points de même densité seront en même temps sur une même parallèle à CE.

La vitesse à un instant quelconque sera donnée par l'équation

$$v = V_0 - \frac{gf}{D}(D-1)t.$$

Pour qu'elle soit nulle, c'est-à-dire pour que le mouvement transversal dû à la secousse cesse de se produire, il faut qu'on ait :

$$t = \frac{V_0 D}{gf(D-1)}.$$

Plus D sera grand, plus cette valeur de t sera petite.

L'espace parcouru pendant ce temps sera égal à

$$\frac{V_0^2}{2gf\left(1-\frac{1}{D}\right)}.$$

On voit encore que cet espace diminue lorsque D augmente.

Si V est la vitesse de l'eau sur la table dans le sens AD, le mouvement absolu du grain sur cette table dans ce sens sera donné par l'équation

$$E = t\left(V - \frac{1}{A}\right) = t\left(V - \sqrt{\frac{fa(D-1)}{M}}\right).$$

Lorsque la vitesse dans le sens AC sera nulle, cet espace sera égal à

$$E_1 = \frac{V_0 D}{gf(D-1)}\left(V - \sqrt{\frac{fa(D-1)}{M}}\right),$$

ou à

$$E_1 = \frac{V_0 V}{gf\left(1-\frac{1}{D}\right)} - \frac{V_0}{g}\sqrt{\frac{a}{f}}\sqrt{\frac{D^2}{D-1}}.$$

Or, $\dfrac{V_0 V}{gf\left(1-\dfrac{1}{D}\right)}$ diminue quand D augmente.

Quant à $\dfrac{D^2}{D-1}$, si l'on prend la dérivée par rapport à D, on trouve

$$\frac{D(D-2)}{(D-1)^2}.$$

Si $D > 2$, ce qui arrive toujours dans le cas qui nous occupe, cette dérivée est positive. Donc $\sqrt{\dfrac{D^2}{D-1}}$ augmente avec D. Par conséquent E_1 diminue quand D augmente.

Enfin si l'on fait le rapport $\frac{E}{e}$ on a :

$$\frac{E}{e} = \frac{V - \sqrt{\frac{fa(D-1)}{M}}}{V_0 - \frac{gf(D-1)t}{D}};$$

Pour $t = o$, ce rapport est égal à

$$\frac{V - \sqrt{\frac{fa(D-1)}{M}}}{V_0}.$$

On voit qu'il diminue aussi quand D augmente.

De ce qui précède, il résulte que si deux grains sont partis du point O (*fig.* 2, Pl. VIII) au moment de la secousse, ils parcourent par suite de cette secousse, les deux paraboles OP et OQ. La trajectoire du plus lourd aura son sommet P plus rapproché des axes que celui de la trajectoire du plus léger, et la tangente en O sera d'autant plus rapprochée de l'horizontale que D, ou plutôt que a (D—1) sera plus grand.

Par conséquent, s'il n'y avait qu'une seule secousse, ce serait les grains les plus légers qui se rapprocheraient le plus du bord CE de la table : mais si une deuxième secousse arrive avant que le mouvement dû à la première ne soit terminé, et assez tôt pour que les trajectoires OP et OQ ne se soient pas encore coupées (si elles se coupent), cette deuxième secousse produira un effet analogue à celui de la première. Seulement, les trajectoires sont plus tendues parce que au moment où la secousse arrive, les grains ont encore une vitesse dans le sens de celle qu'elle doit leur communiquer. On conçoit alors que si les points p et q où se trouvent les grains lors de la deuxième secousse sont assez rapprochés du point O, la trajectoire du grain le plus lourd pendant la période qui suivra cette secousse,

fera à son point de départ l'angle le plus petit avec Ox, et que par suite, la trajectoire résultant de tous les petits chemins parcourus entre deux secousses par le grain le plus lourd, sera complétement extérieure à celle du grain léger, et par suite ira couper le bord DE de la table plus loin du point E que cette dernière.

En résumé on voit que la trajectoire d'un grain isolé serait formée d'une suite de petits arcs paraboliques, et que, si à un instant donné tous les grains équivalents sont sur une même parallèle à AE, tous les grains d'égale densité sont aussi sur une même parallèle à CE. Il en résulte que le classement aura lieu par densité, et que si les secousses sont suffisamment rapprochées, les matières les plus denses seront les plus près du point E.

Puisque les vitesses initiales des petits mouvements paraboliques qui suivent chaque secousse vont en augmentant, il en résulte que les tangentes aux éléments de parabole décrits, et par suite à la trajectoire générale de chaque grain devraient aller en se rapprochant de plus en plus de la direction AC; c'est ce que j'ai vérifié à Welkenraedt, et il en serait toujours ainsi si l'eau en se portant du côté de la secousse ne produisait vers le bord CE de la table un courant plus intense qu'ailleurs, et qui a pour effet d'augmenter la vitesse dans le sens AD. Ce courant est d'autant plus intense qu'on s'approche davantage du bas de la table ; il en résulte alors que les trajectoires apparentes des grains ressemblent souvent à des courbes paraboliques dont les axes sont parallèles à AD, et les sommets situés vers A.

Cette accumulation d'eau du côté où se trouve le minerai riche a encore pour effet de lui faire subir un traitement plus énergique, et par suite de l'enrichir davantage.

Les résultats théoriques auxquels je viens d'arriver n'ont pas toute la rigueur désirable. Cela tient à la décomposition du mouvement réel en deux autres, dans lesquels

je fais entrer la résistance de l'eau et le frottement comme s'ils étaient seuls. Pour être tout à fait dans le vrai, il faudrait évaluer ce frottement et cette résistance d'après la direction de la trajectoire et les décomposer ensuite; mais alors le calcul devient très-difficile.

Les choses ne se passent pas dans la pratique tout à fait comme je l'ai indiqué plus haut. Les différents grains sont en effet gênés les uns par les autres. De plus, les secousses les font souvent un peu sauter à la surface de la table, alors en retombant ils se classent par densité, et l'eau entraîne ceux qui sont au-dessus, c'est-à-dire les plus légers. Cette circonstance ne modifie pas le classement, elle le rend même encore plus parfait.

La table Rittinger est plus apte à donner des stériles tout à fait pauvres que n'importe quel appareil. D'abord, comme nous l'avons vu, elle produit un classement très-net. De plus, si par suite d'une irrégularité un grain riche se mêle au stérile, même à une faible distance de la base de la table, il est encore soumis à un assez grand nombre de secousses avant qu'il quitte l'appareil pour qu'il puisse se séparer et venir se placer au moins parmi les mélanges intermédiaires. Cependant, dans les premiers moments où l'on se servait de cette table au Bleyberg, on remarquait que les stériles rejetés renfermaient encore près de 2 p. 100 de plomb lorsque la classe pauvre d'à côté n'en contenait point. Cette richesse s'explique par l'entraînement de lamelles de galène qui flottent à la surface de l'eau. Le même fait s'est aussi observé au Rocheux où l'on traite du plomb carbonaté cristallisé. C'est pour empêcher cet entraînement qu'on dispose en travers de la table, une ou deux lames obliques MN peu épaisses, mais qui suffisent pour produire un remou et faire tomber au fond les lamelles qui ne peuvent plus se soutenir dès qu'elles ne sont plus posées à plat à la surface du liquide. L'effet de ces lames a été excellent, et aujourd'hui les stériles rejetés sont

tout à fait pauvres. Toutes les tables Rittinger que j'ai vues sont pourvues d'une ou de deux lames semblables.

Après m'être étendu assez longuement sur le principe de cette table, je vais en donner la description. Je dirai ensuite comment elle travaille, et je terminerai ce qui lui est relatif par une comparaison avec la table tournante. Elle est représentée sur la Pl. XI, telle qu'elle est employée à Steinenbrück et dans les ateliers de la Vieille-Montagne.

Le châssis en bois qui supporte la table proprement dite, est suspendu au moyen de quatre chaînes dont on peut au moyen d'écrous faire varier à volonté la longueur, à un bâtis solide en charpente établi sur des fondations très-résistantes. On comprend facilement que ces dernières tendent à être déchaussées à cause des vibrations continues et très-fortes auxquelles elles sont soumises; ces vibrations sont produites par les chocs si nombreux des châssis contre les buttoirs. Ces fondations se composent d'un cadre de charpente très-solide, formé de pièces d'un fort équarrissage, et qui sont fortement assujetties à la maçonnerie et ancrées dans le sol au moyen de boulons résistants. Les buttoirs contre lesquels vient heurter le châssis doivent être solidaires de ce cadre, afin que les chocs nombreux ne viennent pas les écarter de plus en plus de l'appareil.

Pour produire la secousse, le châssis est écarté des buttoirs au moyen d'un arbre à cames; dès que les cames l'abandonnent, de forts ressorts en bois, formés de madriers superposés à la manière des suspensions de voitures le renvoie fortement contre ces buttoirs, et produisent la secousse. Ces ressorts doivent être d'autant plus puissants que le nombre de secousses par minute est considérable; il faut en effet que le châssis soit venu heurter les buttoirs avant que la came n'entre en prise pour donner la secousse suivante. La longueur de la secousse peut être réglée à volonté.

Dans les premiers appareils construits, la table proprement dite était en bois, mais on n'a pas tardé à reconnaître que cette matière est trop déformable sous l'action de l'humidité ; la surface de la table se gerçait continuellement et présentait des inégalités trop grandes pour un appareil aussi délicat et aussi sensible.

On a alors songé à employer la tôle ; les tables Rittinger du Bleyberg sont en tôle fixée sur une aire en madriers au moyen de nombreuses vis dont les têtes sont noyées sous la tôle, et aplanies avec soin. Ce mode d'attache est nécessaire pour prévenir les gonflements de la surface dus aux dilatations du métal sous l'influence des accroissements de température, dilatations qui ne peuvent se faire librement, car il faut que la table soit très-solidement fixée au châssis qui la porte.

On a également employé la fonte rabotée, elle a donné de bons résultats ; mais pendant le chômage la surface s'altère par suite de la rouille, et de plus le poids de la table est trop considérable.

On m'a appris qu'on avait employé d'épaisses glaces de verre, mais que les variations dues à l'humidité les avaient fait casser.

La matière à laquelle on donne la préférence, c'est la pierre. On obtient facilement à la scie dans différentes carrières ouvertes, soit dans le calcaire carbonifère, soit dans les schistes, de grandes dalles de 2 à 3 centimètres d'épaisseur, bien planes, présentant un poli suffisant et qui constituent les meilleures tables que l'on ait : elles ne sont pas trop lourdes, leur surface est invariable, et elles résistent bien aux variations dues à l'humidité.

D'ordinaire le châssis porte deux tables séparées seulement par une pièce de bois et tout à fait semblables. A la base de chacune d'elles sont fixées des pièces de bois taillées en biseau, et qui peuvent tourner autour du clou qui les fixe, de manière à faire varier la largeur réservée à

chacune des classes que l'on produit. Il est très-facile de régler convenablement ces pièces, car la séparation est tellement nette qu'on distingue très-bien les matières à la surface de la table. Il arrive même quelquefois que les différentes classes sont séparées par des vides apparents.

Quelquefois un seul arbre à cames commande deux châssis semblables qui viennent alors butter contre les mêmes arrêts et aux mêmes instants. Cette disposition a été, m'a-t-on dit, imaginée au Dam, près d'Anvers. L'atelier étant établi sur les alluvions de l'Escaut, malgré tous les soins apportés aux fondations, ces dernières cédaient toujours, et les tables se déplaçaient dans l'atelier, lorsque chaque système avait ses butteurs propres. C'est pour remédier à cet inconvénient grave que l'on a appliqué la disposition dont je parle, et que je crois excellente dans tous les cas ; elle dispense en effet de fondations solides. Malgré cela, je ne l'ai vu appliquer nulle part.

Le nombre des secousses varie entre 200, 250 et même 300 par minutes (*) ; l'amplitude de la secousse est d'environ 10 à 12 millimètres.

Un ouvrier suffit pour conduire une table double, c'est à-dire pour surveiller le chargement et pour vider les caisses.

Quand on traite le mélange ternaire de galène, blende et stérile, on fait d'ordinaire quatre classes, savoir : galène à fondre, mélangé de blende et de très-peu de galène, blendeux, stérile. Les deux produits intermédiaires repassent à l'appareil, et donnent immédiatement de la blende riche.

La production est assez faible. Le tableau suivant indique les quantités traitées et les produits obtenus en dix heures, dans les ateliers où j'ai vu la table Rittinger fonctionner :

(*) En Hongrie, les tables Rittinger ne donnent pas un travail excellent. Cela tient probablement au petit nombre des secousses (130 au maximum, 80 d'ordinaire) que l'on imprime à l'appareil. Les résultats théoriques exposés plus haut tendent à le prouver.

	Quantités traitées.	Produits obtenus.
Rocheux	3 mètres cubes	»
Bleyberg	5 à 7 mètres cubes.	260 à 300 kilog. de galène à 80 p. 100
Steinenbrück	Les deux premières classes provenant du traitement de 7 mèt. cub. sur les tables tournantes	En moyenne, d'après la production mensuelle. 1.000 kilog. de blende. 100 kilog. de galène.
Welkenraedt	9 tonnes (3 mèt. cub. 1/2 environ).	150 kilog. avec les schlamms pauvres. 400 à 500 kilog. avec les schlamms plus riches.

Mais si la production est faible, l'enrichissement obtenu est considérable, et les séparations sont très-nettes. Ainsi, au Bleyberg, on fait directement de la galène à 80 p. 100. A Steinenbrück et à Welkenraedt où les minerais sont plus difficiles, la teneur de la galène s'élève encore à 75 ou 78 p. 100 de plomb, avec 1 ou 2 p. 100 de zinc seulement. Au Rocheux, le carbonate de plomb obtenu tient 60 p. 100. La teneur élevée du produit est déjà un avantage très-considérable qu'a le nouvel appareil sur la table tournante. La production est au moins égale à celle de cette dernière; généralement elle est même beaucoup plus forte; ainsi à Welkenraedt, on traite neuf tonnes en dix heures, tandis qu'à Ems une table tournante double ne traite que cinq tonnes. De plus, la quantité de matières à repasser étant moins grande, par suite de la plus grande netteté de la séparation, la production réelle est encore élevée relativement à celle de la table tournante.

On peut encore ajouter que la table Rittinger tient moins de place dans un atelier.

La main-d'œuvre relative à chaque table est la même. Mais ce qui fait la grande supériorité du nouvel appareil, c'est la possibilité de retirer presque toute la blende contenue dans les minerais, chose presque impossible dans les anciennes laveries, où la blende était toujours sacrifiée.

En résumé, on peut dire que la table Rittinger a sur le rotirendeherde les nombreux avantages suivants : plus grande netteté de séparation, production plus forte et par suite diminution de la main-d'œuvre rapportée au poids

traité, augmentation du poids utilisé des matières secondaires. Ces avantages ont suffi pour la faire appliquer partout en Belgique; les ateliers de la Vieille-Montagne l'ont tous adoptée, même pour traiter les schlamms de calamine. En Prusse, au contraire, on leur a préféré les rotirendeherde; cependant, à Mechernich, dans le nouvel atelier, on doit les employer sur une très-grande échelle. A quoi faut-il attribuer cette divergence d'opinion? Je ne puis le dire; car je ne sais aucune raison valable à donner.

La table Rittinger est le complément indispensable de tout atelier qui veut traiter des schlamms avec le plus de profit possible. Elle en devient un des principaux appareils dans les cas où, comme à Welkenraedt, la difficulté offerte par le minerai force à produire beaucoup de matières fines. Enfin elle constitue l'atelier à elle seule, avec les classeurs à eau, dans le cas où, comme au Dam, on est forcé de tout réduire en schlamms avant aucun traitement. Les minerais, venant de la Sardaigne, que l'on traite dans cet atelier, sont en effet si intimement mélangés, qu'il est impossible d'en tirer des grenailles ou des sables homogènes; de plus, ils sont très-complexes : ils renferment de la galène, de la blende, de la pyrite et du cuivre pyriteux. On peut affirmer que c'est à la table Rittinger qu'on doit de pouvoir les traiter avantageusement.

DEUXIÈME PARTIE.

I. — Composition et disposition des ateliers.

Avant de donner la description de quelques ateliers, je vais indiquer d'abord quels sont, dans l'état actuel de la science, les appareils que l'on devrait choisir pour composer un atelier, en supposant que l'on eût toutes les facilités nécessaires. Je dirai ensuite quelques mots de la manière de les disposer les uns par rapport aux autres.

Composition de l'atelier; choix des appareils. — De l'étude spéciale à chaque appareil faite dans la première partie de ce travail, on peut tirer les conclusions suivantes:

Le cassage des gros venant de la mine se fera au moyen du concasseur américain; les produits de ce cassage tomberont sur une table de triage horizontale tournant autour d'un axe vertical. Si la main-d'œuvre est chère, on rapprochera les mâchoires du concasseur, de manière à faire des morceaux de la grosseur d'un œuf, et par suite à diminuer le travail du scheidage.

L'atelier de scheidage sera disposé de manière à ce qu'on puisse verser au dehors les produits obtenus.

Pour le broyage des minerais scheidés, on emploiera de petits concasseurs, si l'on a intérêt à faire de grosses grenailles; sinon, on se servira de cylindres, sans engrenages, à ressorts intérieurs remplaçant les contrepoids.

Pour le classement des menus et des matières broyées, on emploiera des trommels classant par refus, au moins de deux en deux catégories. Dans le cas des menus, les refus du plus gros trommel se rendront sur une table de triage tournant autour d'un axe vertical.

Les dimensions des trous des trommels seront calculées

d'après la nature du minerai à traiter, et croîtront en progression géométrique. On poussera le classement des matières fines aussi loin que possible.

Les grenailles de plus de 10 millimètres seront traitées aux cribles mécaniques à piston latéral et à travail discontinu. Celles qui sont comprises entre 3 et 10 millimètres passeront aux cribles continus doubles ou simples suivant la complexité du minerai, avec évacuation sur toute la largeur de la caisse. Enfin, les grenailles de moins de 3 millimètres seront traitées aux cribles du Hartz. Pour ces derniers, on emploiera un distributeur continu, celui de la Vieille-Montagne, par exemple, et qui permette de faire arriver le minerai sur toute la largeur de la caisse. Les fonds de tamis seront en grenailles de plomb de différentes grosseurs pour les tamis successifs.

Les matières non classées aux trommels seront versées à un classeur à eau disposé comme je l'ai indiqué, et à trois ou quatre barillets au plus. Tous les produits de ces classeurs qui seront tangibles aux doigts seront traités comme sables aux cribles du Hartz à secousses faibles et répétées.

Enfin, les schlamms proprement dits, divisés encore en plusieurs catégories au moyen de classeurs ou de spitzkasten, si leur quantité est considérable, seront traités sur des tables Rittinger venant butter l'une contre l'autre, de manière à ne pas exiger de fondations solides. Les aires de ces tables seront en pierre et on leur donnera le plus de secousses possible.

Lorsqu'il faudra rebroyer des produits intermédiaires, on emploiera les cylindres, si ce sont des grenailles, et les bocards s'il s'agit de sables.

Comme on peut le voir par ce qui précède, le crible ordinaire ou continu tient la plus large place dans la préparation mécanique; cette place tend de plus en plus à s'agrandir depuis quelques années. C'est là un progrès très-sensible, car il a permis de supprimer tous les anciens

appareils de laverie qui tenaient un emplacement considérable et ne produisaient pas assez. Il ne faut se résigner à traiter comme schlamms que ce qu'il est impossible de traiter aux cribles du Hartz.

On voit dès lors qu'un atelier de préparation mécanique ne sera plus composé que de cinq types d'appareils : broyeurs, classeurs, cribles, classeurs à eau et tables Rittinger. C'est ainsi que sera monté le nouvel atelier d'Angleur ; ce qui précède en donne à peu près la composition.

Disposition relative des appareils. — Dans les anciens ateliers de préparation mécanique, lorsqu'on n'y employait que des appareils discontinus, que le chargement et le déchargement se faisaient à la main, il importait peu de disposer plus ou moins bien les appareils les uns par rapport aux autres ; il suffisait de les placer à peu près dans l'ordre des opérations que le minerai devait subir, afin d'éviter les transports à l'intérieur de l'atelier. Tout se trouvait sur le même niveau, et aucun appareil n'avait sa place marquée par d'autres conditions que celles dont je viens de parler.

Mais aujourd'hui, il n'en est plus ainsi ; dans tous les ateliers nouvellement construits, on a cherché à rendre solidaires tous les appareils, et à supprimer complétement les transports intérieurs ; non-seulement on se sert d'appareils continus, mais l'atelier lui-même est continu et il suffit, pour ainsi dire, de montrer le chemin au minerai, de mettre les appareils en mouvement et de les régler pour que l'opération toute entière s'exécute. Je vais comparer ces deux systèmes tout à fait opposés, et étudier leurs avantages et leurs inconvénients.

Dans les ateliers discontinus, on a l'avantage d'avoir les appareils indépendants l'un de l'autre, de sorte qu'on peut les modifier ou les remplacer isolément sans que pour cela on doive rien changer au reste de l'atelier, ni même interrompre la marche des autres appareils. De plus le bâtiment

dans lequel l'atelier est placé ne doit présenter aucune construction spéciale qu'on peut être forcé de détruire quand on veut modifier quelque chose ; il est simple, peu élevé et, par suite, les frais d'établissement sont réduits le plus possible. Il ne sert que d'abri aux ouvriers et aux appareils. Enfin, chaque appareil, continu ou non, étant chargé à bras, le sera toujours également, quelle que soit la marche de ceux qui le précèdent ; et, par suite, son travail sera aussi régulier que possible, ce qui est toujours une excellente condition.

Le seul inconvénient que présente l'atelier discontinu, c'est d'exiger trop de main-d'œuvre pour les transports de matières, chargements et déchargements des appareils. Il est vrai que c'est un inconvénient grave, et qui grève beaucoup les prix de revient.

Si maintenant nous considérons l'atelier continu, nous trouvons tout le contraire. Le seul avantage qu'il présente, c'est la suppression aussi complète que possible de la main-d'œuvre.

Mais en revanche, les inconvénients sont nombreux. Les réparations importantes ne peuvent se faire sans toucher à l'ensemble, ni sans arrêter la marche de tout l'atelier ; il en est de même pour tous les changements d'appareils. Le bâtiment prend des formes spéciales qu'il faudra peut-être changer lorsqu'on transformera l'atelier par suite des progrès continus et rapides de la science et de la construction. Il doit présenter des différences de niveau déterminées, avoir une plus grande hauteur, en un mot, faire partie intégrante de l'atelier. Il faudra, en outre, des appareils élévateurs, qui tous sont assez délicats et se détériorent vite, et, comme la nature des minerais varie, les quantités chargées sur chaque appareil varient aussi, et la marche de ces derniers s'en ressent. Enfin, la quantité d'eau nécessaire est beaucoup plus grande que dans le premier cas, parce que c'est l'eau qui doit le plus souvent déplacer les matières en les entraînant.

Entre ces deux systèmes opposés, comment choisir?

Je crois que comme toujours, il faut rejeter les deux extrêmes et que le moyen terme est la meilleure solution. Ce moyen terme variera nécessairement avec les conditions particulières au minerai, à la position de l'atelier, au relief du sol et à la quantité d'eau. Mais en général on peut dire qu'il convient de former l'atelier d'une série de systèmes continus mais distincts.

Ainsi, on fera bien, je crois, de surélever le système des trommels, de manière à pouvoir, comme à Silberau, disposer tout autour les cribles qui doivent traiter leurs produits. Il ne faudra cependant pas faire tomber directement les grenailles dans les cribles; elles se rendront dans des réservoirs situés au-dessus de la caisse de chaque crible, et l'ouvrier n'aura qu'à soulever un registre pour charger l'appareil quand et comme il le faudra. Même si les cribles sont continus, il faudra, pour la régularité de leur marche, les charger au moyen d'un distributeur qui le fasse d'une façon régulière.

De même, les classificateurs à eau pourront très-bien être disposés de manière à verser directement leurs produits dans les distributeurs des cribles du Hartz, ou dans ceux des tables Rittinger. Il suffira pour cela de les placer à un niveau suffisant, ce qui est facile sans grands frais, vu leur légèreté. Les matières y seront élevées soit par des roues élévatrices, ou des chaînes à godets, soit, ce qui vaut mieux quand on a assez d'eau, par une pompe centrifuge.

Si les matières traitées sont de composition tout à fait constante, on pourra quelquefois faire tomber les produits intermédiaires sur des appareils spéciaux destinés à les finir. Mais pour cela, il faut une très-forte production et un minerai binaire seulement. Dans le cas général, on devra s'en abstenir.

Je vais maintenant décrire quelques ateliers; pour réunir ensemble tous les éléments relatifs à chacun d'eux, je devrai répéter quelquefois les nombres et les indications données dans la première partie de ce mémoire; mais je le ferai le plus brièvement possible et seulement lorsque cela sera nécessaire pour bien préciser la marche et le caractère propres à chaque préparation. Parmi les nombreux ateliers que j'ai visités, je choisis les plus remarquables, soit par la difficulté et la nature du traitement, soit par la disposition générale.

Je décrirai d'abord les deux ateliers discontinus de Welkenraedt et de Steinenbrück, appartenant à la Vieille-Montagne, puis, les deux préparations continues de Silberau et de Mechernich.

II. — Atelier de Welkenraedt.

Les mines de Welkenraedt produisent à la fois de la calamine et des sulfures complexes. L'atelier de préparation mécanique se compose par suite de deux parties bien distinctes. L'une traite les minerais calaminaires, l'autre, les sulfures.

Minerais calaminaires. — Les minerais calaminaires arrivent au jour déjà séparés en gros et en menus. Les gros sont simplement triés à la main, sans cassage préalable, et donnent seulement deux classes, calamine et stérile. La calamine n'étant pas disséminée dans la roche, on n'a point de minerais mélangés.

Les menus sont versés sur une grille dont les barreaux ont un écartement de 60 millimètres. Un fort courant d'eau tombe sur cette grille.

Le refus est trié à la main comme les gros et donne les mêmes produits.

Ce qui traverse la grille se rend au débourbeur suivi d'un trommel à double enveloppe dont les trous ont 5 et 25 millimètres de diamètre.

Le refus de la tôle de 25 millimètres tombe sur la table

de triage, où il est divisé à la main, en calamine et stérile, comme les gros et le refus de la grille.

La classe de 5 à 25 millimètres se rend dans un trommel classeur à quatre tôles dont les trous sont de

7 — 10 — 15 — 19 millimètres.

Les classes de 5 à 7, 7 à 10 et 10 à 15 millimètres, fournies par ce trommel, sont traitées sur des cribles continus identiques à ceux de Moresnet.

Les classes de 15 à 19, 19 à 25 millimètres, vont au contraire sur des cribles ordinaires à piston latéral.

Les grenailles qui ont traversé la tôle de 5 millimètres placée à la suite du débourbeur tombent directement dans un schlammpeter ; les dimensions des matières entraînées sont toujours plus petites que 1 millimètre. Les parties non entraînées se rendent à un trommel à trois tôles de

$1^{mm},2 - 2^{mm},7 - 3^{mm},7$,

et se divisent ainsi en quatre classes de

0 à $1^{mm},2$ — $1^{mm},2$ à $2^{mm},7$ — $2^{mm},7$ à $3^{mm},7$ — $3^{mm},7$ à 5 millimètres

Les trois dernières classes sont traitées aux cribles ordinaires à piston latéral. La première, relevée par une chaîne à godets, est versée dans une série de caisses pointues avec courant ascendant. Tout ce qui se dépose dans les trois premières caisses est passé aux cribles continus analogues à ceux de Bleyberg et donnant trois catégories seulement :

Calamine, mélangés, stérile.

Les produits des quatrième et cinquième caisses sont versés sur des tables Rittinger qui donnent :

Calamine, mélangés, stérile.

Les mélangés retournent toujours au même appareil.

Enfin, les boues qui se déposent dans la sixième caisse

se réunissent aux matières entraînées dans le schlammpeter, et se rendent dans un labyrinthe d'où on les extrait pour les traiter sur des tables Rittinger donnant encore :

Calamine, mélangés, stérile.

Il arrive souvent que les mélangés sont trop pauvres et trop argileux pour être traités facilement et avec profit : alors on les jette avec les stériles.

Comme on le voit, cette partie de l'atelier est extrêmement simple. Cela tient à la facilité avec laquelle le minerai se laisse traiter ; comme on n'a que des morceaux homogènes, soit de calamine, soit de stérile, il est inutile de broyer, et l'on n'obtient de mélangés que pour les classes fines. Ces mélangés peuvent toujours être suffisamment appauvris par des traitements ultérieurs sur les mêmes appareils.

Minerais sulfurés. — Les minerais sulfurés de Welkenrædt constituent les matières les plus difficiles à traiter que l'on rencontre sur le continent. Ils ne le cèdent en difficulté qu'aux minerais de Sardaigne qui sont encore plus finement disséminés. Ils sont formés de blende, de pyrite et de galène, avec une gangue de dolomie argileuse qui vient encore augmenter les difficultés du traitement. Les sulfures sont concrétionnés, disposés en zones concentriques excessivement minces. Il n'est pas rare de compter un grand nombre de ces zones dans des grains de 1 millimètre. Pour les apercevoir distinctement, il faut même une loupe.

On comprend alors combien il était difficile de traiter un semblable minerai, et d'obtenir une séparation nette donnant des matières assez pures pour être employées dans les usines. On peut affirmer que si le problème a été résolu, c'est grâce aux nouveaux appareils, et entre autres au crible du Hartz et à la table Rittinger.

Débourbage. Classement. — Les gros sont triés à la main et divisés en trois classes :

Pyrite en roche, mélangés, stériles.

La pyrite en roche est vendue telle quelle.

Les mélangés passent au concasseur américain; les produits tombent sur une grille dont les barreaux sont distants de 6 centimètres. Le refus de cette grille retourne au concasseur.

Ce qui la traverse est mélangé aux menus de la mine, et se rend dans le débourbeur décrit page 305, ayant $1^{m},30$ de long sur $1^{m},80$ de diamètre. A la suite du débourbeur se trouve un trommel à double enveloppe, dont les tôles sont percées de trous de 24 millimètres et de $3^{mm},7$.

On obtient ainsi trois classes :

(*a*) De $25^{mm},0$ à $60^{mm},0$,
(*b*) De $3^{mm},7$ à $25^{mm},0$,
(*c*) De 0^{mm} à $3^{mm},7$.

La classe (*a*) se rend sur une table de triage, où l'on fait :

Pyrite en morceaux, mélangés, stérile et boules d'argile.

Ces boules d'argile sont rassemblées, reportées sur la grille, et repassent au débourbeur ; quand elles sont versées sur la grille, les ouvriers les écrasent avec des outils ressemblant à des hoyaux de jardinier. Les mélangés vont au gros broyeur dont je parlerai plus loin.

La classe (*b*) se rend au trommel classeur à quatre tôles de

7 — 10 — 15 — 19 millimètres,

et se partage ainsi en cinq classes de

3,7 à 7 — 7 à 10 — 10 à 15 — 15 à 19 — 19 à 25 millimètres.

Les trois premières classes sont rassemblées et passent au moyen broyeur. Les deux dernières, réunies aux mélangés de la table de triage, vont au gros broyeur.

On peut se demander ici quel intérêt il y a à séparer des matières qui doivent ensuite être broyées sans aucun traitement préalable; mais en y réfléchissant, on voit immédiatement que le classement en deux catégories au moins est nécessaire, afin que le broyage qui doit suivre se fasse mieux et soit plus efficace, chacune de ces deux catégories passant à un broyeur d'une grosseur convenable. De plus, en faisant d'abord plusieurs classes pour les réunir en deux catégories, on achève le débourgage très-difficile de ce minerai, et il en résulte que les menus obtenus au broyage seront d'un traitement bien plus commode.

La classe (*c*) se rend à un trommel classeur à deux tôles de

2,7 — 3,7 millimètres.

Le refus de cette dernière tôle est reporté au broyeur; il ne se compose que de quelques morceaux de plus de $3^{mm},7$ qui peuvent accidentellement être mélangés avec les matières qui ont traversé la tôle de $3^{mm},7$. On obtient ainsi deux classes :

(*d*) De $2^{mm},7$ à $3^{mm},7$,
(*e*) De 0^{mm} à $2^{mm},7$.

La classe (*e*) est relevée et mise dans un schlammpeter.

Les matières entraînées vont au canal à schlamms (schlammstrom canal) ; les autres vont à un trommel à quatre tôles de

1 — 1,5 — 2 — 2,7 millimètres.

Ce trommel donne encore des refus en petite quantité, qui le plus souvent sont formés de boules agglomérées et agglutinées par l'argile du minerai. Ces refus retournent aux broyeurs.

Des quatre classes formées, la première, celle de 0 à 1 millimètre se rend au canal à schlamms.

Broyage. — J'ai dit plus haut que toutes les matières de plus de $3^{mm},7$ devaient être broyées. Les appareils broyeurs sont au nombre de trois, savoir :

Un gros broyeur formé de deux cylindres de $0^{m},50$ de

diamètre, reçoit tous les morceaux compris entre 15 et 60 millimètres.

Un moyen broyeur, de $0^{m},35$, sert pour les grenailles de $3^{mm},7$ à 15 millimètres.

Enfin un petit broyeur destiné à broyer les mélangés des cribles, et qui ont tous moins de $3^{mm},7$. Quand ces mélangés sont trop finement disséminés, et qu'il faut les réduire en schlamms pour obtenir des grains homogènes, on les passe sous des meules en pierre tournant autour d'axes horizontaux, et cerclées d'une couronne de fonte.

Classement des matières broyées. — A la suite de chacun des deux premiers broyeurs, se trouve un trommel à une tôle de $3^{mm},7$. Les refus vont au petit broyeur. Tout ce qui traverse ces trommels de $3^{mm},7$ est versé à un trommel à deux tôles, comme la classe (e), et fournit deux classes :

(d_1) De $2^{m},7$ à $3^{m},7$,
(e_1) De 0 à 2 ,7.

Le traitement de la classe (e_1) est identique à celui de la classe (e), et donne les mêmes produits.

Les produits du petit broyeur sont directement versés au schlammpeter, puis classés s'il y a lieu.

Les matières sortant de dessous les meules se rendent directement au canal à schlamms.

Criblage des grenailles. — Toutes les grenailles produites par les différents trommels classeurs, et comprises entre 1 millimètre et $3^{mm},7$, savoir les classes de

1 à 1,5 — 1,5 à 2 — 2 à 2,7 — 2,7 à 3,7.

sont traitées sur les cribles continus et à trois tamis étagés dont j'ai parlé plus haut, page 325. Je vais compléter ici les indications que j'ai déjà données à ce sujet.

Le premier tamis donne :

(α) Galène à fondre (75 à 80 p. 100 de Pb, à travers le tamis),
(β) Mélangés de galène, pyrite et blende (évacués latéralement),
(γ) Blende mêlée, qui se rend sur le deuxième tamis.

Le deuxième tamis produit :

(α_1) Pyrite mélangée de galène et blende (à travers le tamis),
(β_1) Blende mêlée (évacuée latéralement),
(γ_1) Blende et stérile, qui se rend au troisième tamis.

Enfin, le dernier tamis donne :

(α_2) Blende et stérile (à travers le tamis),
(β_2) Stérile, évacué latéralement.

Les classes (β_1) et (α_2) retournent au même appareil :

(β_1) donne des mélangés riches en pyrites, et de la blende à 40 p. 100 de zinc. Les mélangés sont retraités pour pyrite et blende après broyage.

(α_2) donne immédiatement de la blende et du stérile.

Les classes (β) et (α_1) vont au broyeur :

Si ce sont des grenailles de 2 millimètres à $3^{mm},7$, les produits du broyage se rendent ensuite à un trommel à deux tôles dont les trous ont des diamètres de 2 et $2^{mm},7$. Le refus retourne au broyeur. La classe de 0 à 2 millimètres, faite à ce trommel, va au schlammpeter. Les matières non entraînées sont passées à un autre trommel, et divisées en classes de

0 à 1 — 1 à 1,5 — 1,5 à 2 millimètres.

Les matières entraînées ainsi que la classe de 0 à 1 sont versées dans le canal à schlamms.

Si les grenailles broyées ont moins de 2 millimètres, on supprime à la suite du broyeur le premier trommel, qui devient inutile.

Les classes de 1 à $2^{mm},7$ que donnent ces trommels sont traitées sur un appareil continu à trois tamis étagés, et l'on obtient :

Premier tamis :	(δ)	Galène mêlée de pyrite (à travers tamis),
	(ε)	Mélangés (au tamis suivant),
Deuxième tamis :	(δ_1)	Pyrite,
	(ε_1)	Mélangés (au tamis suivant),
Troisième tamis :	(δ_2)	Pyrite,
	(ε_2)	Blende mélangée.

La classe (δ) retourne au broyeur pour revenir ensuite au crible et donner de la galène.

La classe (ε_2) retourne au même appareil, et fournit de la blende et du stérile.

D'après ce qu'on m'a dit, il paraîtrait qu'on dût prochainement supprimer ces cribles à étages pour les remplacer par des cribles de Hartz, qui sont des appareils beaucoup plus simples et donnant d'aussi bons résultats.

Traitement des matières versées au canal à schlamms. — J'ai dit plus haut que toutes les matières entraînées par les schlammpeters et celles qui ont moins de 1 millimètre vont au canal à schlamms. Elles y sont conduites par l'intermédiaire d'une pompe rotative à force centrifuge, qui les élève à hauteur de ce canal. Ce dernier se compose d'un chenal en planches le long duquel sont disposées six caisses pointues dont les dimensions vont en croissant à partir de la première. Ces caisses pointues reçoivent des courants d'eau ascendants, et leurs produits tombent directement sur les appareils qui doivent les traiter. C'est la seule continuité que l'on rencontre dans l'atelier, où tous les appareils sont indépendants.

Ce qui se dépose dans la première caisse se rend à un trommel à deux tôles de

0,75 — 1 millimètre

Le refus est traité avec la classe de 1 à 1,5 sur les cribles continus.

On admet que les produits des deuxième et troisième caisses ont des dimensions comprises entre

0,50 et 0,75 — 0,25 et $0^{mm},50$.

Ce qui se dépose dans les trois dernières caisses n'est presque plus tangible aux doigts.

Les classes de

0,25 à 0,50 — 0,50 à 0,75 — 0,75 à 1 millimètre

sont traitées sur des cribles du Hartz à trois tamis, dont la construction est la même que celle de l'appareil représenté planche II.

On obtient ainsi les quatre classes suivantes, au premier passage :

	1er tamis.	Galène à fondre (80 à 81 p. 100 de Pb),
(g)	2e tamis.	Pyrite mêlée d'un peu de blende et de galène.
	3e tamis.	Blende,
		Stérile (qui s'écoule).

La classe (g) retourne au même appareil, et donne

(g_1)	1er tamis.	Galène mêlée,
(g_2)	2e tamis.	Pyrite mêlée (très-riche en pyrite),
(g_3)	3e tamis.	Blende mêlée,
		Blende (qui s'écoule).

Les classes (g_1) et (g_3) repassent encore au même appareil : (g_1) donne de la galène et des mélangés; (g_3) fournit des mélangés et de la blende.

La classe (g_2) est vendue telle quelle, comme pyrite. Elle ne contient plus guère de blende, et pas de galène du tout.

Chacune des trois dernières caisses déverse ses produits sur une table Rittinger à aire en bois. On y fait quatre classes, savoir :

Galène à fondre (80 p. 100 de Pb),
Mélangés,
Blende mêlée,
Stérile.

Il arrive souvent que la troisième classe est trop argileuse pour pouvoir être traitée avec profit. On la jette alors. La deuxième classe repasse au même appareil, et donne des mélangés de galène et pyrite, de la pyrite et de la blende mêlée.

Avant l'introduction des tables Rittinger à Welkenrædt, les tables à secousses et les appareils Hartweg donnaient

beaucoup de produits non épuisés et trop pauvres pour être traités avantageusement, vu leurs difficultés d'élaboration. Ces produits forment de grands tas ; aujourd'hui on les reprend, et on les repasse sur les tables Rittinger.

On obtient, par table, en dix heures, 150 kilogrammes de minerai préparé lorsqu'on traite les schlamms de l'atelier. Dans tous les cas, comme je l'ai dit plus haut, une table traite, en dix heures, 9 tonnes de schlamms.

Production et main-d œuvre. — Dans un mois de vingt-cinq jours de travail, on prépare à Welkenrædt environ 10 à 15 tonnes de blende, 400 tonnes de calamine et 80 à 100 tonnes de pyrite. La quantité de galène est très-variable, avec la plus ou moins grande richesse du minerai.

L'atelier occupe environ 120 ouvriers, ouvrières ou gamins, répartis ainsi qu'il suit :

1 femme par crible ordinaire (pour la calamine),
2 femmes par crible continu,
1 homme par crible du Hartz,
1 homme par table Rittinger.

Leur salaire, qui s'élève de 7 à 8.000 francs par mois, n'est pas le même pour tous. Les hommes gagnent 1f,90 à 2 francs par journée de dix heures ; les femmes, 1f,30 à 1f,40 ; enfin les gamins ont environ 1 franc par jour.

J'ai donné, dans la première partie, les productions des différents appareils. Je n'en reparlerai pas ici.

La force de la machine motrice est de 20 chevaux. On a constaté que le concasseur en absorbe environ trois.

La consommation totale d'eau par minute est de 5 mètres cubes environ, ce qui fait à peu près 3.000 mètres cubes en dix heures. Quand l'eau qui entraîne les schlamms s'est déposée dans le bassin, elle peut servir de nouveau.

Les séparations obtenues à Welkenraedt, quoique très difficiles à atteindre, sont très-nettes ; cela tient évidemment à la manière dont est conduite la préparation et surtout aux grands avantages des nouveaux appareils. L'atelier, quoique simple, est un des plus complets et des plus beaux qui existent.

III. — Atelier de Steinenbrück.

L'atelier de Steinenbrück, qui, comme celui de Wilkenrädt, appartient à la société de la Vieille-Montagne, est situé près de Immekeppel, non loin de Bensberg. Il traite les minerais très-complexes que fournissent les mines de Immekeppel. Ces minerais consistent surtout en blende noire ou cristallisée, mélangée avec un peu de galène. On y trouve quelquefois aussi du cuivre pyriteux et du cuivre gris, mais en assez faible proportion. Quoique déjà difficiles à traiter, ils sont loin de présenter les mêmes difficultés que ceux de Welkenraedt.

Traitement des gros. — Les gros triés à la mine sont cassés au gros marteau, et divisés après cassage en cinq classes. Comme on rencontre souvent des masses relativement considérables de galène et surtout de blende, on peut facilement faire à ce premier triage des minerais bons à fondre en quantité notable. On obtient :

De la blende massive,
De la galène massive,
(*a*) Des blendeux,
(*b*) Des galèneux,
Du stérile qui est rejeté.

En général, les deux classes (*a*) et (*b*) sont très-finement disséminées, aussi ne les soumet-on pas au scheidage ; elles sont versées directement et séparément dans la trémie d'un concasseur américain. Les produits de ce concasseur tombent sur une tôle percée de trous de 30 millimètres de diamètre. Le refus de cette tôle est broyé au broyeur n° 1 dont je parlerai plus loin. Ce qui passe à travers tombe

dans un trommel de 10 millimètres. Le refus de ce trommel va au broyeur n° 2.

Les matières qui traversent la tôle de 10 millimètres sont versées dans un trommel à trois tôles de

$$3^{mm},7 - 5,2 - 7,2 ;$$

enfin, celles qui ont traversé la tôle de $3^{mm},7$ passent à un trommel dit trommel à schlamms, et dont les dimensions des trous sont

$$0^{mm},7 - 1,4 - 2 - 2,7.$$

On a ainsi séparé les produits des gros mélangés en huit classes de :

0 à 0,7 — 0,7 à 1,4 — 1,4 à 2 — 2 à 2,7 — 2,7 à 3,7 — — 3,7 à 5,2 — 5,2 à 7,2 — 7,2 à 10 millimètres.

Toutes ces classes, à l'exception de la première, sont traitées aux cribles à piston ordinaires.

Traitement des menus. — Les menus arrivant de la mine sont versés sur une tôle de 30 millimètres. Le refus est trié à la main en autant de classes que le gros après cassage. Les mélangés résultant de ce triage sont donnés au broyeur n° 1.

Ce qui traverse cette tôle de 30 millimètres se rend à un débourbeur suivi d'un trommel à double enveloppe, dont les trous ont 18 millimètres et $3^{mm},7$. Le refus de ce trommel est trié à la main comme celui de la tôle de 30 millimètres. Les mélangés qui en résultent vont au broyeur n° 2.

La classe de 0 à $3^{mm},7$ va à un trommel à schlamms identique à celui dont j'ai parlé plus haut.

La classe de $3^{mm},7$ à 18 millimètres est versée à un trommel à quatre tôles de

$$5,2 - 7,2 - 10 - 14 \text{ millimètres.}$$

Les menus sont ainsi classés en dix classes de

0 à 0,7 — 0,7 à 1,4 — 1,4 à 2 — 2 à 2,7 — 2,7 à 3,7 — 3,7 à 5,2 — — 5,2 à 7,2 — 7,2 à 10 — 10 à 14 — 14 à 18 millimètres.

Toutes ces classes, la première exceptée, vont aux cribles ordinaires.

Broyage et classement des matières broyées. — Le broyeur n° 1, destiné aux morceaux de plus de 30 millimètres, consiste en une paire de cylindres de $0^{m},75$ de diamètre. Ce qui en sort tombe dans un trommel à double enveloppe dont les tôles sont percées de trous de $3^{mm},7$ et 14 millimètres. Le refus est passé au broyeur n° 2.

La classe de 0 à $3^{mm},7$ va au trommel à schlamms. — Celle de $3^{mm},7$ à 14 millimètres va à un trommel à trois tôles de

$$5,2 - 7,2 - 10 \text{ millimètres;}$$

les produits de ce broyeur sont ainsi divisés en neuf classes de

0 à 0,7 — 0,7 à 1,4 — 1,4 à 2 — 2 à 2,7 — 2,7 à 3,7 — 3,7 à 5,2 — — 5,2 à 7,2 — 7,2 à 10 — 10 à 14 millimètres.

Toutes ces classes, à l'exception de la première, sont traitées sur des cribles continus analogues à ceux du Bleyberg, dont j'ai parlé page 324.

Le broyeur n° 2, qui a les mêmes dimensions que le précédent, est destiné aux grenailles de moins de 30 millim. Les produits tombent dans un trommel de 10 millimètres, dont le refus retourne au même broyeur. Ces produits sont encore classés en huit classes de

0 à 0,7 — 0,7 à 1,4 — 1,4 à 2 — 2 à 2,7 — 2,7 à 3,7 — 3,7 à 5,2 — — 5,2 à 7,2 — 7,2 à 10 millimètres.

Comme précédemment, les sept dernières classes sont traitées aux cribles continus.

Travail des cribles. — J'ai dit plus haut que les matières classées provenant des gros et des menus sont traitées aux cribles ordinaires; il faut pour cela huit appareils, quatre pour finir les produits des gros, et quatre pour ceux des menus.

Après criblage, les matières sont divisées en quatre classes qui sont, pour les galéneux :

Galène à fondre,
(a_1) Mélangés de blende et de galène,
(b_1) Mélangés de blende et de stérile,
Stérile,

et pour les blendeux

(a_1) Mélangés de blende et de galène,
Blende,
(b_1) Blende et stérile,
Stérile.

Les classes (a_1) sont retraitées au même appareil, et donnent trois classes, savoir :

Galène à fondre,
(b_2) Mélangés de bende et de galène,
Blende.

Les deux classes (b_1), ainsi que la classe (b_2) sont broyées, mais séparément.

Les cribles continus qui traitent les produits venant du broyage sont au nombre de huit. Ils fournissent les mêmes classes que les cribles ordinaires, et ces classes sont soumises aux mêmes traitements. Deux cribles ordinaires servent à repasser les classes telles que (a_1).

Bocards. — J'ai dit que les classes (b_1) et (b_2) provenant des cribles sont broyées. Ce broyage a lieu aux cylindres n° 2 si les grenailles ont plus de $7^{mm},2$, et aux bocards si elles ont moins de $7^{mm},2$. Ces bocards se composent de quatre batteries de cinq flèches chacune. Ces flèches sont en fer, et pèsent 52 kilog. 1/2. Elles se soulèvent de $0^{m},16$.

L'auge de ces bocards est garnie d'une toile métallique dont les trous ont $0^{mm},7$ de côté, et que les matières doivent traverser avant d'être évacuées. Ces matières se rendent à un classificateur à eau, décrit page 349.

Cribles du Hartz. — Ce qui se dépose dans les quatre premières loges du classificateur est traité sur deux cribles du Hartz à quatre tamis. Celui qui traite les produits des deux premières donne :

1er tamis. Galène à fondre (68 p. 100 de Pb),
(a_3) 2e tamis. Mélangés de blende et de galène,
3e tamis. Blende (45 à 48 p. 100 de Zn),
(b_3) 4e tamis. Mélangés de blende et de stérile.

Celui qui traite les produits des deux loges suivantes donne :

(a_3) 1er tamis. + 2e tamis. Mélangés de galène et de blende,
3e tamis. Blende (45 à 48 p. 100 de Zn),
(b_3) 4e tamis. Mélangés de blende et de stérile.

Les classes (a_3) provenant de ces cribles sont traitées sur des tables à secousses longitudinales; les classes (b_3), sur des tables Hartweg.

Traitement des schlamms. — Toutes les matières au-dessous de $0^{mm},7$ provenant du gros, des menus et des broyeurs sont rassemblées et vont à un classificateur identique au précédent comme forme, mais un peu plus petit. En tête se trouve un trommel de $0^{mm},1$ ayant pour but de séparer les agglomérés qui se seraient formés, ou les grenailles provenant des balayures de l'atelier; le refus de ce trommel est mélangé aux menus de la mine pour être traité avec eux.

Les produits des quatre premières loges du classificateur

sont traités sur des tables à secousses. Ces appareils sont au nombre de six ; trois servent à ébaucher les matières ; elles doivent être supprimées et remplacées par un crible du Hartz ; on conservera probablement les trois autres, afin de traiter les mélangés des cribles du Hartz ; ces derniers étant en effet classés par équivalence, et les tables classant par densité, ce traitement peut avoir sa raison d'être. Cependant il est possible encore qu'on les supprime totalement.

Il faut trois passages successifs sur les tables pour arriver à obtenir de la galène à 66 p. 100 de plomb.

Les classes de blende et stérile que l'on fait à ces différents passages sont finies sur une table Hartweg, avec les classes (b_3) des cribles du Hartz, et donnent à la tête, de la blende de 45 à 51 p. 100 de zinc, et à la queue, des mélangés de blende et stérile que l'on repasse aux tables ordinaires.

Les matières qui se déposent dans les deux dernières loges des deux classificateurs sont traitées sur deux tables tournantes en bois faisant le même service, et donnant cinq classes, savoir :

1° Blende et galène ;
2° Blende, galène et stérile ;
3° Blende et stérile (riche) ;
4° Blende et stérile (pauvre) ;
5° Stérile.

Les troisième et quatrième classes repassent au même ppareil, et donnent immédiatement de la blende.

Les première et deuxième classes sont finies sur une table Rittinger, et l'on obtient, si l'on traite la première :

Galène (à 75 à 79 p. 100 de Pb),
Galène et blende,
Blende (à 48 p. 100 de Zn),
Blende (à 45 p. 100 de Zn).

Si l'on traite la deuxième classe, on a :

Galène et blende,
Blende (à 45 p. 100 de Zn),
Blende et stérile,
Stérile.

Les mélangés de blende et galène repassent continuellement avec la première classe des tables tournantes, le mélange de blende et stérile repasse isolément, et fournit immédiatement de la blende.

Production et main-d'œuvre. — Quoique j'aie indiqué dans la première partie la plupart des chiffres relatifs à Steinenbrück, je vais les répéter ici, afin de les grouper ensemble et de donner une idée de la marche de l'atelier.

Les cribles continus passent chacun par journée de dix heures et demie :

6	tonnes de grenailles	de $0^{mm},7$	à $2^{mm},7$
8	—	— de 2 ,7	à 7 ,2
et 9 à 10	—	— de 7 ,2	à 14 ,0

Les huit cribles réunis, avec les deux appareils discontinus qui y sont joints, finissent en une journée :

9 à 10 tonnes de blende et 300 à 400 kilog. de galène, si l'on traite des blendeux, et 3 à 5 tonnnes de galène, si l'on traite des galéneux.

Il faut en tout dix-huit ouvriers pour les conduire, dont six ameneurs et six déchargeurs.

Les cribles du Hartz, qui donnent 130 ou 200 secousses par minute, avec des courses de 6 à 8 millimètres ou de 3 à 4 millimètres, suivant qu'ils traitent les sables des première et deuxième, ou des troisième et quatrième loges du classificateur, passent par jour et chacun 8 à 10 tonnes de minerai ; un jeune homme suffit pour chaque appareil.

L'ensemble des six tables à secousses et de la table Hartweg passe en un jour 14 tonnes de minerai, et donne 4 à

6 tonnes de blende préparée. Il faut pour cela quatorze ouvriers et trois manœuvres.

Chaque table tournante traite par jour 4 à 5 tonnes de minerai ; il faut un jeune homme pour conduire un appareil.

Enfin, la table Rittinger, qui traite les produits des tables tournantes, demande deux ouvriers, et produit par mois de vingt-cinq jours de travail 30 tonnes de blende et 3 tonnes de galène, soit par jour, en moyenne 1.166 kilog. de blende et 116 kilog. de galène.

L'atelier reçoit par jour 22 tonnes et demie de minerai à préparer.

En 1868, il a produit :

5.250 tonnes de blende,
et 375 — de galène.

On espérait faire, en 1859,

7.000 tonnes de blende,
et 400 — de galène.

IV. — Atelier de Mechernich.

Le minerai exploité sur une très-grande échelle à Mechernich consiste en un grès friable, renfermant des *knottes*, ou petites boules de conglomérat siliceux formé de galène et de sable agglutinés. La teneur moyenne de ce minerai ne dépasse pas 2 à 3 p. 100 de plomb.

La préparation se compose de deux opérations : il s'agit d'abord de séparer les knottes de la masse de grès, sans les broyer, puis de leur faire subir un traitement pour élever leur teneur, qui n'est que de 24 p. 100.

Le grès étant très-friable, la séparation des knottes peut s'effectuer facilement ; dans l'exploitation souterraine, elle se fait dans la mine elle-même. Pour cela, on passe le minerai déjà désagrégé complétement par l'abatage dans un trommel noyé, manœuvré à la main, et dont la *fig.* 3, (Pl. VIII), donne les dimensions. Tout le sable qui traverse la tôle de 2 millimètres est rejeté et considéré comme stérile ; il tient encore environ 0,25 à 0,50 p. 100 de plomb. Il est employé comme remblai dans la mine.

Mais la plus grande partie du minerai est extraite au jour et traitée dans un atelier tout à fait continu dont je vais donner la description complète. Sa coupe verticale est représentée par la *fig.* 1 (Pl. XII).

Au-dessus de l'orifice du puits d'extraction s'élève une tour en charpente de près de 45 mètres de hauteur, au sommet de laquelle se trouvent les molettes M. La poulie M' sert simplement à soutenir les câbles. Les wagons sont élevés jusqu'en A. Là ils passent sur un culbuteur B, et versent leur contenu au moyen du couloir C, sur la plaque de fonte D, percée de trous de 2 centimètres de diamètre. Au-dessus de cette plaque arrive un fort jet d'eau, provenant des canaux E qui alimentent tout l'atelier. Le minerai, déjà très-désagrégé par l'effet des coups de mine et du chargement des wagons, passe à travers la plaque D ; des ouvriers, armés d'outils semblables à des hoyaux, écrasent les morceaux de grès intacts. Les cailloux seuls qui ne peuvent être écrasés, restent sur la plaque. Ces cailloux, qui sont souvent riches en galène, sont amenés sur l'aire F qui fait suite à la plaque D ; là, ils sont triés à la main ; les stériles sont rejetés, et se rendent dans le wagon G par l'intermédiaire du couloir H. Les parties renfermant du minerai sont jetées dans un autre couloir qui les conduit au broyeur I. Tout ce qui traverse la plaque D tombe dans les trommels n° 1, qui sont identiques, et au nombre de quatre. Les dimensions des trous de ces trommels sont

2 — 6 — 10 à 18 millimètres.

La *fig.* 4, Pl. VIII, indique leur disposition. Ils sont arrosés d'une grande quantité d'eau provenant de tuyaux à mille trous. Si l'on considère que chacun d'eux passe en

vingt-quatre heures 500 tonnes de matières, on comprendra facilement qu'on leur ait donné d'aussi grandes dimensions, et qu'ils consomment beaucoup d'eau.

Ces trommels partagent le minerai en cinq classes, savoir:

(*a*) De 0 à 2 millimètres.
(*b*) De 2 à 6 —
(*c*) De 6 à 10 —
(*d*) De 10 à 18 —
(*f*) De 18 à 20 — (Refus).

Les dernières classes (*d*) et (*f*) renferment une faible quantité de matières, et se composent en grande partie de petits cailloux roulés, mêlés seulement à quelques masses de minerai aggloméré soit par un peu de phosphate ou de carbonate de plomb, soit par un sel de cuivre qui donne une coloration verte très-appréciable. La classe (*f*) se rend sur la table de triage K; le stérile est rejeté, et se rend dans le wagon G. Tout ce qui renferme du minerai va au broyeur I.

Le classe (*d*) se rend directement au broyeur I.

La classe (*c*) tombe dans un trommel (n° 3), dont les diamètres des trous sont de

6 — 7 — 8 à 9 millimètres,

et qui est représenté par la *fig.* 5, Pl. VIII. Ce trommel est seul de son espèce; il suffit pour toute la classe (*c*). La tôle de 6 millimètres est destinée à séparer toutes les matières fines provenant de la désagrégation plus complète qui se produit toujours dans le transport des matières par l'eau. Ce qui la traverse est reporté avec la classe (*b*).

Les quatre classes produites par ce trommel n° 3 se rendent séparément sur des cribles continus P.

La classe (*b*), celle qui est de beaucoup la plus importante, se rend à deux trommels (n° 2) dont la tôle est percée de trous de 1 millimètre seulement, et dont l'un est représenté par la *fig.* 6, Pl. VIII.

Ces trommels n'ont pour but que de désagréger un peu les knottes, et de séparer les matières fines provenant de cette désagrégation. Tout ce qu'ils refusent se rend par un couloir dans le wagon L, et constitue le minerai préparé.

Enfin, la classe (*a*) tombe dans l'appareil à courant d'eau N, décrit page 355. Le sable entraîné par le courant est séparé de l'eau qui va se clarifier dans d'immenses spitzkasten placés au dehors; ce sable tombe directement dans le wagon G par le couloir H'. Après la clarification, l'eau est remontée dans les canaux E. On se propose d'établir des roundbuddles pour traiter une partie de ces sables aujourd'hui rejetés (ceux qui proviennent de la partie supérieure de la couche), comme on le fait déjà pour les sables de la mine de l'Est dont je dirai quelques mots plus loin.

Ce qui se dépose dans les appareils à courant d'eau (liebewäsche) se rend à un trommel identique au n° 2. Le refus est versé directement dans le wagon L.

Le broyeur I se compose d'une paire de cylindres; les produits de ce broyeur tombent dans le trommel n° 4 (*fig.* 7, Pl. VIII), dont les dimensions des trous sont :

1 — 4 — 6 — 8 à 10 millimètres.

Le refus de ce trommel, s'il y en a, retourne au broyeur.

Les trois classes, de 4 à 6, 6 à 8 et 8 à 10 millimètres, tombent directement dans les cribles continus P'. La classe de 1 à 4 millimètres se rend au contraire dans le trommel n° 5 (*fig.* 8, Pl. VIII), dont les trous ont 2 et 3 millimètres de diamètre. Les trois classes qui en résultent se rendent dans les cribles continus P''.

Les cribles continus P, P' et P'' ont été décrits page 326.

Ce que l'on obtient au premier tamis se rend dans le wagon L; ce qui sort du second doit repasser à l'appareil pour être fini. Enfin tout le stérile des cribles est réuni, entraîné par un courant d'eau dans le trommel n° 6 dont

la tôle a des trous de 2 millimètres, et qui n'a d'autre but que de séparer immédiatement l'eau, afin qu'on puisse la remonter. Cette eau, ne renfermant pas de matières fines, n'a pas besoin d'être clarifiée; elle peut servir immédiatement.

Toutes les matières plus petites que 1 millimètre qui proviennent des trommels n° 2 et n° 4, sont réunies pour être traitées au roundbuddle sans bocardage préalable.

Tel est l'atelier continu qui dessert la mine de l'ouest à Mechernich. Il fonctionne nuit et jour. Les ouvriers travaillent par postes de douze heures. Ils ne sont en tout, y compris les manœuvres employés à l'évacuation du stérile et au nettoyage des spitzkasten, que vingt-six par poste.

On emploie donc par vingt-quatre heures cinquante-deux journées d'ouvriers, et cela pour traiter 2.000 tonnes de minerai. La machine motrice a une force de 40 chevaux.

Comme on le voit, la main-d'œuvre est extrêmement minime; cela tient évidemment à la continuité de l'atelier. Ici, on avait d'excellents motifs pour faire cet atelier aussi continu que possible; car la production est énorme, le minerai très-simple et surtout très-constant comme composition. Une fois les appareils réglés, on n'a plus à y toucher, car le minerai ne varie pas. Aussi, malgré les frais énormes d'installation, le prix de revient de la préparation est-il très-minime.

Traitement des sables pauvres. — Avant de passer au traitement des knottes, je vais dire quelques mots de celui que l'on fait subir aux sables pauvres rejetés par les hebewäsche, et dont j'ai déjà parlé page 332. Ces sables renferment un peu de carbonate, surtout dans la mine de l'Est qui exploite les affleurements de la couche.

Ce traitement, appliqué à 1.500 tonnes de sables produits par vingt-quatre heures, a lieu sur des roundbuddles au nombre de trente-six. Ces appareils sont placés sur deux rangées de dix-huit chacun. Ils sont groupés

quatre par quatre. Dans chaque groupe, trois d'entre eux servent au premier passage des sables et donnent une grande quantité de stérile que l'on rejette et un peu de sable enrichi. Ce dernier est passé au quatrième roundbuddle qui suffit pour le traiter. Les matières les plus riches provenant de ce quatrième appareil sont portées aux roundbuddles finisseurs; les plus pauvres repassent sur les premiers. Il faut cinq opérations successives pour finir le minerai et l'amener à une teneur de 50 à 51 p. 100 en plomb.

On retire ainsi par vingt-quatre heures 2.225 à 2.500 kilogr. de matière enrichie.

Par suite du grouppement des appareils, la main d'œuvre est réduite: il suffit de dix-sept ouvriers par poste, soit trente-quatre par vingt-quatre heures, pour diriger tout l'atelier.

Lors de ma visite, on construisait un atelier semblable pour la mine de l'Ouest; comme on dispose de quantités énormes de remblais, on peut élever le niveau au point que l'on veut; aussi cet atelier sera placé au niveau du wagon G (*fig.* 1, Pl. XII) qui y portera directement les sables pauvres.

Traitement des knottes. — Quoique le traitement des knottes soit beaucoup moins remarquable que celui qui est appliqué à leur séparation, je vais néanmoins le décrire en détail pour en montrer les imperfections. Je donnerai ensuite une idée du projet d'atelier continu qu'on se propose d'exécuter pour ce traitement.

Les knottes produites dans l'atelier continu, et qui tombent dans le wagon L, se rendent à l'atelier de bocards, qui est au niveau de la voie suivie par ce wagon. Comme je l'ai dit plus haut, elles ne tiennent que 24 p. 100 de plomb; il faut les enrichir.

Pour cela, elles sont d'abord bocardées.

Les bocards, dont les flèches en bois pèsent 50 kilogr. et qui donnent quatre-vingt coups par minute, sont par-

tagés en trois groupes alignés sur une seule ligne longeant l'un des grands côtés de l'atelier. L'un de ces groupes renferme soixante flèches ; les deux autres, chacun quatre-vingts.

Chaque batterie se compose de cinq flèches. Les produits de deux batteries voisines A et A_1 (*fig.* 9, Pl. VIII) ; après avoir traversé une toile métallique dont les trous ont 1 millimètre de côté, se réunissent dans une auge commune B, et de là se rendent dans un canal C, dont la coupe est représentée *fig.* 10, Pl. VIII. Le courant de matières pénètre par la bonde *m*, remplit d'abord l'espace *n* ; puis, au fur et à mesure qu'il s'élève dans le canal, on ferme ce dernier en *p* au moyen de barres de fer que l'on place transversalement dans deux rainures latérales, comme les poutrelles d'un barrage. L'eau s'écoule par-dessus le déversoir formé par ces barres de fer, et entraîne avec elle les parties les plus légères. Lorsque C est plein, on ferme la bonde *m*, on ouvre m_1, et l'on remplit C_1 pendant qu'on vide C.

Au sortir des canaux C ou C_1, le courant se rend dans les canaux D et E, identiques au canal C, et doubles comme ce dernier. Ce qui sort des canaux D et E va se déposer dans les labyrinthes, en dehors de l'atelier.

Les matières qui se déposent dans les canaux C et C_1 sont portées aux roundbuddles. Quant à celles que l'on recueille en D et D_1, E et E_1, elles subissent d'abord un traitement spécial. On les porte dans une trémie située au-dessus d'un double canal semblable à CC_1. Un courant d'eau les entraîne. Ce qui se dépose dans ce canal va aux roundbuddles, ce qui en sort se rend aux labyrinthes.

Les schlamms qui se déposent dans ces labyrinthes renferment 36 p, 100 de plomb ; on les recueille, et on les sèche en les plaçant sur des conduits où passent les gaz chauds et les fumées provenant des foyers des machines à vapeur qui servent à l'extraction et à la préparation. On ne leur fait pas subir d'autre traitement.

Roundbuddles. —Les roundbuddles employés pour traiter les sables recueillis dans les canaux, ont $4^m.73$ de diamètre. Au premier passage on sépare les matières en trois classes (*a*), (*b*) et (*c*), au moyen de cercles concentriques de $0^m,94$ et $1^m,42$ de rayon (*fig.* 11, Pl. VIII).

La classe (*a*) repasse sur un autre appareil, et donne, après traitement, trois autres classes (*a'*), (*b'*,) (*c'*), séparées comme les premières :

La classe (*a'*) est de la galène à 70 p. 100 de plomb.

La classe (*b'*) repasse au même appareil et donne les mêmes produits que la classe (*a*).

Enfin, la classe (*c'*) retourne au premier roundbuddle, et donne les mêmes catégories que le sable venant des canaux. Souvent aussi elle passe directement aux tables.

La classe (*b*) du premier roundbuddle retourne au même appareil, et donne les mêmes produits (*a*), (*b*), (*c*).

Enfin la classe (*c*) est traitée sur les tables.

Lorsque l'on fait de l'alquifoux, la classe (*a'*) repasse une nouvelle fois sur le roundbuddle, et sa teneur est alors amenée à 80 p. 100 de plomb.

Il y a en tout onze roundbuddles dans l'atelier. Chacun d'eux traite en vingt-quatre heures environ 50 mètres cubes de sables.

Tables. — Les tables dont on se sert sont du système Hartweg. Elles sont au nombre de dix ; chacune d'elles peut traiter en vingt-quatre heures 15 mètres cubes de sables.

Ce que l'on recueille à la tête de ces tables se rend dans un canal double *aa'* (*fig.* 12, Pl. VIII), identique à ceux qui suivent les bocards. Lorsque l'on traite la classe (*c*), tout ce qui se dépose dans ces canaux retourne aux bocards ; si, au contraire, c'est la classe (*c'*), le premier tiers, en tête, repasse aux roundbuddles, le reste seul va aux bocards.

Les parties pauvres se déposent dans les canaux *bb'* ; elles sont examinées ; si elles ont encore une certaine teneur, on repasse sur la table la tête de ces canaux ; sinon, elles

sont rejetées. Dans ce dernier cas, elles ne doivent pas tenir plus de 0,75 de plomb.

Comme on peut le voir, on ne rejette que les matières pauvres des tables; les roundbuddles ne donnent pas de stérile. Ces matières rejetées forment environ un volume égal à la moitié du volume des knottes traitées. Elles ne sont pas complètement appauvries, et, vu la grande quantité, elles occasionnent des pertes considérables en plomb. Cependant le minerai ne présente aucune difficulté; on doit certainement pouvoir, sinon les rendre tout à fait stériles, du moins les appauvrir beaucoup plus. Leur richesse relative est le grand vice de cette préparation.

Les matières préparées aux roundbuddles, et tenant 70 p. 100 de plomb. sont mélangées avec les schlamms recueillis, comme je l'ai dit plus haut, de manière à donner un minerai à 57 ou 58 p. 100. C'est là une grande faute, à mon avis; il n'est pas rationnel d'enrichir une substance pour l'appauvrir ensuite; il y a évidemment de la main-d'œuvre perdue, et les pertes sont augmentées.

C'est pour remédier à ces inconvénients et pour diminuer encore la main-d'œuvre, que l'on a fait le projet de remplacer cet atelier par un autre tout à fait continu et dont je vais donner la description sommaire. La *fig.* 13, Pl. VIII, en indique le croquis. L'atelier complet se composera de deux systèmes tels que celui qui est représenté.

Les produits provenant des bocards A, A se rendront directement dans une série de huit cribles du Hartz B, à trois tamis. Le premier tamis donnera de la galène à fondre. Les matières qui se réuniront dans les deuxièmes tamis iront sur les cribles C, C, identiques aux premiers. Les deux cribles DD recevront, au contraire, les produits de tous les troisièmes tamis.

Les premiers tamis des cribles C et D donneront aussi de la galène à fondre. Les produits des deuxièmes et troisièmes tamis se rendront sur des tables Rittinger, savoir :

Deuxième tamis	de D,	sur la table	E,
— —	de C,	—	G,
Troisième tamis	de D,	—	F,
— —	de C,	—	H.

Comme on peut facilement créer les différences de niveau nécessaires, tous ces appareils seront disposés en cascade, de manière que les matières n'aient qu'à descendre pour suivre leur chemin.

Comme la composition du minerai est toujours la même, que sa production ne varie pas, en restant toujours très-grande, et qu'il ne présente aucune difficulté de traitement, il se prête très-bien à un atelier tout à fait continu, et c'était ici le cas ou jamais d'en construire un. Cependant, tout en approuvant l'idée en général, je crois qu'il serait préférable de disposer les appareils autrement qu'on ne veut le faire.

En effet, tout passe ensemble, sables et schlamms. Si les cribles sont disposés de manière à bien traiter les sables, les schlamms les traverseront sans être le moins du monde modifiés, et ils arriveront sur les tables, mélangés avec les stériles des sables. Ceux-ci ne pourront que gêner leur classement, et occasionner des pertes plus considérables. Il serait donc préférable de séparer, dès le début, les sables des schlamms, au moyen d'un appareil à courant d'eau, puis de verser directement les sables aux cribles du Hartz, et les schlamms aux tables Rittinger.

V. — Atelier de Silbereau (près d'Ems).

L'atelier de Silberau, situé sur la rive droite de la Lahn, un peu en aval de la ville d'Ems, est de construction très-récente, et constitue une des plus belles préparations mécaniques qui existent. Il est représenté en plan et en coupe transversale par les *fig.* 2 et 3 (Pl. XII).

Cet atelier reçoit les menus provenant des mines, du

cassage et du scheidage ; il traite en outre les mélangés pauvres et de richesse moyenne produits par le scheidage. Les matières qui constituent le minerai sont : la galène, la blende, le quartz et le fer spathique. On y trouve en outre un peu de pyrite, de cuivre pyriteux, de galène antimoniale et de cuivre gris; cependant, au scheidage, on sépare, autant que possible, le cuivre pyriteux et le cuivre gris qui sont traités comme minerais de cuivre ; aussi, à la préparation on ne s'en inquiète pas, on cherche seulement à retirer la blende et la galène.

Le minerai étant très-complexe et assez finement disséminé, présente de grandes difficultés de traitement.

Traitement des menus. — Les menus étant plus riches en matières utiles et en fer spathique que les mélangés de scheidage, ils sont traités tout à fait à part. Ils sont versés directement dans un petit débourbeur A, suivi d'un trommel à double enveloppe, dont les trous ont 20 et 36 millimètres de diamètre. Le refus de ce trommel est scheidé dans un petit atelier de scheidage *a* ; les menus résultant de ce scheidage retournent au trommel A, les mélangés sont traités avec ceux qui arrivent à l'atelier, comme je le dirai plus loin.

Les morceaux compris entre 20 et 36 millimètres, tombent sur la table de triage B, formée par une toile sans fin. Ce triage donne du bon à fondre, du stérile et des mélangés qui sont relevés par une chaîne à godets *b*, et versés dans les broyeurs qui broient les mélangés de scheidage. Le minerai bon à fondre se compose de fragments de blende et de galène.

La classe de 0 à 20 millimètres provenant du trommel A est relevé par la chaîne à godets *c*, et versée dans le système de trommels C dont j'ai parlé page 308. Ce système se compose de sept trommels étagés, placés sur un seul plan incliné, et dont les diamètres des trous sont

13 — 8 — 5 — 3 — 2 — 1 — 1/2 millimètres.

Le classement a lieu par refus. Les sept classes de

0,5 à 1 — 1 à 2 — 2 à 3 — 3 à 5 — 5 à 8 — 8 à 13 — — 13 à 20 millimètres

tombent, comme je l'ai dit, dans des cribles à piston situés tout autour du système de trommels.

Ces cribles donnent trois classes, savoir :

Galène à fondre,
Mélangés,
Stérile.

Les mélangés sont réunis avec ceux qui proviennent des minerais scheidés, et vont aux bocards.

Quant à la classe de 0 à $0^{mm},5$, elle est entraînée par un courant d'eau, et se rend dans un classificateur à courant ascendant D, formé de quatre caisses. Les produits de ces caisses tombent directement à la tête des tables à secousses longitudinales E. Sur ces trois tables, deux sont employées à traiter continuellement les matières tombant du classificateur ; la troisième sert à repasser les différentes catégories faites sur les deux premières, et à finir le minerai. Tout ce qui est entraîné par l'eau du classificateur se rend dans le labyrinthe F, formé d'une longue série de spitzkasten. Les schlamms s'y déposent et peuvent tomber directement sur les tables tournantes G, pour y être traités comme ceux qui proviennent des mélangés de scheidage, mais séparément.

Comme on le voit, les produits des menus, excepté ceux qui proviennent du scheidage et du triage des gros fragments, et qui forment une fraction très-minime de la totalité de ces produits, suivent un traitement tout à fait spécial et distinct. Cela tient à leur plus grande richesse en blende et galène, et surtout à la grande quantité de fer spathique qu'ils contiennent. Ce fer spathique est très-difficile à séparer ; si on les mélangeait avec d'autres minerais

on reporterait la difficulté sur la masse entière. Il est donc bien préférable de les traiter à part.

Traitement des mélangés de scheidage. — Les mélangés de richesse moyenne provenant du scheidage sont versés directement à un broyeur H, formé de deux cylindres de $0^m,90$ de diamètre. Les produits de ce broyeur passent dans un trommel *d*, dont les trous ont 8 millimètres de diamètre. Le refus de ce trommel est relevé sur la chaîne à godets *f*, et versé sur un deuxième broyeur H', dont les cylindres ont seulement $0^m,60$ de diamètre. Au sortir de ce broyeur, les matières traversent le trommel *d'* à trous de 8 millimètres comme le trommel *d*. Le refus est relevé par la même chaîne à godets *f*.

Ce qui traverse les trommels *d* et *d'* se rend, au moyen de la chaîne à godets *g*, dans le système de trommels étagés I. Ce système est disposé comme le premier. Les dimensions des trous sont :

5 — 3 — 2 — 1 — 1/2 millimètres.

Les cinq classes de

1/2 à 1 — 1 à 2 — 2 à 3 — 3 à 5 — 5 à 8 millimètres

tombent directement dans cinq cribles à piston qui donnent trois catégories, savoir :

Galène à fondre,
Mélangés,
Stérile.

Les mélangés vont aux bocards.

Les matières plus petites que 1/2 millimètre se rendent directement dans les caisses pointues $h_1h_2h_3$, dont je parlerai plus loin.

Les mélangés provenant des cribles qui desservent les deux trommels C et I sont portés aux bocards J. Ces bocards, complétement métalliques, ont été décrits page 303; je n'y reviendrai pas.

Leur auge est fermée par une toile métallique dont les trous ont 1 millimètre de côté.

Les matières bocardées se rendent par l'intermédiaire de la roue élévatoire *h*, dans un trommel K à double enveloppe, dont les trous ont $0^{mm},5$ et 1 millimètre de diamètre. Le refus de ce trommel et la classe de 0,5 à 1 millimètre vont aux cribles *i*, travaillant comme ceux qui traitent les produits des trommels C et I.

La classe de 0 à $0^{mm},5$ se rend dans les caisses pointues à courant d'eau ascendant $h_1h_2h_3$.

Les produits de la caisse h_1 tombent directement à la tête des tables à secousses L, au nombre de six, dont trois travaillent constamment; les trois autres servent à finir les produits ébauchés par les trois premières; une d'entre elles est affectée à la galène, les deux autres à la blende. Il faut retraiter deux fois les produits riches des premières tables pour avoir des minerais bons à fondre.

On obtient ainsi :

De la galène à 65 à 70 p. de plomb.
De la blende tenant 48 p. 100 de zinc et 2,5 à 3 p. 100 de plomb.

La caisse h_2 est desservie par quatre tables, dont deux ébaucheuses et deux finisseuses.

La caisse h_3 l'est par trois, dont une finisseuse.

Les produits de ces deux derniers systèmes de tables sont les mêmes que ceux des tables L.

Les matières entraînées par le courant d'eau hors de la caisse h_3 vont se déposer dans le labyrinthe F_1, d'où elles tombent directement sur les tables tournantes G.

Ces tables tournantes, au nombre de cinq, sont simples; elles sont en bois et n'ont pas de brosses. Leur rayon est de 3 mètres.

On y fait quatre classes, savoir :

Galène à fondre (50 p. 100 de Pb),
Mélangés { riches,
pauvres,
Stérile.

Les mélangés riches repassent à une table spéciale, comme je l'ai indiqué page 362.

Les mélangés de scheidage pauvres et finement disséminés sont traités à part dans une partie spéciale de l'atelier. Ils sont bocardés par les bocards M, identiques aux bocards J. Les matières bocardées se rendeut directement dans les systèmes de spitzkasten à courant ascendant N. Les produits des différentes loges de ces spitzkasten sont traités sur les cribles du Hartz P, à quatre tamis, et donnant quatre catégories :

1er et 2e tamis. Galène à fondre (60 à 70 p. 100 de plomb),
3e tamis. Blende et galène,
4e tamis. Blende et stérile,
Stérile qui s'échappe.

Les sables qui se déposent dans les troisième et quatrième tamis sont finis sur les cribles Q, et donnent de la galène et de la blende.

Les matières entraînées par les courants d'eau des spitzkasten N vont se déposer dans le labyrinthe R, d'où elles tombent directement sur les quatre tables tournantes S dont j'ai donné la marche page 362. La table T sert à finir les produits intermédiaires des quatre autres. Cette dernière est chargée à bras.

On peut s'étonner de voir, dans un même atelier, employer concurremment et pour les mêmes usages des appareils différents comme la table à secousses et le crible du Hartz. Mais s'il en est ainsi, cela tient à ce que l'on continue à utiliser les tables qui, lors de la construction de l'atelier, devaient seules traiter les sables, et que

l'on a remplacées par des cribles du Hartz lorsqu'on a agrandi l'atelier pour y traiter les mélangés pauvres. Cet agrandissement est récent, car dans la note sur Silberau, insérée par M. Habets dans la *Revue de Liége de* 1866, tome XX, il n'en est pas encore question. Depuis cette époque, du reste, l'atelier a été bien modifié, comme on peut s'en convaincre en comparant la description de M. Habets avec celle que j'ai donnée. Ces modifications donnent même à penser que, puisqu'elles sont si rapides, il est très-hasardeux d'établir un atelier avec tout le luxe qui distingue celui de Silberau.

Quoi qu'il en soit, les tables à secousses disparaîtront bientôt pour faire place aux cribles.

Afin de produire la continuité plus facilement, on a été amené à établir des différences de niveau entre les différentes parties de l'atelier. La coupe l'indique, les broyeurs et les bocards sont placés sur les plates-formes V, de sorte que les matières n'ont plus qu'à descendre pour se rendre aux appareils où elles doivent être traitées.

Les renseignements sur la main-d'œuvre et la partie économique en général me manquent complétement pour l'atelier de Silberau. Il serait cependant très-intéressant de pouvoir établir des comparaisons avec les ateliers discontinus. Mais le nombre des touristes qui vont dans cet établissement en curieux, fait probablement qu'on s'inquiète moins des visiteurs désireux de s'instruire, et qu'on leur fournit beaucoup moins de documents que partout ailleurs.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Dans les descriptions d'appareils que j'ai faites dans le courant de ce travail, je n'ai indiqué que les parties principales.

Pour l'intelligence plus complète des planches qui représentent ces appareils, je vais donner la légende entière des particularités intéressantes de tous leurs organes.

PLANCHE VII.

Fig. 1. *Table tournante servant au triage à Angleur* (page 297).
2. *Débourbeur* (page 305).
3 *et* 4. *Détails du débourbeur de Welkenraedt* (page 306).
5. *Système de trommels d'Angleur* (page 309).
6. *Coulisse différentielle pour faire mouvoir le piston des cribles à secousses* (page 320).
7. *Système remplaçant la coulisse différentielle* (page 320).
8. *Système remplaçant la coulisse différentielle* (page 321).
9. *Croquis du crible continu à grenailles dit crible à tube* (page 322).
10. *Système d'évacuation des cribles continus à grenailles de Moresnet* (page 323).
11. *Croquis du crible continu à grenailles et à un seul tamis* (page 324).
12 *et* 13. *Tasseau en bois pour régler l'évacuation dans l'appareil précédent* (page 325).
14. *Croquis du crible continu à grenailles et à deux tamis d'Angleur* (page 324).
15. *Croquis du crible continu à grenailles et à trois tamis de Welkenraedt* (page 326).
16. *Croquis du crible continu à grenailles et à deux tamis de Mechernich* (page 327).

Fig. 17 *et* 18. *Dispositions d'excentriques permettant de faire varier la longueur de l'excentricité* (page 337).
19. *Croquis du distributeur d'Angleur* (page 341).
20. *Croquis d'un spitzkasten* (page 345).
21 *et* 22. *Caisses pointues à courant d'eau ascendant* (page 347).
23. *Classificateur de Steinenbrück* (page 349).
24 *et* 25. *Classificateur de Breinigerberg* (page 349).
26 *et* 27. *Classificateur de M. Dor à Ampsin* (page 353).
28. *Croquis d'un barillet de classificateur* (page 354).

PLANCHE VIII.

Fig. 1. *Coupe longitudinale de la table à balai de Holzappel* (page 358).
2. *Croquis et figure théorique relatifs à la table Rittinger* (page 364).
3, 4, 5, 6, 7 *et* 8. *Trommels de l'atelier continu de Mechernich* (page 398).
9 *et* 10. *Canaux des bocards de Mechernich* (page 404).
11. *Croquis indiquant le travail du roundbuddle à Mechernich* (page 405).
12. *Croquis indiquant le travail de la table Hartweg à Mechernich* (page 405).
13. *Croquis de l'atelier continu pour sables projeté à Mechernich* (page 406).

A Bocards.
B, C, D Cribles du Hartz.
E, F, G, H Tables Rittinger.
Les traits ponctués indiquent la marche des matières.
Les flèches sont placées aux points d'évacuation de la matière riche (galène bonne à fondre).

PLANCHE IX.

BOCARD DE DIEPENLINCHEN (page 301).

Fig. 1. *Coupe verticale suivant la ligne* A_1B_1.
2. *Plan et coupe horizontale suivant la ligne* C_1D_1.
3. *Élévation indiquant l'ordre dans lequel les flèches sont soulevées.*
1 *bis et* 2 *bis. Détail des glissières des flèches.*
4 *et* 5. *Détail du mentonnet et de sa crémaillère.*
6. *Pilon en fonte.*
7. *Détail des cames.*

A Bâtis en fonte supportant le palier *a*, sur lequel repose l'arbre moteur *b*.
B Plaque de fondation sur laquelle repose le fond mobile C de l'auge. Ce fond est assujetti au moyen des coins *d*.

f Parois en bois de l'auge.
g Toile à travers laquelle se fait l'évacuation des matières.
h Rigole en bois emmenant les matières bocardées.
D Barres transversales en fer, en forme de T reliant les montants *c* des bâtis, et portant les glissières mobiles F.
E Boulons en fer réunissant les bâtis.
P Flèches en bois portant les glissières G en fer, assujetties au moyen de boulons.
K Pilon en fonte assujetti à la flèche au moyen des frettes *i*.
L Trémie de chargement.
M Tuyau d'arrivée pour l'eau destinée à entraîner les matières.
H Mentonnet mobile le long de la crémaillière N fixée à la flèche par des boulons.
I Boulon servant à fixer le mentonnet.
Q Cames mobiles fixées sur les bras R, au moyen des boulons *m* et des coins *n*.
S Plaque de fondation, reliée à la maçonnerie par les boulons *p*.

BOCARD DE SILBERAU, PRÈS D'EMS (page 303).

Fig. 8. *Élévation.*
9. *Plan.*
10. *Détail de la came et du mentonnet mobile.*

A Montants en fonte.
B Glissières à travers lesquelles passent les flèches C, et réunissant les montants.
D Écrou mobile le long de la flèche. La partie E sert de mentonnet.
F Axe moteur supporté par des paliers fixés au bâtis.
G Came agissant sur les mentonnets pour soulever les flèches.

CRIBLE DU HARTZ DE L'ATELIER DE STEINENBRÜCK (page 334).

Fig. 11. *Coupe verticale suivant la ligne* G_1H_1.
12. *Élévation et coupes verticales suivant les lignes* P_1Q_1, R_1S_1, T_1U_1.
13. *Coupe verticale du distributeur suivant la ligne* E_1F_1.

a Trémie de chargement.
A Cylindre distributeur.
B Vanne régulatrice.
D Tuyau à mille trous lavant le cylindre et donnant l'eau nécessaire à l'entraînement des matières.
E Canal conduisant les matières sur le premier tamis F.
G Déversoir conduisant au deuxième tamis H.
K Piston, dont la tige I est mise en mouvement par l'excentrique *b* calée sur l'arbre moteur *c*.

L Caisses où tombent les matières criblées. Elles sont évacuées par les ouvertures *d*, fermées par les pistons coniques *f* dont les tiges sont manœuvrées par les leviers *g*.
h Tuyaux amenant l'eau dans les caisses des pistons.
i Bâtis en fonte supportant l'arbre moteur c_1 et contreventés par les boulons *m*.
n Cercles en fer consolidant les caisses en bois.
p Couloirs conduisant les matières évacuées dans les caisses de dépôt et *r*.
s Déversoir pour les stériles rejetés.

CRIBLE CONTINU DU BLEYBERG-ÉZ-MONTZEN (page 324).

Fig. 13. *Coupe verticale suivant la ligne* M_1N_1.
14. — — I_1L_1.

A Trémie de chargement portant la vanne *a*.
B Vanne régulatrice manœuvrée par la manivelle *d*.
C Piston.
D Tube d'évacuation pour le riche.
E et G Déversoirs d'évacuation.
F Régulateur de l'évacuation manœuvré par la manivelle *d'*.
h Tamis.
P Arbre moteur portant la manivelle à coulisse Q, dont le bouton *s* est mobile, de manière à faire varier la course du piston.
R Coulisse.
T Manivelle-motrice de la tige du piston.
f Volant destiné à ouvrir ou fermer le robinet amenant l'eau.
g Ouverture permettant de nettoyer la caisse de l'appareil.
V Poulie de renvoi.

PLANCHE X.

BAC D'ENGIS (page 350).

Fig. 1. *Coupe longitudinale.*
2. *Plan.*
3 *et* 4. *Coupes transversales suivant les lignes* AB *et* CD.
5. *Coupe de la pièce* a.

m Couloir d'arrivée des matières.
h Rigole de zinc portant les canaux latéraux *n* qui communiquent avec les pièces *a*.
d Entonnoir supporté par le bâtis *k*, et donnant l'eau aux loges *i* par les tuyaux *b*, et aux canaux *n* par les tuyaux *c*.
g Séparations formant déversoir entre les loges *i*.
l Canal d'évacuation.

CLASSEUR DOR, APPAREIL VERTICAL (page 353).

Fig. 6. *Coupe verticale.*

B Trémie de chargement.
A Cylindre en zinc dans lequel tombent les matières.
C Cône dirigeant le courant d'eau venu par le tuyau E, et la matière à traiter venue par A.
F Robinet à cadran.
D Tuyau amenant l'eau pure.
G Canal d'évacuation.

SCHLAMMPETER DE WELKENRAEDT (page 355).

Fig. 7. *Coupe verticale.*

A Tuyau amenant les matières à traiter dans l'entonnoir B.
C Tuyau amenant l'eau du courant ascendant.
D Canal circulaire pour l'évacuation des matières entraînées.
E Échappement pour les matières non entraînées.

HEBEWÄSCHE DE MECHERNICH (page 355).

Fig. 8. *Élévation et coupe verticale suivant la ligne* EF.
9. *Coupe verticale suivant la ligne* GH.
10. *Coupe horizontale suivant la ligne* IK.

a Canal amenant les matières à traiter.
b Tuyau amenant l'eau des courants ascendants.
c Déversoir et canal conduisant les matières entraînées dans le second cylindre.
c' Canal d'évacuation pour les stériles.
D Fond percé de trous à travers lesquels monte le courant ascendant, et passent les matières riches.
E Espace dans lequel se rassemblent les matières riches.
AA' Soupapes d'évacuation mues par la pédale P.
d Canal emmenant les matières riches.

PLANCHE XI.

TABLE RITTINGER DE L'ATELIER DE STEINENBRÜCK (page 371).

Fig. 1. *Coupe verticale suivant la ligne* A_1B_1.
2. *Coupe verticale suivant la ligne* C_1D_1.
3. *Plan.*
4 *et* 6. *Détail du châssis mobile* Z *et des pièces* Y.
5. *Détail du distributeur.*

A Trémie de chargement.
A' Tuyau amenant l'eau dans le distributeur.
B Cône distributeur. On peut relever la trémie A au moyen du volant *a* qui en montant le long de l'axe fixe C du cône, lève le châssis D portant la trémie. On fait ainsi varier la distribution.
E Pignon engrenant avec la roue fixée au cône distributeur, et communiquant le mouvement à ce dernier.
F Débourbeur et trommel, mis en mouvement par les poulies G. C'est l'axe de ce trommel qui porte le pignon E.
H Canal conduisant les matières à la tête des tables en H', d'où elles s'échappent en nappe mince et régulière.
K Conduit pour évacuer les matières qui ne traversent pas le trommel F.
M Canaux amenant l'eau pure qui vient du tuyau N. Ces canaux se déversent dans les rigoles O au moyen de trous fermés à volonté par des bondes *b*. De ces rigoles O, l'eau s'écoule uniformément et en nappe mince sur les tables Q, par l'intermédiaire des toiles pendantes *c*.
R Réglettes transversales fixées aux tables.
R' Languettes mobiles pour faire varier l'enrichissement.
S Caisses où se rendent les matières préparées.
T Arbre moteur mis en mouvement par les poulies U, et portant la came V et le volant X.
Y Pièce en fer transmettant la secousse produite par la came V aux tables Q. Cette pièce, fixée aux tables par une de ses extrémités, au moyen de l'articulation *q*, repose par l'autre sur un châssis Z mobile autour de l'axe *d*. Ce châssis porte la pièce *e* mobile dans une double crémaillère formée par les pièces Y, et servant à faire varier la course de la table.
f Boulons servant à fixer la pièce *e* aux pièces Y.
g Buttoirs.
h Ressorts en bois fixés au bâtis en charpente B' qui supporte tout l'appareil.
i Chaînes de suspension susceptibles d'être allongées ou raccourcies au moyen des écrous *k*.
l Glissières pouvant se remplacer, fixées et maintenues par les écrous *m* à la charpente.
n Glissières fixées aux pièces *o* qui portent les tables, et propres au système mobile formé par le châssis *p* et les tables.
Les deux glissières *l* (*fig.* 2), étant en forme de coin, on peut, en les élevant ou les abaissant au moyen des écrous *m*, faire varier leur distance, et par suite les rapprocher suffisamment des pièces transversales *o* pour que la table soit toujours bien guidée dans son mouvement, tout en évitant les frottements.

PLANCHE XII.

ATELIER CONTINU DE MECHERNICH.

Fig. 1. *Coupe verticale de l'atelier.*

(Voir la description complète, page 398).

ATELIER CONTINU DE SILBERAU (PRÈS D'EMS).

Fig. 2. *Plan de l'atelier.*

3. *Coupe verticale indiquant les différences de niveau.*

(Voir la description complète, page 407).

DATE de l'explosion.	NATURE de l'établissement où l'appareil était placé. — P. — Nom du propriétaire de l'appareil. C. — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1868 9 juin.	Distillerie à Besançon. P. MM. Bugnat, Colladon et comp.	Appareil de rectification en tôle, à fond plat, chauffé par un serpentin où la température de la vapeur d'eau s'élevait à 250 degrés environ. — Hauteur = 2m,80; — Diamètre = 3m,34; — Epaisseur des cornières de raccordement qui se sont déchirées = 8 millim.	La chaudière avait été laissée complétement fermée. Elle a éclaté sous la pression qu'ont acquise les vapeurs d'alcool chauffées par un serpentin à 250 degrés. La déchirure a eu lieu suivant la rivure de la cornière qui réunit le fond plat inférieur avec la partie cylindrique. Tout l'appareil, sauf le fond qui est resté en place, a été projeté à 25 mètres de distance, après avoir enfoncé un mur de 0m,40 d'épaisseur. Les vapeurs d'alcool se sont enflammées au contact d'un foyer voisin.	Sept personnes tuées ou mortes des suites de leurs blessures. Incendie de l'établissement.	Incurie du contre-maître de l'établissement qui a laissé fermé le tuyau de dégagement des vapeurs d'alcool.

(1) Annexe à l'état de 1868. — (Cet accident n'a pas figuré dans l'état général pour 1868, parce qu'il n'a été porté à la connaissance de la commission qu'après la rédaction de cet état.

RÉSUMÉ RECTIFIÉ.

Nombre total d'explosions.		24	Ateliers mettant en œuvre le coton, la laine et le lin. 6
Nombre de victimes.	Tués ou morts des suites de leurs blessures.	31	Sucreries et distilleries. 3
	Blessés.	33	Papeteries. 2
			Fabriques diverses. 10

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

Par nature d'établissements.

Usines métallurgiques (aciérie).	1
Mines.	1
Bateaux remorqueurs.	1

Par nature d'appareils.

Chaudières cylindriques horizontales avec ou sans bouilleurs.	11
Chaudières cylindriques horizontales à foyer intérieur, non tubulaires.	3
Chaudière cylindrique horizontale à foyer intérieur, tubulaire.	1
Chaudière cylindrique verticale.	1
Divers. (Récipients de vapeur 4, appareil de rectification 1, tuyau de conduite 1, appareil réchauffeur 1, etc.).	8

D'après les causes qui les ont occasionnés.

Défaut de surveillance ou négligence des propriétaires ou agents chargés de l'entretien ou de la conduite de l'appareil.	19
Circonstances fortuites ou concours de circonstances diverses.	2
Causes indéterminées.	3

Bulletin des explosions d'appareils à vapeur arrivées pendant l'année 1869.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — *P.* — Nom du propriétaire de l'appareil. *C.* — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1869					
22 février.	Usine à fer, à Ars-sur-Moselle. *P.* MM. Karcher et Westermann.	Chaudière cylindriqne à un seul bouilleur, chauffée par les flammes perdues d'un four à puddler. — Les flammes arrivaient directement sur la partie inférieure du corps cylindrique. — Diamètre = 1m,20; — Longueur = 7m,80; — Capacité = 11 mètre cubes; — Epaisseur = 11 millim.; — Timbre = 4 k/2.	La virole antérieure du corps cylindrique, sur laquelle arrivaient les flammes du four, a rougi à sa partie inférieure, et s'est entièrement détachée de la chaudière; elle a été projetée à 13 mètres de distance. Le reste de la chaudière a reculé de 2 mètres environ en arrière.	Douze ouvriers brûlés par l'eau et la vapeur ou atteints par les projections del'explosion; trois sont morts.	Incurie de l'ouvrier chargé de l'alimentation, qui a laissé le corps cylindrique se vider entièrement d'eau et la tôle du coup de feu rougir. Il n'a pû être déterminé si l'explosion est due à une alimentation intempestive, faite alors que la chaudière était dans cet état.
23 février.	Fabrique de chapeaux, au Mans. *P.* M. Lonchamp.	Table à feutrer en fonte, creuse, chauffée par la vapeur produite par une chaudière fonctionnant à 5 kilog.; — Longueur = 3m,80; — Largeur = 0m,50; — Flèche du segment = 0m,12; — Fond plat, — Epaisseur = 18 millim.	Le tuyau de dégagement de la vapeur hors de la table ayant été laissé fermé, la table a éclaté sous la pression de la vapeur, qui devait atteindre à peu près celle à laquelle travaillait la chaudière génératrice. Déchirure du font plat en un grand nombre de morceaux, et projection de ses débris.	Une ouvrière tuée. Une ouvrière grièvement blessée.	Incurie de l'ouvrière chargée d'ouvrir le robinet de dégagement de la vapeur hors de la table, et qui l'a laissé fermé.
24 février.	Drague fonctionnant dans le port de Brest. *P.* M. Le Tessier de Launay. *C.* Nillus, au Havre.	Chaudière tubulaire de la forme ordinaire des chaudières marines, c'est-à-dire avec foyer inférieur et retour de flamme tubulaire à la partie supérieure. — L'appareil paraissait suffisamment consolidé. — Longueur = 3 mètres; — Hauteur = 2m,40; — Diamètre supérieur = 1m,50; — Timbre = 4k,5; — Epaisseur des tôles du corps cylindrique = 14 millim., fonctionnait depuis 1861.	L'explosion a eu lieu au moment de la mise en marche, le robinet d'extraction venant d'être fermé, après avoir été ouvert trop longtemps. Presque toute l'enveloppe extérieure latérale, presque tous les tubes et une grande partie de la face d'avant se sont détachés du reste de l'appareil, et ont été projetés au loin.	Le mécanicien et trois matelots tués. La drague, coupée en en deux, a coulé; son porteur a également sombré.	Incurie du mécanicien, qui, en négligeant de fermer le robinet d'extraction, a laissé le niveau de l'eau descendre en dessous de parois frappées directement par les flammes du foyer.
25 février.	Bateau à lessive, à Lyon. *P.* Mme Ve Blandon. *C.* M. Chevallier.	Chaudière tubulaire à foyer amovible, à tubes recourbés, en cuivre rouge. — Dimensions d'un tube: Développement total = 3m,10; — Diamètre = 0m,08; — Epaisseur = 2mm,5; — Timbre = 3k,5. L'appareil fonctionnait depuis 1861.	Un des tubes s'est déchiré à son origine, près de la plaque de la boîte à feu, et s'est aplati sur une longueur de 0m,40. Le métal à la déchirure avait à peine un demi-millimètre d'épaisseur. L'eau et la vapeur de la chaudière sont sorties par l'orifice de ce tube.	Le chauffeur et trois autres personnes grièvement brûlés par l'eau et la vapeur sorties de la chaudière. Dégâts matériels peu importants.	Imprudence du propriétaire qui a continué à faire fonctionner, sans les avoir vérifiés, des tubes sur l'usure desquels son attention eût dû être éveillée, en raison du remplacement de plusieurs tubes semblables, qu'il avait fait opérer plusieurs mois auparavant.
7 mars.	Atelier de lustrage de peaux, à Ivry. *P.* M. Moyadon. *C.* MM. Buderoux.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs. — Surface de chauffe = 25 mètres quarrés. — Dimensions du bouilleur éclaté: Diamètre = 0m,60; — Longueur = 4m,70; — Epaisseur = 10mm,5; — Timbre = 6 kilog. — *L'appareil manquait de tube indicateur du niveau de l'eau.*	Un des bouilleurs s'est rompu longitudinalement au coup de feu, sur une longueur de 1 mètre environ. L'explosion a eu lieu au moment de l'ouverture du robinet d'admission de la vapeur.	Un ouvrier, par hasard près de la chaudière au moment de l'explosion, mort des suites de ses brûlures. Dégâts matériels peu importants.	Incurie du chauffeur, qui a laissé l'un des bouilleurs se vider d'eau au-dessous du niveau frappé directement par les flammes du foyer. Au moment de l'ouverture du robinet d'extraction, la pression ayant diminué dans la chaudière, l'eau que le bouilleur contenait encore aura jailli tumultueusement sur ces parois surchauffées et aura déterminé l'explosion.
17 mars.	Fabrique de caoutchouc à Aubervilliers près Paris. *P.* Le sieur du Bisson.	Récipient cylindrique en tôle destiné à vulcaniser le caoutchouc, en communication avec une chaudière fonctionnant à 5 kilog. Ce récipient avait un de ses fonds mobile. La fermeture était obtenue par le serrage de 32 boulons.	La communication avec la chaudière génératrice ayant été ouverte, quand la moitié seulement des boulons avait été serrée, ceux-ci ont cédé, et le couvercle a été projeté à distance.	Un surveillant légèrement atteint par des fragments, blessé.	Incurie du surveillant, qui, en ne serrant que la moitié des boulons, les a fait travailler à une tension à laquelle leur section ne leur permettait pas de résister, et a produit ainsi leur rupture.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — P. — Nom du propriétaire de l'appareil. C. — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1869					
23 mars.	Scierie, au bois Jacquemart, commune de Champigneul (Ardennes). *P.* M. Estoclet.	Locomobile de la force de 8 chevaux. — Diamètre = 0m,75; — Longueur = 3m,50; — Capacité = 1mc,400; — Timbre = 6 kilog. Chaudière ancienne qui avait appartenu à plusieurs propriétaires.	La boîte à feu extérieure a commencé à se déchirer suivant une ligne de rivets longitudinale *qui fuyait depuis plusieurs jours.* La chaudière s'est divisée en un grand nombre de fragments qui ont été projetés au loin. La machine était au repos au moment de l'explosion.	Le chauffeur et deux ouvriers tués. Dégâts matériels importants.	Imprudence du propriétaire qui a fait fonctionner une chaudière qui présentait des avaries déjà anciennes, lesquelles se sont développées peu à peu jusqu'à ce que l'explosion se soit produite. Le métal était très-aigre.
26 mars.	Machine locomotive à voyageurs, n° 15. Gare de Strasbourg. *P.* Compagnie de l'Est. *C.* L'Expansion.	Locomotive à roues libres en service depuis 18 ans. — Corps cylindrique : Diamètre = 0m,95; — Longueur = 3m,76; — Surface de chauffe = 63 mètres quarrés; — Capacité = 2mc,500; — Timbre = 8 kilog.; — Epaisseur = 10 millim.; — Date de la dernière épreuve, 1864.	La locomotive venait de s'atteler à son train, quand la virole d'avant du corps cylindrique s'est déchirée suivant une ligne de clouure longitudinale qui était déjà en partie fendue. L'anneau s'est ensuite presque totalement séparé de la chaudière, et la feuille supérieure a été projetée à quelque distance de la machine.	Dégâts matériels sans importance.	L'explosion est due à un commencement de rupture qui, à raison du feutre et du bois dont la tôle était couverte, n'avait pu être aperçu, et qui s'est développé peu à peu jusqu'à ce que l'explosion se soit produite dans des circonstances de pression habituelles. Le métal paraissait de bonne qualité.
19 avril.	Établissement des eaux à Choisy-le-Roi (Seine).	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs alimentant une machine de 40 chevaux : — Timbre 5 kilog.; — Surface de chauffe = 57mq,50; — Capacité = 20 mètres cubes; — Établie en 1868.	Un des bouilleurs s'est déchiré au coup de feu sur une longueur de 1m,25 environ, et a donné issue à toute la vapeur contenue dans la chaudière.	Le mécanicien, atteint par la vapeur et la projection des débris du fourneau, mort des suites de ses blessures. Dégâts matériels peu importants.	Imprudence du mécanicien, qui a fait alimenter alors que les bouilleurs étaient presque vides, et que leurs parois étaient à une température élevée.

23 août.	Battage du blé; commune de Saint-Germain-Lespinasse (Loire). *C.* Del, à Vierzon.	Locomobile, forme ordinaire (corps cylindrique; boîte à feu et tubes intérieurs); Force : 3 à 4 chevaux; — Timbre = 6 kil.; — En activité depuis 1867.	La chaudière a été mise en un grand nombre de fragments, dont plusieurs ont été projetés à grande distance.	Le chauffeur et un ouvrier tués.	Imprudence du chauffeur, qui, ayant calé ses soupapes, a fait monter la pression de la vapeur de manière à faire éclater la chaudière, dont le métal devait d'ailleurs être aigre et cassant.
11 sept.	Battage du blé; commune d'Authezat (Puy-de-Dôme). *P.* Bonnoure, mécanicien à Issoire. *C.* Gérard, à Vierzon.	Locomobile, forme ordinaire (corps cylindrique; boîte à feu et tubes intérieurs); Force : 4 chevaux; — Capacité = 0mc,463; — Surface de chauffe = 6mq,50; — Timbre = 6 kilog.	L'explosion a eu lieu pendant un repos de la machine, 20 minutes après un rechargement du feu. La feuille qui raccorde la boîte à feu extérieure avec le corps cylindrique s'est déchirée en pleine tôle, suivant une circonférence complète. La boîte à feu a été lancée à 45 mètres en avant; le corps de la chaudière avec les tubes à 60 mètres en arrière.	Le chauffeur gravement brûlé par la vapeur.	Vice de construction, et surtout négligence du propriétaire. La tôle qui s'est déchirée était de mauvaise qualité. En outre, par suite du mauvais état du manomètre et des balances des soupapes, la pression s'est élevée au-dessus de la pression normale de marche.
22 octobre.	Fabrique de sucre à Annapes (Nord). *P.* M. Lessens.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs faisant partie d'une batterie de cinq chaudières.	La chaudière ayant été laissée sans alimentation pendant la plus grande partie de la journée, les bouilleurs ont rougi, et l'un d'eux s'est ouvert au coup de feu sur une longueur de 0m,52 et une largeur de 0m,04. La vapeur de la chaudière et d'une partie des chaudières voisines a fait irruption par cette ouverture.	Dégâts matériels sans importance.	Négligence du chauffeur qui a laissé la chaudière manquer absolument d'eau, et du propriétaire qui a fait fonctionner ses chaudières sans tube indicateur du niveau de l'eau, avec des flotteurs mal réglés.
27 octobre.	Moulin à farine à Saverne (Bas-Rhin). *P.* Orth. *C.* Somme (Nancy).	Chaudière cylindrique verticale, traversée par un tube intérieur en tôle. — Dimension du tube : Longueur = 6m,82; — Diamètre = 0m,45; — Epaisseur = 6 millim.; — Timbre = 5 kilog.; — Mise en activité le 12 octobre 1869.	L'explosion a eu lieu au moment où le travail allait commencer. Le tube central a cédé sous la pression de marche; il s'est aplati et déchiré sur presque toute sa longueur. La chaudière a été soulevée et légèrement déplacée.	Le contre-maître de l'usine, le chauffeur et un ouvrier, morts, brûlés par la vapeur et l'eau sorties de la chaudière. Un ouvrier grièvement blessé. Dégâts matériels peu importants.	Vice de construction. Le tube central avait une épaisseur trop faible pour la pression normale qu'il devait supporter.

DATE de l'explosion.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé. — P. — Nom du propriétaire de l'appareil. C. — Nom du constructeur de l'appareil.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'explosion.	SUITES de l'explosion.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'explosion.
1869					
8 nov.	Fabrique de cartons à la Villette, Paris. *P.* MM. Richard et Ce.	Cylindre sécheur en fonte dont les fonds sont formés de plateaux également en fonte assujettis au pourtour du cylindre au moyen de six vis. — Diamètre = 0m,77; — Diamètre des vis = 18 millim. Le cylindre communiquait avec un générateur où la pression s'élevait à 6 kil. Il n'était pas timbré et n'avait pas été éprouvé.	Quelques minutes après l'introduction de la vapeur et sous l'action d'une pression à très-peu près égale à celle de la chaudière, une ou plusieurs des vis du fond ont cédé; leur arrachement a déterminé la rupture et la projection de ce fond. Le reste du cylindre a été projeté en sens contraire.	Deux ouvriers atteints par les éclats du cylindre : un tué, un gravement blessé (chauffeur).	Imprudence du propriétaire, qui faisait travailler le cylindre à une pression que son mode de construction ne lui permettait pas de supporter normalement.
9 déc.	Atelier de teinturerie, à la Bastide près Bordeaux (Gironde). *P.* M. Fleury. *C.* M. Lesoudier.	Chaudière verticale en cuivre, calorifère. — Diamètre = 0m,45; — Hauteur totale = 0m,85; — Pression de marche normale = 1k,1. La chaudière n'a pas été éprouvée. — Elle ne portait pas de manomètre.	Une ouvrière ayant brusquement ouvert la conduite de vapeur, le fond de la chaudière s'est violemment détaché, et la partie supérieure du générateur a été projetée contre le plafond de la pièce.	Une ouvrière gravement brûlée par la vapeur.	Construction vicieuse de la chaudière. (Insuffisance d'épaisseur et mauvaise rivure du fond. — Soupape unique ne se soulevant pas dans certaines positions) Insuffisance de surveillance de la chaudière, où l'on a laissé monter la pression trop haut, relativement au degré de résistance de l'appareil.
17 déc.	Filature de lin, à Pont-Remy (Somme). *P.* Compagnie linière de Pont-Remy. *C.* Farcot.	Réchauffeur inférieur d'une chaudière, système Farcot. — Le tuyau de communication du réchauffeur avec le corps principal partait de l'axe du réchauffeur et non, comme le portaient les plans du constructeur, de la partie supérieure d'arrière dudit réchauffeur. Longueur = 9 mètres; — Diamètre = 0m,70; — Epaisseur = 8 millim.; — Timbre = 6 kilog.; — Etabli en 1867.	Le réchauffeur s'est déchiré à son avant-dernière tubulure sur une longueur de 1m,80, en une partie où l'épaisseur de la tôle avait été réduite de 8 mil. à 1/2 millim.	Le chauffeur, qui était en train d'arranger son feu, brûlé par la projection de charbons chassés du foyer par la vapeur. Dégâts sans importance.	Disposition vicieuse des communications du réchauffeur inférieur avec le corps de la chaudière, qui permettait la formation d'une chambre de vapeur dans la partie supérieure du réchauffeur, même quand l'alimentation fonctionnait régulièrement, et qui a amené la corrosion de la tôle au point où était habituellement le niveau de l'eau.
20 déc.	Filature de laine, à Tourcoing (Nord). *P.* MM. Vandenberghe et Marescaux.	Groupe de chaudières cylindriques alimentées à l'aide d'un tuyau commun sortant d'un réchauffeur.	Indéterminées. Dans l'enquête qui a suivi l'accident, on a trouvé qu'un joint du tuyau d'alimentation posé la veille était défectueux et qu'une des soupapes de la chaudière avait pu être involontairement ouverte par les victimes qui travaillaient près d'elle. — Le jet d'eau bouillante et de vapeur qui a causé l'accident paraît provenir ou d'une fuite dans le joint défectueux ou de la brusque ouverture de la soupape, peut-être des deux causes réunies.	Deux ouvriers occupés près du générateur en service, tués, brûlés par un jet d'eau bouillante et asphyxiés par la vapeur.	Les circonstances de l'accident n'ont pu être assez nettement établies pour permettre de préciser quelles ont été les imprudences commises, et les responsabilités à mettre en jeu.
28 déc.	Fabrique de colle forte, à Dijon (Côte-d'Or). *P.* Le sieur Chapuis. *C.* Inconnu.	Chaudière cylindrique verticale, autoclave, destinée à l'extraction de la gélatine des eaux. — Hauteur = 1m,98; — Diamètre = 1m,16; — Pression = 3 kilog. — Chaudière achetée d'occasion en 1867.	La chaudière s'est rompue suivant deux lignes de rivets verticales, et s'est divisée en deux fragments dont l'un a enfoncé un des murs de l'atelier. A l'une des rivures, la première qui a cédé, l'épaisseur de la tôle était réduite à 1 millim.	Un ouvrier tué. Dégâts matériels.	Circonstance fortuite. Insuffisance d'épaisseur de la tôle, difficile à reconnaître au point où elle s'est produite.

RÉSUMÉ.

Nombre d'accidents.		18
Nombre de victimes.	Tués ou morts des suites de leurs blessures.	22
	Blessés.	20

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

Par nature d'établissements.

Usine métallurgique.	1
Bateaux à vapeur.	2
Chemin de fer	1
Ateliers mettant en œuvre le coton et le lin.	2
Sucrerie.	1
Etablissements divers (battage de blé 2, etc., etc.).	11

Par nature d'appareils.

Chaudières cylindriques horizontales, avec ou sans bouilleurs.	6
— — à foyer intérieur, tubulaires (dont une locomotive).	6
Chaudières cylindriques verticales.	3
Récipients de vapeur.	3

D'après les causes qui les ont occasionnés.

Imprudence ou négligence des propriétaires ou des agents chargés de la conduite des appareils (imprudence ou négligence d'agents = 10).	12
Vices de construction.	3
Circonstances fortuites ou concours de circonstances diverses.	2
Causes indéterminées.	1

BULLETIN.

Expériences sur le lithofracteur à l'arsenal de Woolwich.

Des essais nombreux faits à Berlin par les officiers du génie et le bataillon des gardes-pionniers sur une nouvelle matière explosible appelée le *lithofracteur* (*), et dont les qualités avaient déjà été constatées dans la dernière guerre, ont provoqué l'attention des ingénieurs anglais, et donné lieu à de nouvelles recherches et à de récentes expériences dans l'arsenal de Woolwich. Ces essais ont été faits devant le directeur de l'arsenal, l'inspecteur général des mines de Hoskin, et autres personnages notables. On les a entrepris tant en dehors de l'eau que sous l'eau, mais les expériences les plus intéressantes ont été celles qu'on a faites pour déterminer le degré de sécurité qu'offre le maniement du lithofracteur, et son transport par chemins de fer.

A cet effet, on a placé 5 livres de lithofracteur dans une caisse, et on a précipité cette caisse du haut d'un rocher de 50 mètres d'élévation; la caisse a été brisée en morceaux, mais le contenu n'a pas fait explosion.

5 autres livres de lithofracteur ont été placées sur un tas de copeaux légers qu'on a allumés; la masse entière a été consumée, mais sans explosion.

Un wagon chargé de pierres a ensuite été disposé à la gare du chemin de fer, au bas d'une pente de un huitième; un second wagon, garni au préalable d'une cartouche de lithofracteur non amorcée fixée sur les tampons, a été lancé du haut de la pente contre le premier. Celui-ci a été jeté au loin, et l'autre brisé; la cartouche n'a pas fait explosion.

Un autre essai du même genre, tenté en garnissant de pièces de fer la cartouche non amorcée, a donné le même résultat.

(*) Voir la note de M. Henry, ingénieur des mines. *Annales des mines*, 1re et 2e livraisons de 1871.

Ces diverses expériences ont mis en évidence ce fait, que la force explosive extraordinaire emmagasinée dans le lithofracteur ne se développe que par l'explosion d'une amorce fulminante placée dans la cartouche.

(*Extrait du Journal officiel de la République française du 27 juin 1871, par M.* ZEILLER, *ingénieur des mines.*)

Les minerais de fer dans le département de la Meurthe.

Les minerais de fer se rencontrent dans le département de la Meurthe à huit niveaux géologiques différents; on trouve ainsi successivement :

1° Du fer hydroxydé brun dans le grès des Vosges, exploité autrefois dans le canton de Lorquin, et plus récemment à Creutzwald (Moselle);

2° Du fer oxydé rouge en fragments isolés, à la surface du grès des Vosges et du grès bigarré;

3° Du fer carbonaté en rognons dans les marnes irisées;

4° Du fer carbonaté en ovoïdes dans les marnes liasiques, à peu près inexploité à cause de la forte proportion de phosphore qu'il renferme;

5° Du fer hydroxydé oolithique en couches dans la région supérieure des marnes liasiques;

6° Du fer hydroxydé en plaquettes ou en grains à la surface des marnes liasiques;

7° Du fer hydroxydé en grains dans les anfractuosités des calcaires de l'oolithe inférieure, rare dans le département de la Meurthe, où il a été exploité de 1852 à 1857 sur les plateaux qui s'étendent entre Bouxières-aux-Dames et Lay-Saint-Christophe;

8° Du fer hydroxydé en plaquettes ou en grains dans le diluvium, exploité anciennement dans les minières d'Azerailles, de Gogney, du bois du Sablon et de Saint-Georges, pour l'alimentation des hauts fourneaux de Cirey.

Les minerais de fer actuellement extraits dans le département de la Meurthe proviennent tous de la formation ferrugineuse oolithique; cette formation comprend un système de couches plus ou moins puissantes et nombreuses d'argile plus ou moins sableuse ou calcaire, vulgairement nommée marne, et de minerai oolithique alternant ensemble. Elle repose sur le grès argileux appelé grès

supraliasique; elle est couronnée par des marnes grises ou bleues qu'il est difficile de différencier du reste des marnes supraliasiques, et qui sont elles-mêmes recouvertes par la série des assises calcaires de l'oolithe inférieure.

Les marnes supraliasiques deviennent rapidement sableuses et micacées dans le voisinage du grès supraliasique. Ce grès est le plus souvent à grains très-fins réunis par un ciment argileux jaunâtre qui devient bleuâtre à la partie inférieure; dans cette partie, les deux teintes sont souvent irrégulièrement mélangées. Le grès est ordinairement légèrement micacé, et se distingue facilement des marnes qui séparent les différentes couches de minerai oolithique; la connaissance de ses caractères est très-importante, car, lorsqu'en un point déterminé on cherche, à l'aide d'un puits, à établir la composition de la formation ferrugineuse oolithique, on ne sera certain d'avoir entièrement recoupé cette formation que lorsque le puits aura atteint le grès supraliasique.

La séparation de ce grès et de la formation ferrugineuse est quelquefois très-nette; quelquefois elle est assez confuse, les oolithes pénétrant dans les assises gréseuses, et le sable dans les couches de minerai.

La faible épaisseur des marnes qui séparent l'oolithe inférieure de la formation ferrugineuse oolithique a une conséquence pratique très-importante; c'est que l'espace occupé sur l'excellente carte géologique dressée par M. Levallois, inspecteur général des mines, par la teinte jaune de l'oolithe inférieure, peut être considéré sauf de très-petites exceptions, comme renfermant les parties régulièrement stratifiées de la formation ferrugineuse oolithique. En étudiant sur la carte le contour qui limite cette formation, on reconnaît facilement en tenant compte du relief, que la formation ferrugineuse oolithique, considérée dans son ensemble, plonge légèrement vers l'ouest; cette pente générale est souvent modifiée par des causes locales, qui seront indiquées plus loin.

La formation ferrugineuse oolithique s'étend, à l'ouest de Nancy, sous un vaste plateau que la Moselle recoupe deux fois, d'abord entre Pont-Saint-Vincent et Maron, ensuite entre Liverdun et Frouard, et que déchirent un assez grand nombre de vallées secondaires. A l'est, sur la rive droite de la Meurthe, puis sur la rive droite de la Moselle, la même formation se retrouve sous un certain nombre de plateaux isolés de dimensions restreintes et vers la partie supérieure de quelques collines de forme allongée, terminées pour la plupart, à leur sommet, par une arête de calcaire. Ces parties orientales de la formation ferrugineuse oolithique sont

indubitablement les débris d'un vaste plateau continu qui formait anciennement le prolongement vers l'est du grand plateau occidental, et qui a été raviné et morcelé par de puissants agents d'érosion.

On doit alors voir affleurer les diverses couches de la formation ferrugineuse oolithique sur les pentes qui bordent les plateaux et les collines, ainsi que dans les déchirures formées par les vallées secondaires. Ces affleurements sont effectivement faciles à distinguer en un grand nombre de points, principalement sur les pentes qui regardent l'est et au fond des vallées secondaires. Le minerai de fer apparaît immédiatement à la surface du sol, ou bien il suffit de quelques coups de pioche pour l'amener au jour. Une règle très-simple permet de déterminer ces affleurements avec assez de précision : les marnes liasiques et les calcaires de l'oolithe inférieure se dégradent sous l'influence des agents atmosphériques avec une rapidité presque égale, mais d'une façon différente : les calcaires forment un escarpement assez raide, tandis que les marnes s'étendent à leur pied en pente douce ; c'est à l'intersection de ces deux pentes qu'on rencontre les affleurements de la formation ferrugineuse oolithique ; mais ils sont le plus souvent masqués par des éboulis calcaires, d'une puissance quelquefois considérable, qui, non-seulement les dissimulent, mais peuvent encore induire en erreur sur la véritable position des couches en place.

Le long des affleurements, la formation ferrugineuse et l'oolithe qui la recouvre sont parcourues par des fissures verticales parallèles aux vallées; elles sont dues à l'élargissement que les joints naturels ont subi sous le poids des calcaires supérieurs et de l'affaissement qui en est résulté. Les fissures sont ordinairement accompagnées de ressauts en escaliers, qui disparaissent à une petite distance des affleurements ; à mesure que cette distance augmente, les fissures elles-mêmes deviennent de moins en moins perceptibles. Leurs parois sont ordinairement tapissées de calcaire cristallisé, déposé par les eaux d'infiltration ; ce calcaire remplit même quelquefois complétement les fissures très-fines de minerai, et efface ainsi les joints naturels dont la présence facilite ordinairement l'abatage.

Les promontoires étroits découpés par les vallées secondaires paraissent avoir subi un affaissement régulier qui modifie la pente générale indiquée plus haut; cet affaissement a lieu à la fois vers la vallée principale et vers les vallées latérales. Par exemple, dans un promontoire dirigé vers l'est, si l'on suit une couche de l'est à l'ouest, on trouvera qu'elle est d'abord ascendante, puis horizontale, enfin descendante. On trouverait les mêmes résultats en suivant la couche du nord au sud ou du sud au nord, en travers du promontoire.

L'absence d'un plateau au-dessus d'une colline couronnée par les calcaires de l'oolithe inférieure doit faire présumer que la formation oolithique n'y existe pas en couches régulières; on ne peut en effet y trouver que la disposition signalée un peu plus haut dans le voisinage des affleurements; c'est ce qui s'observe très-nettement dans la minière du Pain-de-Sucre, située à l'est de Nancy, au sud-est du village d'Agincourt.

Les minerais de fer oolithiques ont été exploités dans le département de la Meurthe à une époque déjà reculée; on a dû commencer dans les éboulis et les affleurements, et on a poursuivi dans les couches régulières par travaux souterrains ; on a reconnu des galeries d'exploitation au-dessus de Messein et de Chavigny, dans lesquelles on a retrouvé des débris d'outils et des armes.

Depuis cette époque ancienne jusqu'au XIX^e^ siècle, les travaux paraissent avoir été complétement interrompus. C'est en 1835 qu'ils ont repris, à ciel ouvert, au-dessus de Chavigny, au bord du bois de la Grande-Fraise; on y exploitait les affleurements des couches en place; aussi fut-on, dès lors, parfaitement fixé sur l'allure géologique de la formation ferrugineuse oolithique; elle est désignée, dans les documents officiels de 1836, comme subordonnée à l'oolithe inférieure. Elle était d'ailleurs déjà bien connue dans la Moselle, et rangée, dès 1834, dans la catégorie des gîtes concessibles. En 1836, le minerai oolithique fut reconnu en affleurements dans le canton de Colombey, puis signalé sur divers points par M. Reverchon, ingénieur en chef des mines. M. Levallois le reconnut également tout autour de Nancy, dans les courses qu'il fit pour la confection de la carte géologique du département.

Il restait à déterminer, par des recherches sérieuses, la composition exacte de la formation ferrugineuse : les observations faites aux affleurements et dans les éboulis ne donnent en effet, généralement, que des renseignements extrêmement imparfaits sur le nombre et l'épaisseur des couches de minerai, ainsi que sur la qualité et la richesse de ce minerai. Ces recherches sont encore à faire sur une certaine étendue du département, par exemple dans la région comprise entre Beuvezin et Bainville-sur-Madon, au sud-ouest de Nancy.

Le développement considérable qu'a pris, depuis vingt-cinq ans, l'exploitation du minerai de fer dans le département de la Meur-

the, est le résultat, en grande partie, de la création des voies ferrées de Paris à Metz et à Strasbourg, du canal de la Marne au Rhin, et de celui des houillères de la Sarre; il est à remarquer que, sauf celle de Chavigny, les premières concessions ont été demandées dans le voisinage de ces grandes voies projetées ou exécutées, sans que l'on ait cherché bien consciencieusement à savoir si le minerai s'y présentait dans les meilleures conditions de richesse et de puissance. Le hasard a bien servi les uns et mal servi les autres. Dans ces dernières années, l'inverse paraît avoir eu lieu : la reconnaissance précise des gîtes ferrifères les plus avantageux a précédé et déterminé le tracé des nouvelles voies économiques de transport.

Les chiffres contenus dans le tableau suivant permettent d'apprécier l'importance et la rapidité du développement de l'exploitation du minerai oolithique.

NOMS des concessions.	NOMS des concessionnaires.	DATES des décrets d'institution.	Superficie totale en hectares.	Superficie en hectares du terrain minier régulier.	Quantités extraites en tonnes jusqu'au 1er janvier 1869.	Quantités extraites en tonnes du 1er janvier au 31 décembre 1869.
Champigneules.	Karcher et compagnie. . .	3 août 1848. .	427	132	218.420	21.269
Chavigny.	Steinbach.	16 juin 1856. .	372	267	128.541	7.355
Marbache.	Haldy et compagnie. . . .	16 janv. 1858. .	588	480	391.042	78.121
Frouard.	Vivaux et compagnie. . . .	10 mars 1858. .	741	510	235.647	16.577
Bouxières-aux-Dames.	Grandjean et compagnie.	16 août 1859. .	322	165	23.687	15.000
La Voiletriche.	Salin et compagnie. . . .	26 sept. 1859. .	341	327	62.338	0
Liverdun.	Puricelli.	17 mars 1860. .	421	400	434	3.805
Hazotte.	Vivenot et compagnie. . .	28 avril 1860. .	414	300	82.217	16.576
Pompey.	de Bussières et compagnie	2 février 1861	127	93	409	1.013
L'Avant-Garde.	Société de Vézin-Aulnoye.	23 mai 1863. .	277	200	193.283	63.316
Buthegnemont.	Société de Maubeuge. . . .	17 août 1864. .	301	115	48.721	4.505
Boudonville.	Société de Vézin-Aulnoye.	Idem. . . .	430	296	76.834	77.197
Maxéville.	Société de Burbach. . . .	Idem. . . .	295	230	36.202	38.660
Croisette-Liverdun. . .	Barbe et compagnie. . . .	21 juillet 1866.	372	320	67.529	24.934
Vandœuvre.	Lasson et compagnie. . .	9 janv. 1867. .	176	155	300	0
Houdemont.	Leclercq.	Idem. . . .	241	183	11.276	0
Custines.	Haldy et compagnie. . . .	16 août 1867. .	201	108	0	0
Laxou.	de Dietrich.	31 août 1867. .	266	253	8.785	53.453
Lay-Saint-Christophe .	Cottreau.	21 déc. 1867. .	200	92	2.000	370
Sainte-Geneviève. . . .	Latron.	14 mars 1868. .	195	105	0	0
Le Fond-de-Monvaux .	Viellard-Migeon.	10 févr. 1869. .	286	266	0	0
La Grande-Goutte. . .	Bradfer.	Idem. . . .	239	227	0	0
Le Bois-du-Four. . . .	Jamin et compagnie. . . .	26 juin 1869. .	162	90	0	5.796
Le Montet.	Stumm.	4 août 1869. .	366	285	0	0
Totaux.	. . . . .	. . . . .	7.780	5.597	1.619.867	425.091

Les anciennes minières du groupe de Chavigny ont fourni environ 33.222 tonnes; la minière de la plaine Charlemagne, entre Chavigny et le Montet, et divers travaux de recherche ont fourni

environ 2.530 tonnes; la minière du Pain-de-Sucre a livré 3.431 tonnes en 1868 et 13.939 tonnes en 1869. De ces chiffres on conclut que du 1er janvier 1855 au 1er janvier 1870, il a été extrait 2.097.080 tonnes de minerai de fer oolithique; l'extraction en 1869 représente à elle seule un peu plus du cinquième de ce total.

Les minerais oolithiques du département de la Meurthe alimentent, non-seulement les hauts fourneaux de ce département, mais encore un grand nombre d'autres plus ou moins éloignés; le tableau ci-dessous indique la répartition du minerai livré en 1869 par les mines et minières du département de la Meurthe.

NOMS DES RÉGIONS alimentées.	NOMBRES de tonnes consommées en 1869.
Meurthe.	273,963
Haute-Marne.	13,464
Bas-Rhin.	676
Nord.	11,918
Moselle.	68,917
Prusse et Bavière.	51,273
Meuse et Marne.	18,225
Belgique.	386

Le prix de vente du minerai oolithique, chargé sur bateaux ou sur wagons, a varié en 1869, selon la qualité, entre 3f,15 et 4f,50 par tonne. Au prix moyen de 3f,89 par tonne, la quantité totale consommée en 1869 représente une valeur de 1.711.914f,44 et la quantité totale extraite du 1er janvier 1855 au 1er janvier 1870, une valeur de 8.157.641f,20.

Le minerai de fer oolithique se compose de petits grains qui sont ordinairement de la grosseur d'une tête d'épingle, et qui sont agrégés par un ciment plus ou moins abondant; ils deviennent quelquefois tellement ténus qu'ils sont à peine perceptibles à l'œil nu. Ils sont quelquefois sphériques, surtout lorsque le ciment est marneux et abondant. Plus le ciment ou la gangue est calcaire, plus la forme des grains est irrégulière; on en trouve alors de lenticulaires, d'ellipsoïdaux, de prismatiques et de cylindriques. On en trouve enfin un certain nombre qui n'ont aucune figure régulière et présentent l'apparence de fragments amorphes dont les angles sont plus ou moins émoussés.

La couleur des grains est extrêmement variable; ils sont tantôt d'un jaune brunâtre plus ou moins foncé, tantôt noirs, et quelquefois rougeâtres ou plus rarement bleuâtres; leur couleur paraît

tout-à-fait indépendante de celle du ciment. Examinés au microscope, un grand nombre de grains, surtout les plus réguliers apparaissent composés de couches concentriques entourant un petit noyau amorphe.

La gangue est sableuse, argileuse ou calcaire, et toujours plus ou moins ferrugineuse; elle est ordinairement rouge ou jaune rougeâtre, quelquefois grise, jaune, jaune verdâtre ou bleue. On a remarqué, en général, que la couleur jaunâtre ou rougeâtre du minerai ne persiste que jusqu'à une certaine distance des affleurements, et qu'alors elle est progressivement remplacée par le vert plus ou moins bleuâtre.

La gangue est tantôt répartie d'une manière uniforme; tantôt elle forme des mouches aplaties ou même des bandes parallèles à la stratification, et souvent aussi des nodules grisâtres ou bleuâtres ordinairement entourés d'une croûte d'hydroxyde brun; elle est composée de particules très-fines, même vers l'est, et qui deviennent impalpables à mesure qu'on s'éloigne des affleurements vers l'ouest.

Les oolithes ont été décrites comme composées en général de peroxyde de fer uni à l'alumine, à la chaux et à la magnésie; la variété bleuâtre paraît formée d'un silicate de protoxyde de fer, elle est attirable au barreau aimanté. On trouve accidentellement dans le minerai oolithique divers minéraux métalliques, tels que des mouches de pyrite de fer, de petits cristaux de galène et des taches d'oxyde de manganèse.

Ce qui frappe le plus dans le minerai oolithique, c'est la présence d'abondants débris fossiles; la plupart sont des coquilles ou fragments de coquilles qui ont appartenu à des mollusques marins; outre ces coquilles, on rencontre des fragments de bois, des vertèbres, des ossements et des dents de grands sauriens. Dans les couches marneuses, les coquilles sont à peu près intactes; seulement le carbonate de chaux est au moins partiellement remplacé par l'oxyde de fer. Dans les couches calcaires et résistantes, les coquilles sont brisées en menus fragments ou même réduites en poussière; ces débris y sont tantôt uniformément répartis, tantôt ils sont accumulés les uns sur les autres, et composent des veines de calcaire cristallin; la texture intime du tissu coquillier y a souvent complétement disparu.

La nature de ces débris fossiles et l'état dans lequel on les retrouve sont, pour le minerai oolithique, des données fort importantes; ce sont en effet presque les seules qui jettent quelque jour sur le mode de formation de ce minerai; sans entrer dans de grands détails à ce sujet, on peut remarquer que les minerais avec coquilles intactes et ceux avec coquilles brisées ou pulvérulentes, ont dû se déposer dans des circonstances très-différentes.

La puissance et la composition de la formation ferrugineuse oolithique varient, comme on va le voir, dans des limites très-étendues suivant les localités.

En partant de la limite nord du département pour remonter la vallée de la Moselle, on rencontre d'abord la formation ferrugineuse à Novéant, sur la rive gauche; le minerai n'y forme qu'une couche de 1 mètre d'épaisseur; il est très-siliceux et n'est pas exploité. Jusqu'à Pont-à-Mousson, les données manquent complétement; à l'ouest de cette ville, un puits foncé dans le calcaire a rencontré le gîte ferrifère à 51 mètres de profondeur; un sondage de 8 mètres, pratiqué au fonds de ce puits, n'a recoupé que des marnes renfermant quelques grains de minerai. Au nord de Dieulouard, on trouve un ancien puits de recherche qui paraît aussi avoir atteint la formation ferrugineuse oolithique. Cette formation est recoupée au sud de Dieulouard, entre Belleville et Marbache, par une grande faille qui limite au nord-ouest le plateau de la forêt dite Entre-deux-voies.

C'est à Marbache qu'on rencontre la première concession; les puits foncés ont atteint le gîte vers 55 mètres de profondeur, les couches de minerai sont au nombre de trois; la plus puissante, qui est à la partie supérieure, a environ 2 mètres d'épaisseur, elle se maintient ainsi le long des affleurements de l'est; en allant de l'est à l'ouest, elle s'amincit peu à peu, et finit par disparaître complétement à 600 mètres de distance; on peut la considérer comme un lambeau d'une grande lentille très-aplatie, dont l'épaisseur est maximum aux affleurements, et qui va en s'aplatissant vers le nord et l'ouest.

Les concessions qu'on trouve ensuite sur la rive gauche jusqu'à Liverdun exploitent des couches de minerai qui se présentent à peu près comme celles de Marbache, et paraissent leur correspondre.

En face de Liverdun, sur la rive droite de la Moselle, le minerai se présente en couches à la fois plus nombreuses et plus minces, séparées par des marnes plus ou moins chargées d'oxyde de fer. En revenant vers la vallée de la Meurthe, on rencontre de nouveau des couches assez puissantes qui atteignent 2 mètres et plus, et s'enrichissent à mesure qu'on se rapproche de Frouard. On a fait quelques recherches le long de la vallée du ruisseau de Champigneules, et les résultats qu'on a obtenus, ainsi que l'étude des af-

fleurements des couches, font croire dans cette région à l'existence de plusieurs failles.

En se rapprochant de Nancy, et continuant à suivre la rive gauche de la Meurthe, on trouve les importantes exploitations de Maxéville et de Boudonville; la formation ferrugineuse y est représentée par cinq ou six couches de minerai, séparées par des bancs marneux ou calcaires, et occupant ensemble une épaisseur de 10 à 12 mètres; elle se continue ainsi, avec quelques légères variations dans le nombre, la puissance et la richesse des couches jusqu'à Laxou et à Maxéville, mais en s'appauvrissant peu à peu vers le sud. Puis elle s'enrichit de nouveau vers la pointe sud-est du plateau de Haye, où se trouvent les quatre concessions du Montet, de Vandœuvre, d'Houdemont et de Chavigny; des puits de recherches foncés au-dessus du village de Ludres l'ont traversée sur une épaisseur de près de 9 mètres, et ont recoupé des couches de minerai de 2 à 3 mètres de puissance.

Sur le bord ouest du plateau, en descendant le long de la rive droite de la Moselle, on ne rencontre plus guère que des travaux de recherche; on sait seulement que la formation est peu épaisse. Elle atteint cependant 6 à 7 mètres dans les concessions de la Grande-Goutte et du Fond-de-Monvaux; mais le minerai y est pauvre et très-alumineux. Ici, comme entre Frouard et Liverdun, on remarque que, en marchant de l'est à l'ouest, les minerais deviennent moins riches en fer, moins calcaires, plus alumineux et plus foncés.

En face du plateau de Haye, au-dessus de Pont-Saint-Vincent et de Sexey-aux-Forges, sur la rive gauche de la Moselle, la formation ferrugineuse a été reconnue par quelques puits de recherche, et par les travaux de la concession du Bois-du-Four; elle occupe une épaisseur de 6 à 7 mètres, et se compose, suivant les points, de trois ou de quatre couches de minerai séparés par des bancs stériles.

Plus loin vers le sud-ouest, depuis Bainville-sur-Madon, jusqu'à la limite du département des Vosges, la composition de la formation ferrugineuse est complétement inconnue.

Sur la rive droite de la Meurthe, la formation ferrugineuse oolithique a été explorée en différents points: d'abord, sous le plateau de Malzéville, où elle se montre avec une puissance maximum de 6 à 7 mètres, composée de trois ou de quatre couches de minerai; elle paraît aller en s'appauvrissant du sud-est au nord-ouest, dans la direction de la pente même des couches. Elle est connue ensuite au sommet du Pain-de-Sucre, près d'Agincourt, mais elle y est très-irrégulière et n'y est exploitée que comme minière. On a fait quelques recherches sur les plateaux d'Amance, d'Eulmont et de Lay-Saint-Christophe, et on y a reconnu tantôt quatre, tantôt cinq couches de minerai, séparées par des bancs stériles, et occupant une épaisseur totale de 7 à 8 mètres. Entre Lay-Saint-Christophe, Bouxières-aux-Dames et Custines, le minerai de fer est exploité dans trois concessions; la couche supérieure paraît correspondre à celle de la concession de Marbache, et comme elle, elle diminue rapidement en s'éloignant des affleurements pour finir par disparaître tout à fait.

Au nord et à l'est de ces points, au-dessus de Faule, Malleloy et Millery, la formation ferrugineuse est complétement inconnue; on a commencé quelques travaux de recherches, mais ils n'ont pas encore atteint le gîte en place.

Le tableau suivant donne les résultats des analyses faites sur un grand nombre d'échantillons provenant des différents points dont nous venons de parler (*).

(*) Dans ce tableau, les analyses d'échantillons provenant d'une même couche suivent l'ordre de superposition des bancs où ces échantillons ont été recueillis.

NOMS des concessions.	ORDRE des couches en profondeur.	PERTE au feu.	SiO^3	PhO^5	SO^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	Fe
Marbache.	Première.	24,70	4,60	0,85	t	40,40	7,40	21,30	1,60	28,30
	Idem.	15,60	11,40	0,07	t	51,00	10,00	8,80	3,00	35,70
	Première.	20,80	4,10	t	t	57,70	7,80	9,50	t	40,30
	Idem.	16,80	22,00	t	t	31,90	14,90	9,20	2,30	22,30
	Idem.	21,30	4,80	0,12	t	55,50	7,40	10,60	0,20	38,90
	Deuxième.	19,00	13,70	t	0	47,40	11,90	6,60	1,30	33,20
	Idem.	20,40	4,20	0,08	0	57,40	8,30	8,50	0,80	40,20
	Idem.	18,20	10,50	t	0	48,70	12,30	8,20	1,50	34,10
Pompey.	Première.	20,00	5,60	0,12	0,05	51,70	7,40	14,30	0,30	36,20
Avant-Garde.	Première.	18,30	5,40	0,20	0,07	57,60	12,30	5,60	0,60	40,30
	Idem.	19,00	9,40	0,51	0,16	53,70	8,30	8,30	0,60	37,60
	Idem.	13,60	26,00	0,51	0,24	40,20	14,40	3,60	0,60	28,10
	Idem.	19,30	4,00	0,13	0,06	60,00	6,60	8,00	1,00	42,00
	Idem.	19,30	7,60	0,23	0,07	51,10	15,10	6,00	0,60	35,80
	Idem.	13,70	22,40	0,16	0,23	54,50	4,60	3,00	1,30	38,10
Hazotte.	Deuxième.	18,30	13,00	0,22	0,02	44,40	9,90	13,00	0,30	30,10
	Idem.	15,30	16,70	0,12	0,09	48,70	12,30	5,30	0,70	34,10
	Idem.	18,30	7,70	0,12	0,02	52,80	9,90	10,00	0,30	37,00
	Deuxième.	18,30	6,30	0,16	0,03	57,70	8,50	8,30	0,70	40,40
	Idem.	20,30	1,40	0,32	0,17	42,60	10,20	12,00	0,20	29,80
	Idem.	17,60	18,70	0,29	0,02	41,10	13,40	6,30	1,70	28,80
Croisette-Liverdun.	Deuxième.	15,00	17,30	0,03	0,03	51,80	11,10	3,90	1,60	36,30
	Idem.	14,30	21,00	0,10	0,35	39,90	19,00	3,00	1,70	27,90
	Troisième.	24,30	10,00	0,28	0,08	31,70	11,60	21,00	1,00	22,20
	Idem.	16,00	11,30	0,03	0,04	50,00	15,20	5,70	1,60	35,00
	Troisième.	17,70	21,60	0,26	0,13	40,10	13,10	6,10	0,50	28,10
Liverdun.	Etage moyen.	17,20	14,20	0,06	t	48,10	10,20	7,90	2,10	33,70
	Idem.	15,90	19,00	0,03	t	46,70	14,90	2,70	2,30	32,70
	Idem.	16,30	19,10	t	t	47,70	11,30	3,70	1,70	33,40
	Idem.	14,90	23,50	t	t	31,80	21,40	5,70	2,40	22,30
	Etage supérieur.	23,20	8,50	0,46	t	37,00	12,70	18,30	t	25,90
Voiletriche.	Etage moyen.	16,10	11,40	0,06	0	59,70	10,90	1,30	1,00	41,80
	Idem.	16,50	13,40	0,08	t	45,10	17,20	5,10	2,30	31,60
	Idem.	18,40	14,00	0,02	t	47,20	15,60	3,20	1,30	33,00
	Deuxième couche	15,60	16,90	t	t	49,70	15,10	2,60	t	34,80
Frouard.	Première.	14,90	7,60	0,08	0	48,70	13,60	9,90	4,70	34,10
	Deuxième.	17,40	11,40	0,06	0	54,50	12,70	3,00	0,90	38,20
	Troisième.	19,40	8,70	0,06	0	53,20	11,20	3,30	3,30	37,20
	Idem.	17,20	14,60	0,06	0	46,90	14,30	3,40	2,90	32,80
	Idem.	20,60	16,20	0,08	0	49,90	9,60	3,00	0,40	34,90
	Idem.	16,60	18,50	0,07	0	45,20	8,00	9,10	1,00	31,60
	Idem.	15,90	17,60	t	t	50,60	10,60	5,20	t	35,40
Champigneules.	Premiere.	18,10	13,50	t	t	50,20	12,70	3,60	1,70	35,10
	Deuxième.	19,60	17,00	0,12	t	39,50	14,40	6,30	2,70	27,70
	Idem.	22,10	11,20	0,14	t	41,90	8,00	16,30	0,30	29,30
	Idem.	16,10	22,50	t	t	29,50	13,30	4,50	1,60	20,70
	Idem.	15,70	19,10	t	t	43,90	14,80	3,50	2,90	30,70
Boudonville.	Quatrième.	24,80	5,40	t	t	50,20	5,80	10,50	3,00	35,10
	Cinquième.	15,70	12,20	t	t	52,70	11,40	4,80	1,80	36,90
	Sixième.	17,80	13,60	t	t	49,40	12,50	5,20	1,30	34,50
	Deuxième.	23,30	6,00	0,12	0	50,30	4,90	13,20	1,40	35,20
	Cinquième.	20,50	16,20	0,05	0,03	52,70	7,80	2,00	0,60	36,90
	Idem.	22,80	6,20	0,06	0	60,60	4,40	4,20	0,50	42,40
	Sixième.	22,20	13,10	t	0	54,10	7,00	3,70	0,10	37,90
Buthegnémont.	Deuxième.	13,30	29,00	0,13	0,05	44,00	11,60	1,00	0,30	30,80
	Troisième.	21,00	11,30	0,06	0,06	45,40	8,60	13,00	0,60	31,80
	Cinquième.	13,30	25,10	0,23	t	48,00	12,20	1,00	t	33,60
Laxou.	Idem.	13,60	9,60	0,08	t	68,20	7,50	1,00	t	47,70
	Idem.	13,30	7,30	0,06	t	62,90	15,10	1,00	t	44,00
	Idem.	13,60	7,30	0,19	t	71,40	5,10	1,00	t	50,00
	Idem.	12,60	11,00	0,32	t	65,80	6,50	1,60	1,00	46,10

NOMS des concessions.	ORDRE des couches en profondeur.	PERTE au feu.	SiO^3	PhO^5	SO^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	Fe
Chavigny.	Deuxième.	17,50	13,90	t	0	42,10	13,20	4,50	1,90	29,50
	Idem.	20,40	3,70	0,15	t	54,30	10,00	7,60	3,50	38,00
	Idem.	17,90	4,10	0,09	t	59,40	11,10	6,70	0,70	41,60
	Idem.	16,00	10,70	0,15	t	52,90	13,80	3,90	2,40	37,00
	Troisième.	20,10	9,50	0,12	t	49,70	11,50	5,90	3,00	34,80
	Idem.	17,30	19,50	0,06	0	33,20	15,00	10,90	1,80	23,20
	Idem.	20,80	19,30	0,06	t	30,80	10,90	14,40	3,20	21,60
	Idem.	16,80	19,70	0,06	t	43,30	13,20	5,80	0,90	30,30
Fond-de-Monvaux.	Deuxième.	17,50	17,20	t	0	42,40	11,50	9,20	1,00	29,70
	Troisième.	17,40	12,50	0,06	0	53,80	8,30	5,10	3,50	37,70
	Idem.	15,80	14,70	0,05	t	45,40	15,90	4,90	1,70	31,80
	Idem.	15,40	26,20	0,04	t	33,50	14,20	6,60	1,90	23,50
	Idem.	15,80	18,60	0,06	t	48,90	11,30	3,60	1,70	34,20
Lay-Saint-Christophe.	Première.	21,40	5,00	0,10	t	47,40	13,20	13,00	t	33,20
Bouxières-aux-Dames.	Deuxième.	16,70	7,50	0,17	t	61,90	8,20	5,40	0,40	43,40
	Troisième.	16,50	22,10	0,11	t	45,10	14,20	3,70	0,10	31,60
	Quatrième.	14,70	19,70	0,14	t	49,40	12,80	2,60	0,20	34,60
	Idem.	16,30	7,40	0,06	0	62,60	11,30	2,10	t	43,80
	Première.	19,00	7,70	0,31	0,38	55,90	8,30	8,70	0,30	39,10
	Idem.	18,30	5,90	0,15	0,15	61,40	6,60	6,50	0,50	43,00
	Deuxième.	16,70	12,20	0,04	0	51,90	15,20	2,80	1,00	36,30
	Troisième.	16,10	11,40	0,06	0	59,70	10,90	1,30	1,00	41,80
	Quatrième.	16,10	13,40	t	t	49,50	19,60	1,30	t	34,70

POINTS où ont été faites les recherches.	ORDRE des couches en profondeur.	PERTE au feu.	SiO^3	PhO^5	SO^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	Fe
Au-dessus de Laxou.	Première.	18,20	9,10	0,06	t	49,10	12,90	10,20	0,70	34,40
	Idem.	23,20	6,50	t	0	53,80	0,60	15,50	1,20	37,70
	Idem.	14,80	12,10	0,22	0	54,30	12,40	4,40	1,00	38,00
	Deuxième.	18,80	18,60	0	0	46,00	13,50	2,70	0,30	32,20
	Idem.	15,50	17,10	0,09	0	45,80	15,70	5,70	0,80	32,10
	Idem.	14,00	14,60	t	0	50,20	18,40	3,50	0,20	35,10
	Troisième.	17,60	6,90	t	0	50,50	13,40	11,60	0,10	35,40
	Deuxième.	18,60	19,60	0,26	0,03	44,60	10,30	6,00	0,60	31,20
	Idem.	15,00	8,60	0,13	0,06	63,00	7,40	4,60	0,60	44,10
	Troisième.	15,30	19,60	0,19	0,02	46,30	14,40	3,30	0,30	32,40
Au-dessus de Ludres.	Première.	16,90	18,10	t	0	44,50	13,50	3,90	0,20	31,10
	Idem.	18,70	3,50	t	t	55,50	8,30	8,90	3,70	38,90
	Deuxième.	15,70	12,20	t	0	54,50	10,80	6,10	0,40	38,20
	Troisième.	17,10	16,10	t	0	45,80	11,90	7,40	1,00	32,10
Au-dessus de Chavigny.	Deuxième.	28,40	2,40	0	0	52,90	3,00	12,80	0,20	37,00
	Troisième.	15,90	1,90	0	0	40,10	16,70	3,20	1,90	28,10
	Deuxième.	15,00	22,70	t	0	40,40	13,90	6,00	0,70	28,30
	Idem.	21,00	14,40	0,06	0	45,60	10,60	6,40	1,60	31,90
	Idem.	20,30	9,60	0,32	t	54,70	9,90	4,70	0,20	38,30
	Troisième.	23,40	6,80	0,08	0	52,30	6,50	10,50	0,30	36,60
Fond-de-Monvaux.	Deuxième.	21,70	5,90	0,14	0,12	50,60	4,90	14,60	2,10	35,40
	Idem.	15,80	23,20	0,05	0,60	41,40	8,50	6,40	2,60	29,00
	Idem.	15,60	19,50	0,26	0	25,80	23,20	5,00	0,30	18,10
	Idem.	15,20	20,40	0,06	0,16	40,70	16,40	5,20	1,70	28,50
	Idem.	15,60	21,80	0,15	0,32	41,40	13,60	6,00	1,10	29,00
	Idem.	16,60	20,60	0,06	0,38	41,40	6,80	4,60	2,30	29,00
Au-dessus de Malzéville.	Troisième.	16,80	14,10	t	0	49,20	13,80	4,70	0,30	34,40
	Idem.	19,70	2,30	t	0	53,90	12,50	9,50	2,00	37,70
	Idem.	16,50	14,50	0,22	0	49,80	15,50	2,20	1,20	34,90
	Quatrième.	14,40	15,90	t	0	47,90	17,80	2,30	0,60	33,50

POINTS où ont été faites les recherches.	ORDRE des couches en profondeur.	PERTE au feu.	SiO^3	PhO^5	SO^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	Fe
Au-dessus de Malzéville.	Quatrième. . . .	17,00	20,70	0,90	0	48,40	9,80	4,90	0,60	33,90
	Idem.	18,00	14,00	0,80	0	48,70	12,00	6,60	1,30	34,10
	Idem.	15,20	16,50	0,06	0	48,50	17,40	1,50	0,40	34,00
	Idem.	17,10	18,50	0,05	0	51,00	8,00	3,60	2,00	35,70
	Idem.	12,50	20,80	0,06	0	46,30	17,70	2,10	0,20	32,40
	Idem.	14,30	15,70	0,16	0	55,30	10,20	3,70	0,10	38,70
	Cinquième. . . .	15,00	9,90	0,08	0	53,50	16,70	2,50	2,10	37,40
	Troisième. . . .	29,50	21,00	0,12	0	32,40	10,40	6,10	0,50	22,70
	Quatrième. . . .	18,20	12,60	0,06	0	47,50	13,30	7,60	0,50	33,20
	Idem.	17,40	17,90	0,02	0	49,90	8,40	4,10	1,70	35,00
	Quatrième. . . .	16,30	14,80	0,02	0	47,20	17,30	2,60	1,30	33,00
	Idem.	15,70	19,00	0,12	0,46	48,70	10,60	5,30	0,20	34,10
Plateau d'Amance.	Première. . . .	18,60	4,20	*t*	0	60,80	6,00	9,30	0,50	42,60
	Deuxième. . . .	14,90	19,90	*t*	0	43,70	17,70	2,80	0,20	30,60
	Troisième. . . .	15,50	18,20	*t*	0	47,90	13,70	3,70	0,10	33,50
	Quatrième. . . .	20,70	4,10	0,16	0	47,60	15,40	11,90	0,20	33,30
	Première. . . .	19,60	9,50	0,17	0	50,30	12,70	7,20	0,20	35,20
Au-dessus de Lay-St-Christophe.	Idem.	19,00	6,20	*t*	0	57,20	12,30	3,90	1,00	40,00
	Idem.	18,00	20,40	*t*	0	42,10	13,20	5,50	0,90	29,50
	Deuxième. . . .	15,60	16,10	*t*	0	47,90	14,90	4,80	0,60	33,50
	Troisième. . . .	15,20	14,40	*t*	0	54,20	13,20	2,20	0,30	36,90
	Quatrième. . . .	14,40	20,40	*t*	0	41,20	19,50	2,50	0,20	28,80

En somme, la composition de la formation ferrugineuse oolithique varie beaucoup suivant les localités ; les bancs calcaires, marneux, argileux ou sableux, les uns riches, les autres pauvres ou stériles, dont elle est formée, changent de l'une à l'autre dans les limites les plus étendues.

Dans le département de la Meurthe, la puissance totale de la formation ferrugineuse ne dépasse pas 12 mètres, tandis que dans celui de la Moselle, aux environs d'Ottange, elle atteint 30 mètres. Ce chiffre considérable n'implique point, du reste, qu'elle renferme, à Ottange des couches de minerai plus nombreuses et plus puissantes que dans la Meurthe : les étages exploitables d'Ottange ont, au maximum, 3 mètres d'épaisseur, et dans la Meurthe, entre Ludres et Chavigny, on trouve à exploiter, en un seul étage, 4 mètres de minerai de bonne qualité.

L'origine du fer ainsi répandu sous l'oolithe inférieure est encore problématique ; ce qu'il y a de certain, c'est qu'il s'est déposé sous forme d'oxyde en même temps que les débris plus ou moins fins de coquilles, et les particules plus ou moins impalpables de roches diverses dont l'agglomération constitue ce qu'on désigne vulgairement sous le nom de marnes.

Quelques géologues admettent que l'oxyde de fer a été amené par des sources venant d'une grande profondeur ; d'autres repoussent cette origine et considèrent l'hydroxyde oolithique comme

provenant de la destruction de roches éruptives ou cristallines ferrifères, et de l'entraînement et du lavage de leurs débris par les eaux ; d'autres enfin font intervenir, comme instruments de la formation des bancs ferrugineux, des infusoires analogues à ceux dont l'accumulation produit le fer des marais.

Quelle qu'ait été d'ailleurs la condition du fer avant son dépôt sous forme d'oolithes, tout le monde est d'accord sur ces points : que le dépôt a eu lieu le long des rivages vaseux d'une mer peu profonde, que le fond de cette mer s'est progressivement et lentement affaissé d'une quantité variable suivant les localités, et que cet affaissement a été compensé à mesure par le dépôt du limon ferrugineux. Ainsi s'expliquent rationnellement la forme de fuseaux allongés ou de lentilles très-aplaties des couches, et la puissance inégale de la formation.

De ce que la chaux que renferme le minerai provient presque uniquement de la pulvérisation de tests d'animaux marins, nous en concluons qu'un minerai est d'autant plus calcaire que le banc de limon sur lequel il se déposait était plus voisin de la surface de l'eau. On admettra aussi facilement que le fer devait être d'autant plus facilement peroxydé, qu'il se déposait en un point plus voisin de la surface de la mer. De là nous tirons cette conclusion générale : les minerais sont d'autant moins calcaires, d'autant plus alumineux et foncés en couleur qu'ils ont été déposés à une profondeur plus grande sous la surface de la mer.

Si donc un banc de limon près du rivage était allongé de l'ouest à l'est, le changement dans la nature du minerai doit se manifester du sud au nord ou du nord au sud, suivant le sens du courant qui charriait les fins détritus. La direction des bancs de limon peut varier dans d'assez grandes limites sur une surface relativement peu étendue ; cependant, la direction perpendiculaire à la ligne d'ensemble du rivage est évidemment celle où la profondeur de la mer va en augmentant d'une manière générale. Il ne faut donc pas trouver singulier qu'au-dessus de plusieurs directions particulières essentiellement locales prédomine une direction d'ensemble, suivant laquelle se manifeste le changement de couleur et de composition des minerais.

(*Extrait d'une brochure de* M. BRACONNIER, *ingénieur des mines, par* M. ZEILLER, *ingénieur des mines.*)

Tableau comparatif des résultats du travail d'abatage à la poudre dans les parties puissantes de diverses mines métalliques.

MINE.	TERRAIN encaissant.	GANGUE et minerai.	TROU PERCÉ pour la mine. Diamètre du trou (en millimètres).	TROU PERCÉ pour la mine. Longueur percée par homme et par jour.	POUDRE consommée par homme et par jour.	POIDS DE MINERAI BRUT abattu par homme et par jour.	POIDS DE MINERAI BRUT abattu par kilogramme de poudre.
				mètres.	grammes.	kilogrammes.	kilogrammes.
Morro Velho. Brésil.		Quartz, schiste et pyrites cuprifères.	51	0,724	357	1.125	3 151
Cronebane. Wicklow. Irlande.	Schiste.	Quartz, schiste et pyrites cuprifères.	38	1,219	283	1.015	3.586
Polberro.		Quartz, schiste, chlorite et étain oxydé (filon tendre).	32	0,600	156	2.031	13.025
Drake walls.	*Cornwall.*	Quartz, schiste et étain oxydé.	44	0,888	440	1.307	2.970
Dolcoath.	Granite.	Quartz, feldspath, chlorite et étain oxydé.	38	1,026	255	762	2.980
Ballieswidden.		Feldspath, quartz, tourmaline et étain oxydé	38	1,523	508	762	1.500

(*Traduit par extrait des* « Observations on metalliferous deposits and on subterranean temperature, » *par* M. William Jory Henwood ; *Penzance*, 1871.)

L. M.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-NEUVIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Mémoire sur le Siebengebirge et l'Eifel; par M. *Zeiller*. . . . 61

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Étude sur le minium; par M. *Mercier*. 1

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Note sur l'emploi de la nytroglycérine dans les grandes carrières de calcaire-marbre de la vallée de la Vire, près Saint-Lô; par M. *Harlé*. 16

Note sur les différentes substances explosibles employées dans les travaux des mines; par M. *A. Henry*. 21

Mémoire sur la recherche et l'exploitation du pétrole en Galicie; par M. *E. Heurteau*. 197

De l'équilibre d'élasticité et de la résistance du ressort à boudin; par M. *H. Résal*. 265

Mémoire sur la préparation mécanique des minerais de plomb et de zinc en Belgique, et dans les provinces rhénanes; par M. *A. Henry*. 294

OBJETS DIVERS.

Rapport sur l'accident survenu le 19 février 1870 aux forges de Fourchambault; par M. *Ichon*. 167

Rapport sur l'accident du 12 mars 1870 à l'usine de Fives; par M. *Matrot*. 176

Observations sur les deux accidents de Fourchambault et de Fives, présentées au nom de la commission centrale des machines à vapeur; par M. *Callon*. 181

Pages.

Note sur un très-grave accident, par asphyxie, arrivé dans les houillères de Bully-Grenay (Pas-de-Calais). 185
Note sur un éboulement arrivé dans le puits Notre Dame de la concession d'Aniche (Nord). 193
Note sur le planimètre de Amsler; par M. *Combes*. 278
Bulletin des explosions d'appareils à vapeur arrivés pendant l'année 1869 (avec annexe pour 1868). 421

BULLETIN.

Expériences sur le lithofracteur à l'arsenal de Woolwich. 429
Les minerais de fer dans le département de la Meurthe. 430
Tableau comparatif des résultats du travail d'abatage à la poudre dans les parties puissantes de diverses mines métallurgiques. 444

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-NEUVIÈME.

Pages.

Pl. I. *Fig.* 1, 2 et 3. Four à minium. 1
Fig. 4, 5 et 6. Tirage des mines. 21
Pl. II. Géologie du Siebengebirge et de l'Eifel. 61
Pl. III. Accident de Fourchambault. 167
Pl. IV. *Fig.* 1. Accident de Fives. 176
Fig. 2, 3 et 4. Accident au puits Notre-Dame de la concession d'Aniche. 193
Fig. 5 et 6. Accident aux houillères de Bully-Grenay. 185
Pl. V et Pl. VI. *Fig.* 1. Gisements de pétrole en Galicie. 197
Pl. VI. *Fig.* 2 et 3. Théorie du ressort à boudin. 265
Fig. 4, 5, 6 et 7. Planimètre de Amsler. 278
Pl. VII à Pl. XII. Préparation mécanique des minerais de plomb et de zinc en Belgique et dans les provinces rhénanes. 294

434—Paris. — Imprimerie Cusset et Ce, rue Racine, 26.

Four à Minium

Fig. 1.

Coupe longitudinale par la ligne AB.

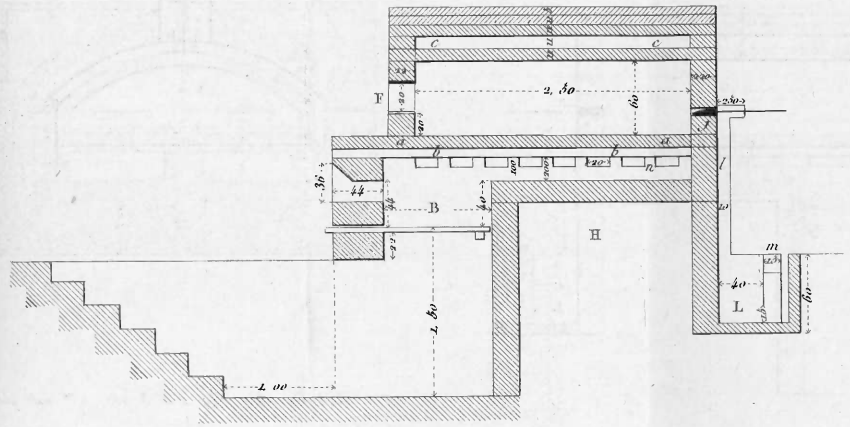


Fig. 2.

Coupe horizontale.

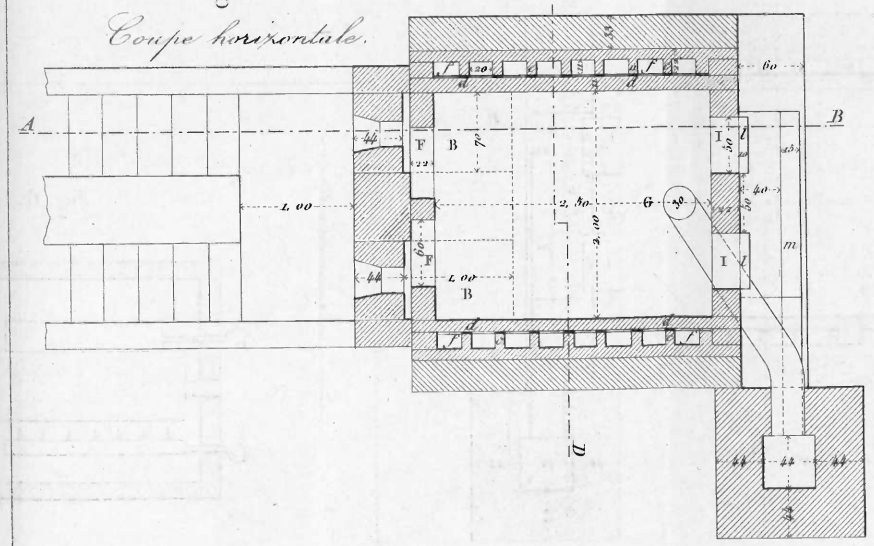
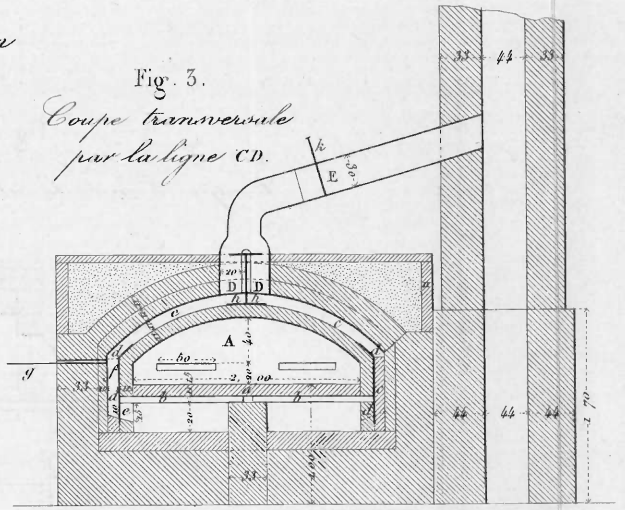


Fig. 3.

Coupe transversale par la ligne CD.



Echelle des Fig. 1 à 3 de 0m.05 pour 1 mètre

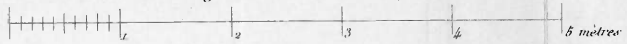
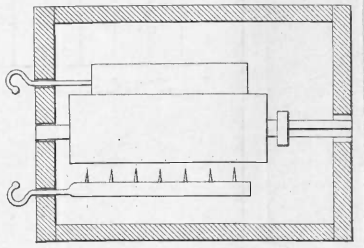


Fig. 6.



Tirage des mines

Note de Mr. Henry sur les substances explosibles.

Fig. 4.

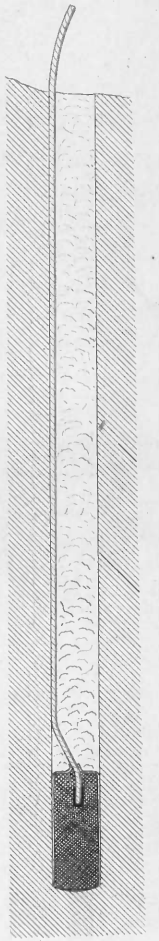
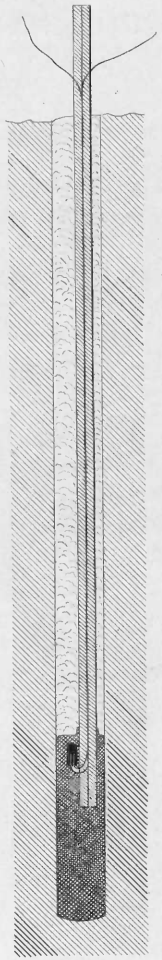


Fig. 5.



Lemaitre sc.

Fig. 1.

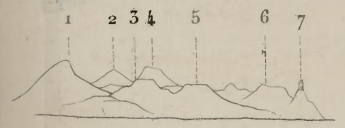


Fig. 2.

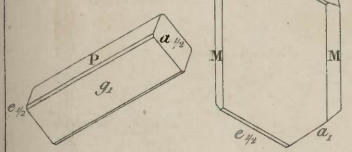


Fig. 3.

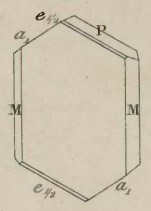


Fig. 4.

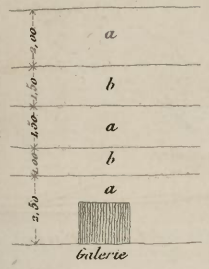
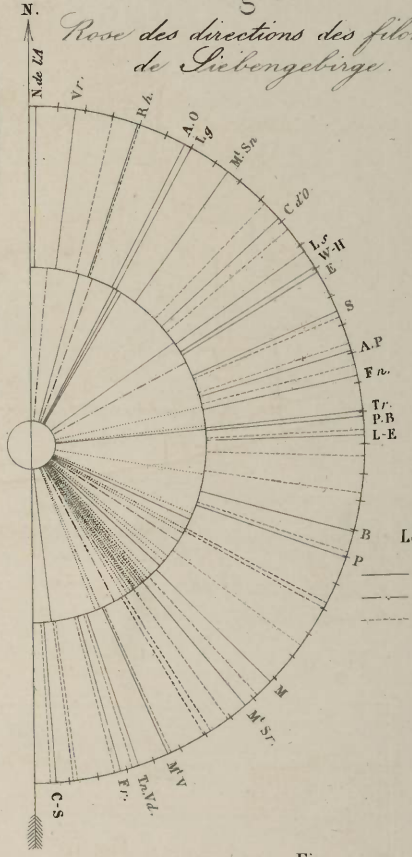


Fig. 5.

Rose des directions des filons de Siebengebirge.



Légende de la Fig. 5.

- Filons métallifères
- id. de Trachyte
- id. de Basalte

Légende de la Fig. 6.

- Alluvions du Rhin
- Dépôt diluvien
- Tuf trachytique
- Terrain de Braunkohle
- Schiste et Grauwacke
- Basalte
- Polérite
- Trachyte
- Filons de Basalte
- Filons de Trachyte

Fig. 6.

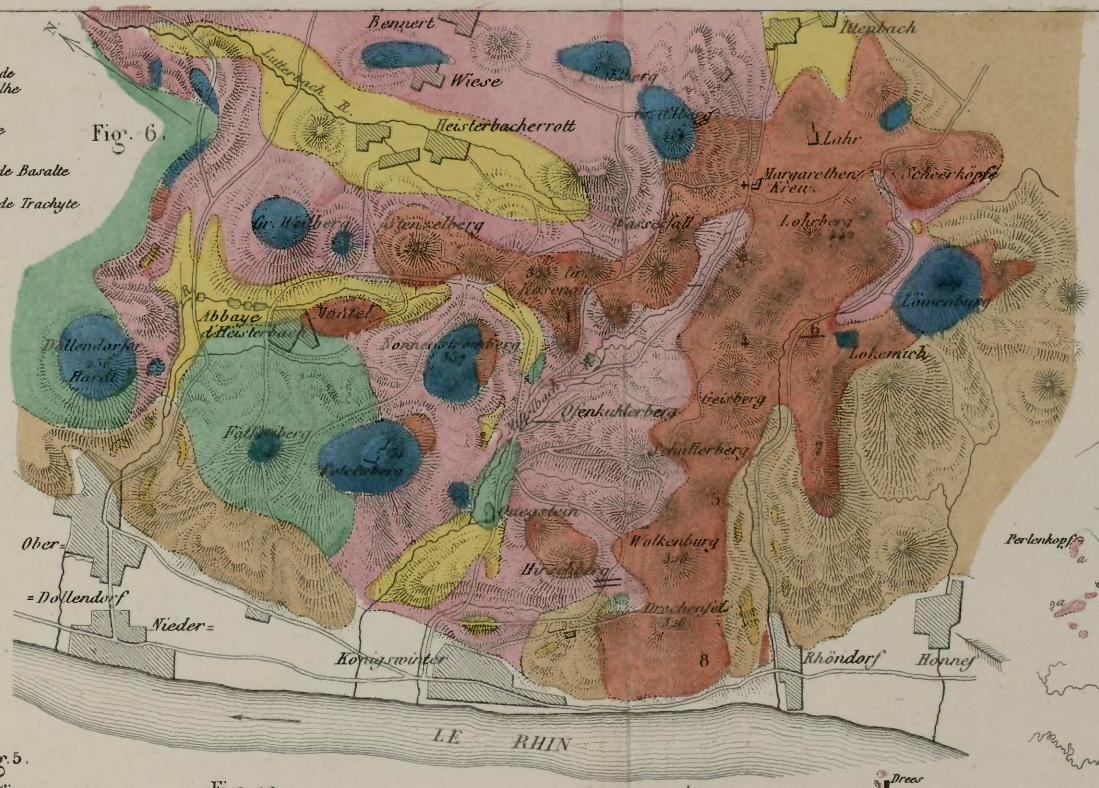


Fig. 7.

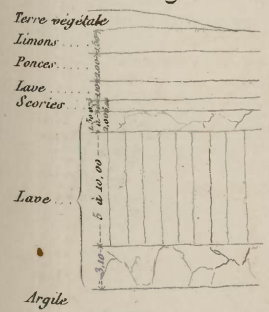


Fig. 8.

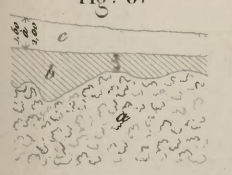


Fig. 9.

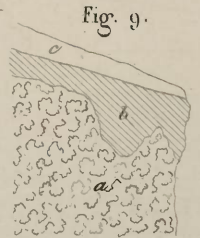


Fig. 10.

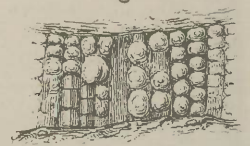


Fig. 11.

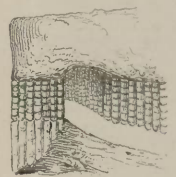


Fig. 12.

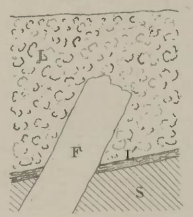


Fig. 13.

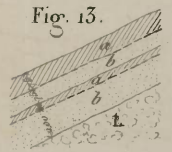


Fig. 14.

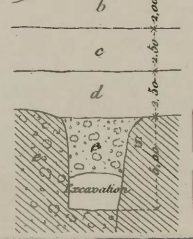


Fig. 15.

Fig. 16.

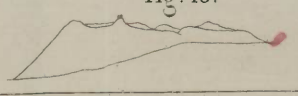


Fig. 17.

Fig. 18.

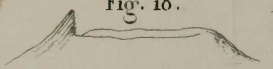
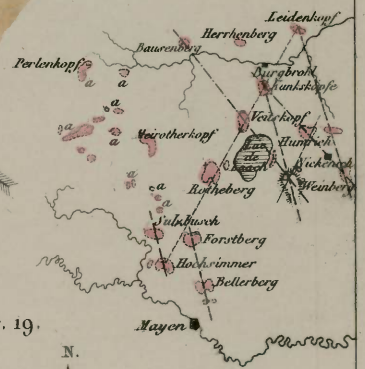
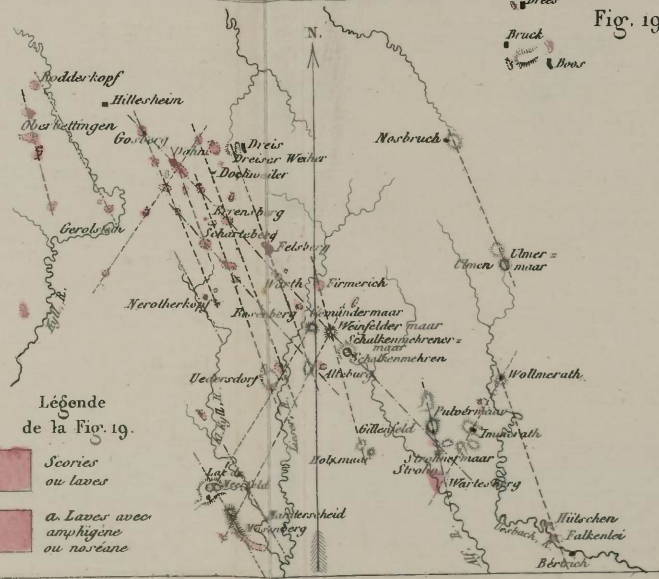


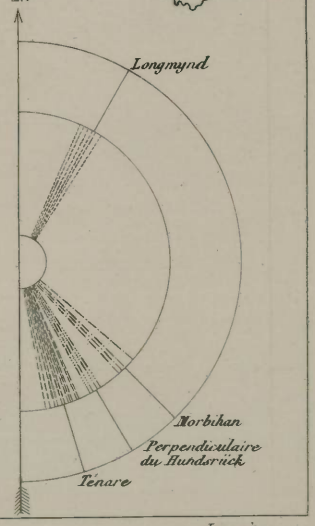
Fig. 19.



Légende de la Fig. 19.

- Scories ou laves
- a. Laves avec amphigène ou noséane





Lemaitre sc.

Fig. 1.

Élévation générale

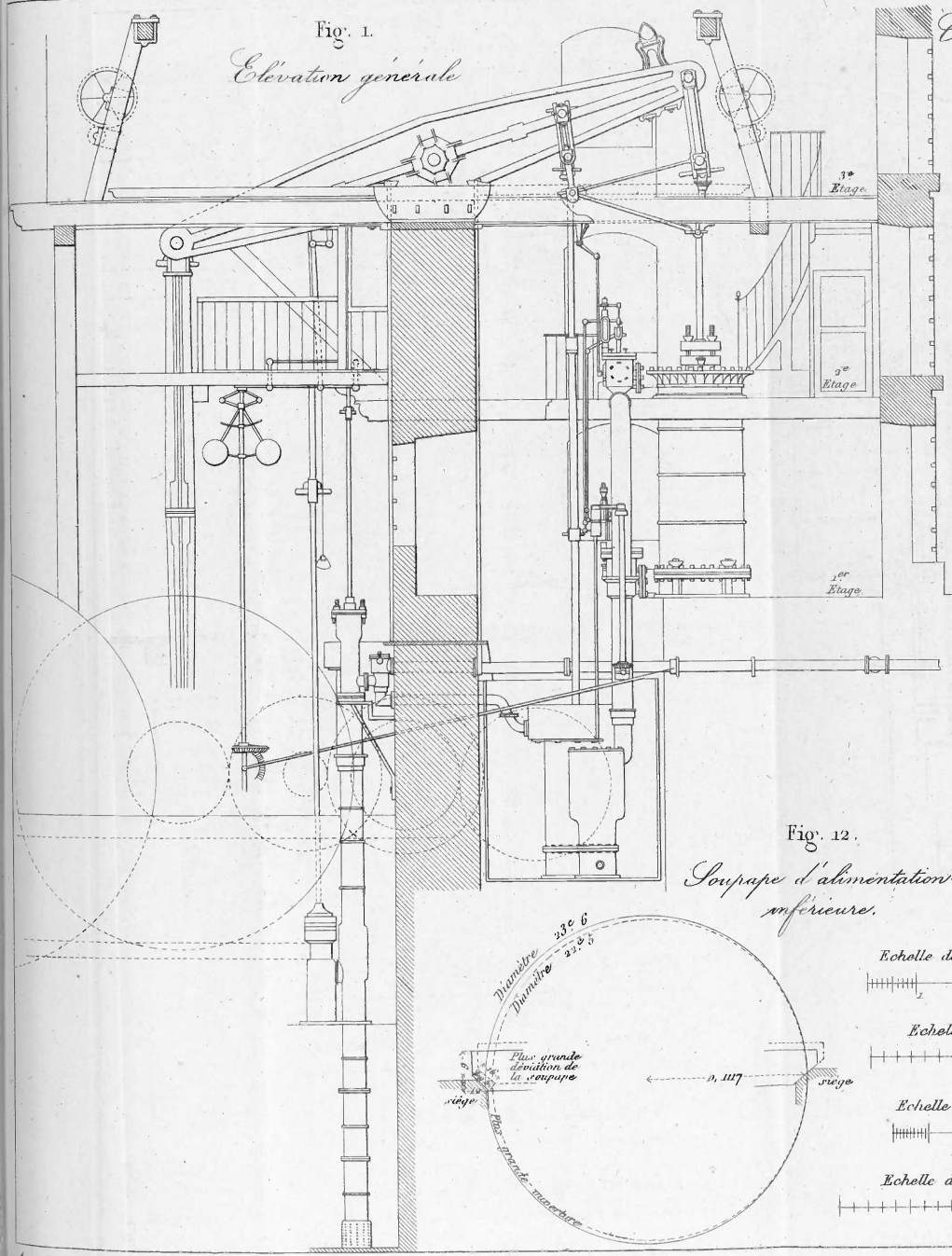


Fig. 2.

Coupe du cylindre et de la distribution

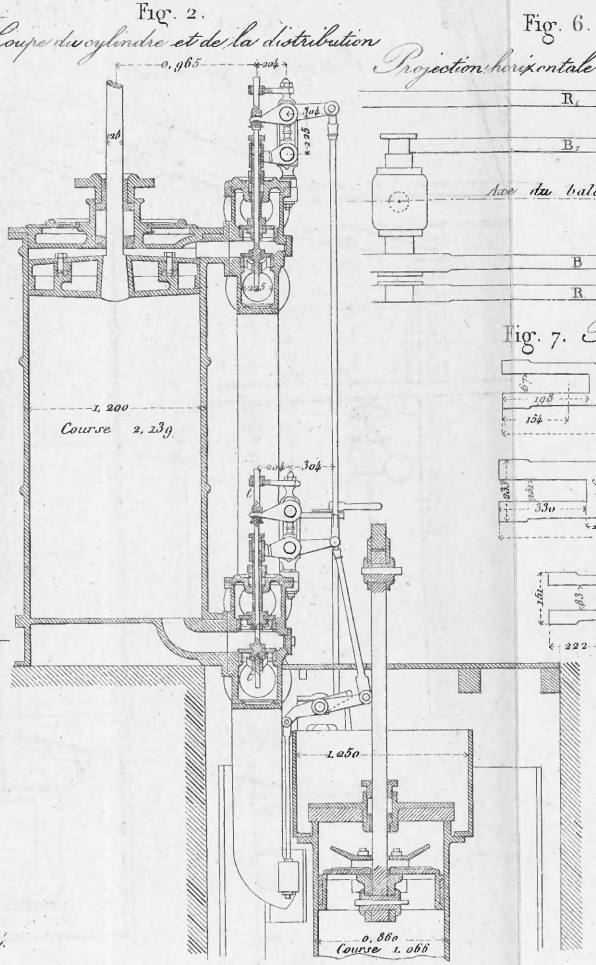


Fig. 6.

Projection horizontale du parallélogramme

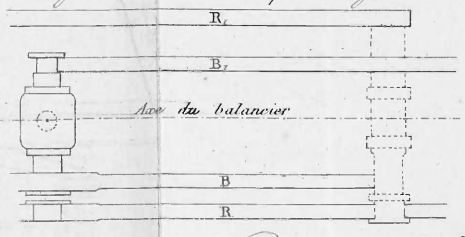


Fig. 4.

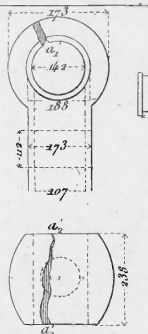


Fig. 3.

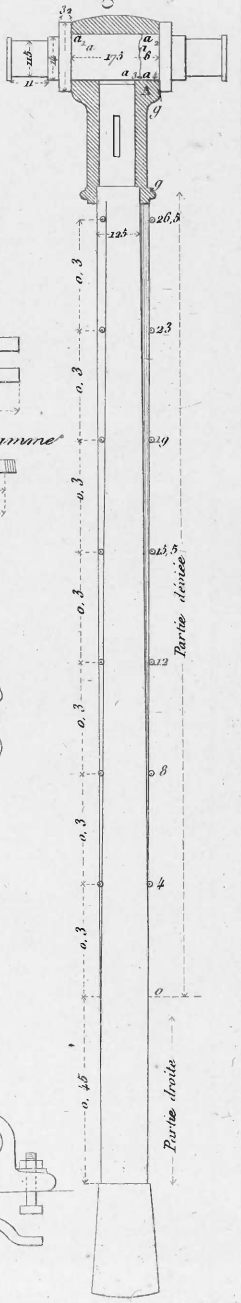


Fig. 7. *Projection verticale du rayon* R

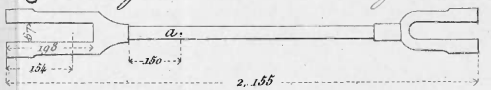


Fig. 8. *Bras* B *du parallélogramme*

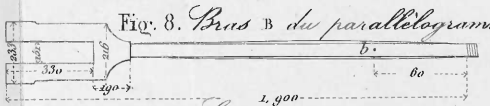


Fig. 9. *Etrier*

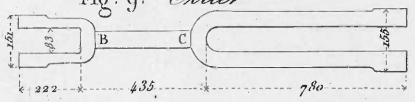


Fig. 11.

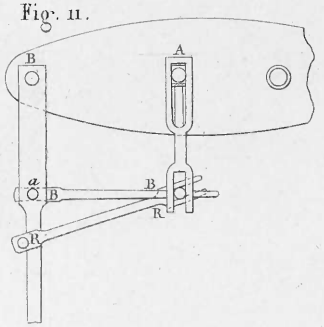
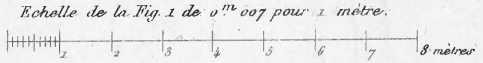


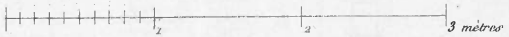
Fig. 12.

Soupape d'alimentation inférieure.

Echelle de la Fig. 1 de 0m 007 pour 1 mètre.



Echelle de la Fig. 2 de 0m 02 pour 1 mètre.



Echelle des Fig. 3, 4 et 5 de 0m 05 p' 1 mètre.

Echelle de la Fig. 12 de 0m 30 pour 1 mètre.

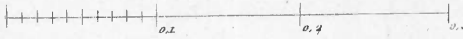
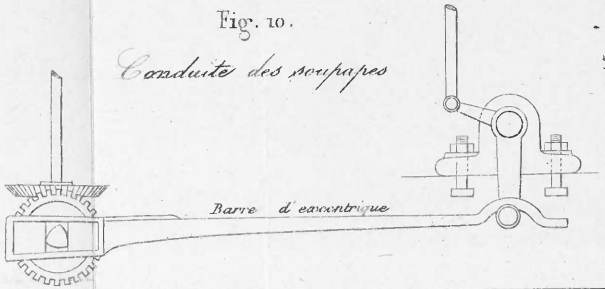


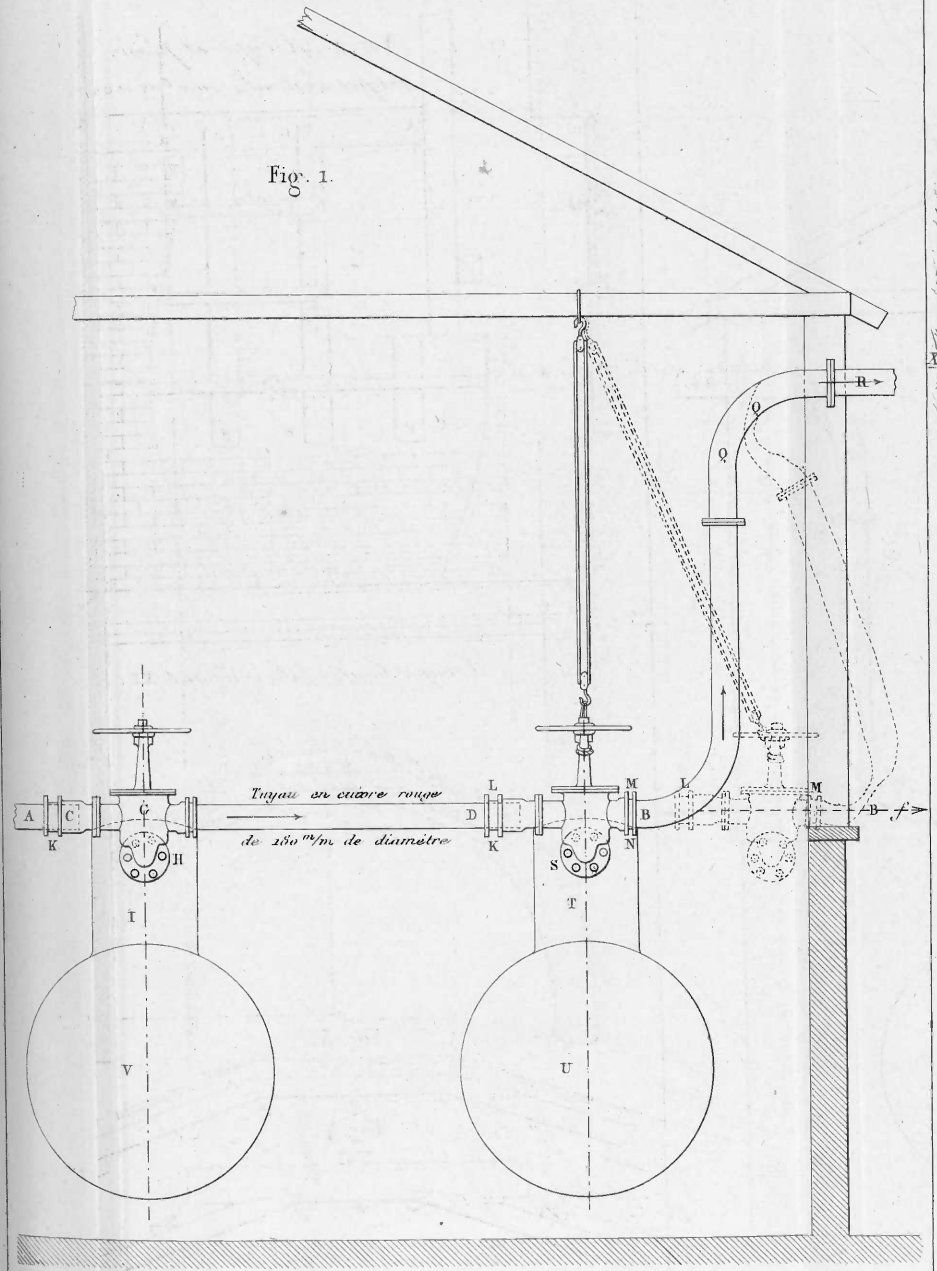
Fig. 10.

Conduite des soupapes



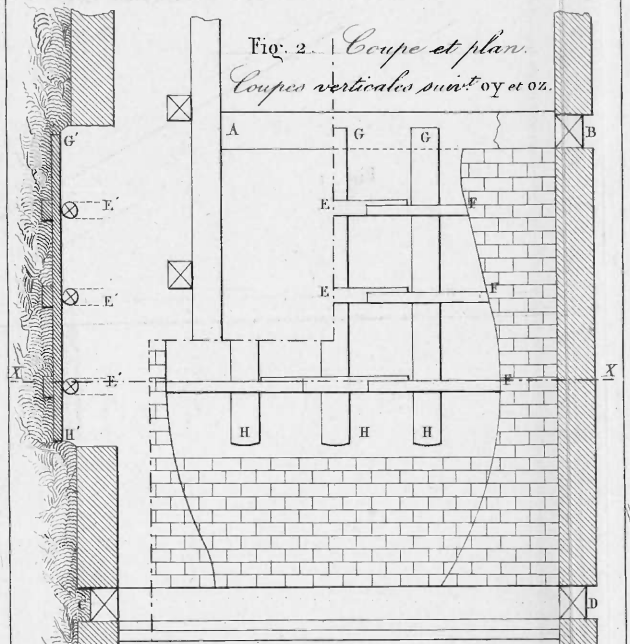
Accident à l'usine de Fives.

Fig. 1.



Accident d'Aniche.

Fig. 2. Coupe et plan.
Coupes verticales suivt OY et OZ.



Coupe horizontale suivant XX.

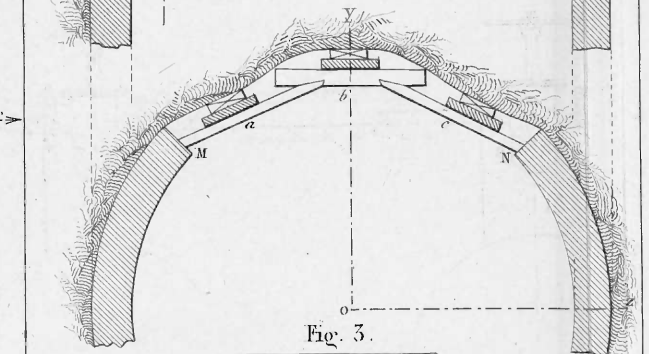


Fig. 3.

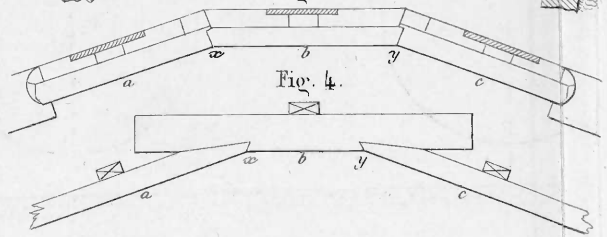


Fig. 4.

Accident de Bully-Grenay.

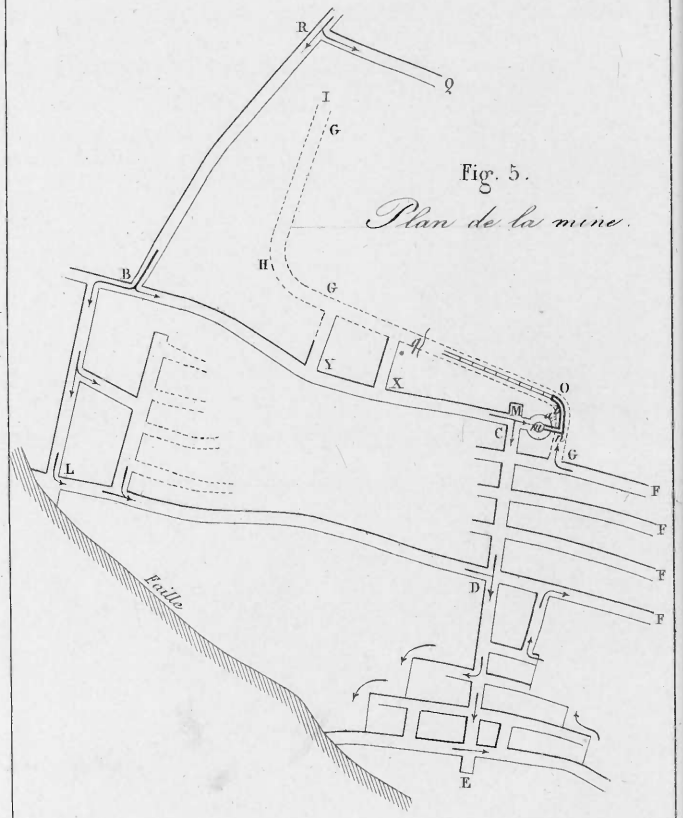
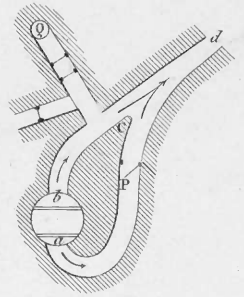


Fig. 5.
Plan de la mine.

Fig. 6



Lemaitre, sc.

Légende des Fig. 3 et 12.

Grès fins, bleus violacés, micacés, alternant avec des marnes blanches, feuilletées, sablonneuses. Couches à écailles de poisson. (Magura sans toit de M. Paul.)

Conglomérat quartzeux à gros grains, qui se trouve à la base des Magura Sandstein.

Grès alternant avec des marnes bleues schisteuses en bancs minces et contenant des bancs de silex et de carbonate de chaux corné en bancs discontinus et irréguliers.

Humus.

Fig. 1.

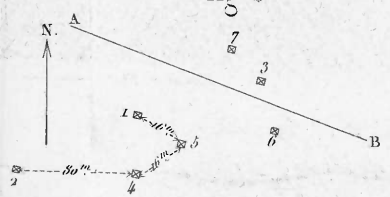


Fig. 2.

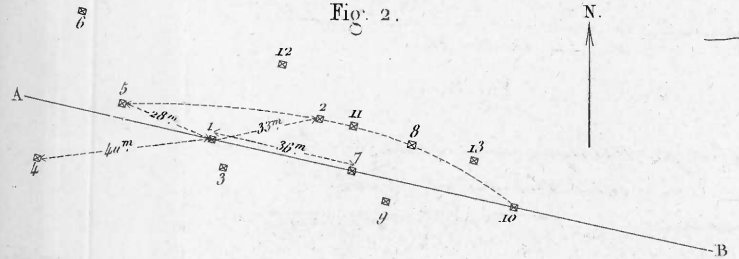


Fig. 7.

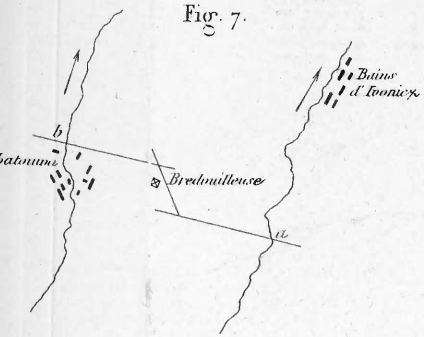


Fig. 3.

Coupe théorique de Bobrka.

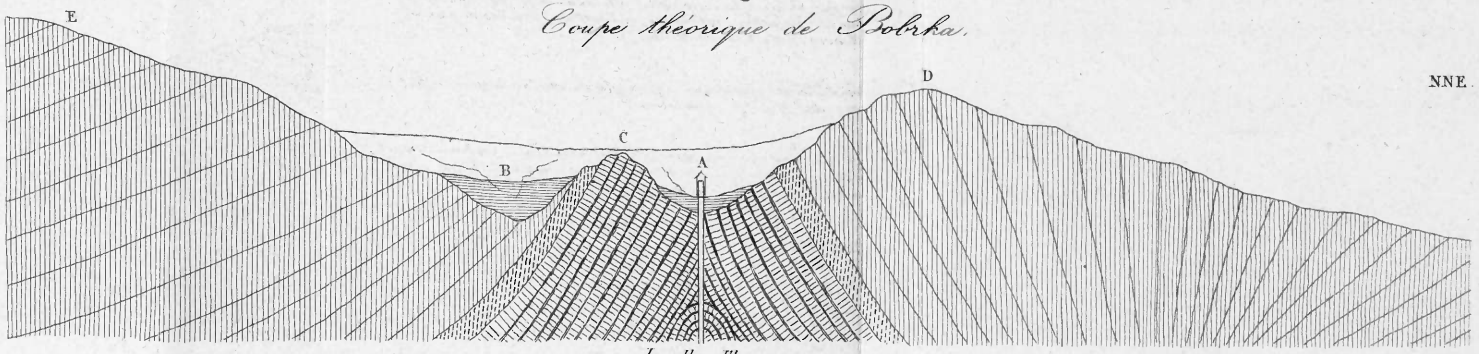


Fig. 4.

Coupe sur la rive droite de la Iasalka.

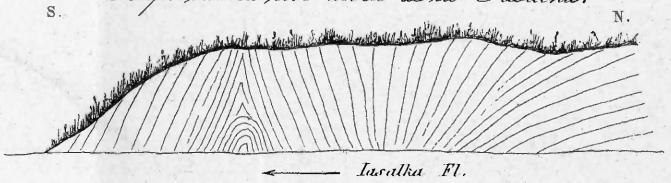


Fig. 5.

Diagramme a.

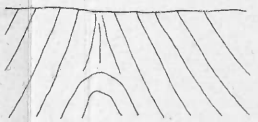


Fig. 6.

Diagramme b.

Fig. 8.

Coupe théorique de la chaine des Karpathes entre Bobrka et Dukla.

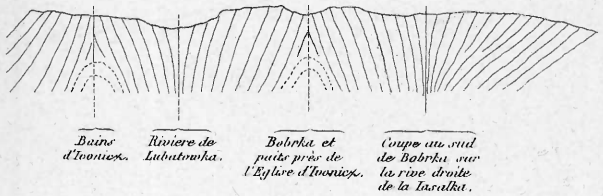


Fig. 9.

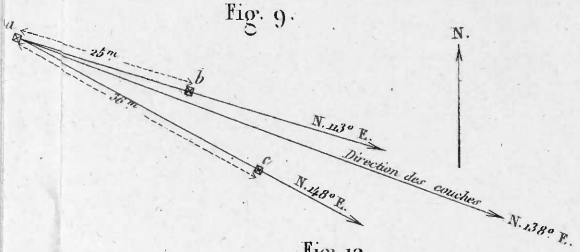


Fig. 10.

Coupe théorique de Plawce.

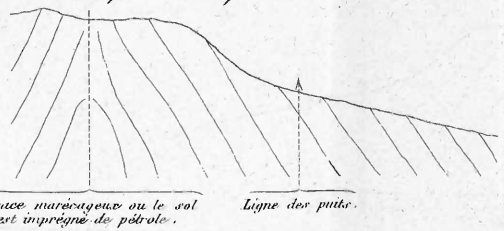


Fig. 11.

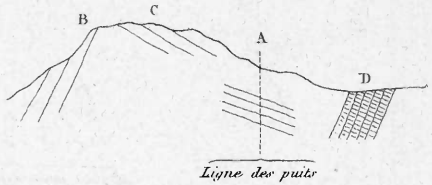


Fig. 12.

Coupe relevée sur le chemin de Torla au dela de Krosciensko.

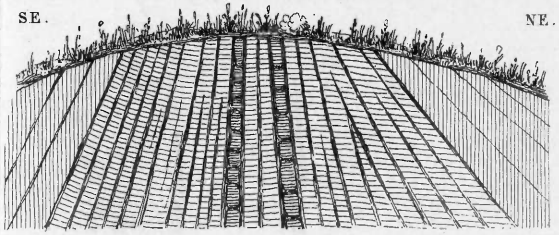
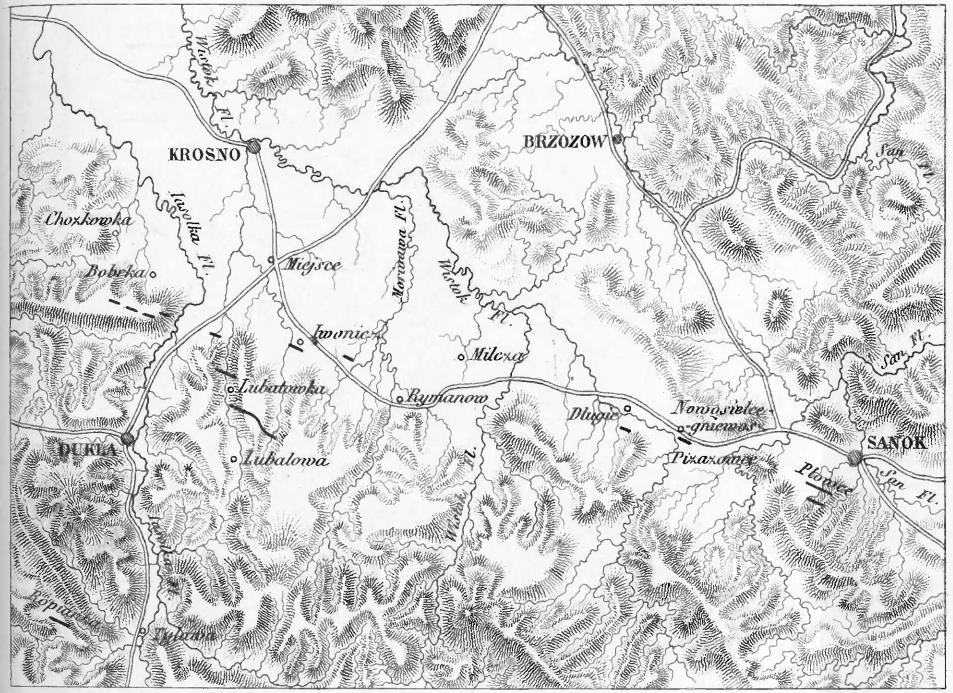


Fig. 1.

Carte des environs de Krosno, Sanok et Dukla.

(Galicie)



Echelle de $\frac{1}{360.000}$

— Affleurements du Pétrole.

Ressorts à boudin.

Fig. 2.

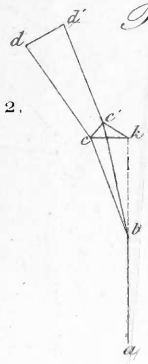
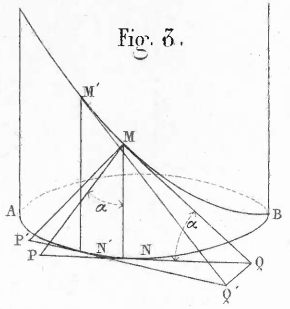


Fig. 3.



Planimètre de Amsler

Fig. 4. Projection verticale.

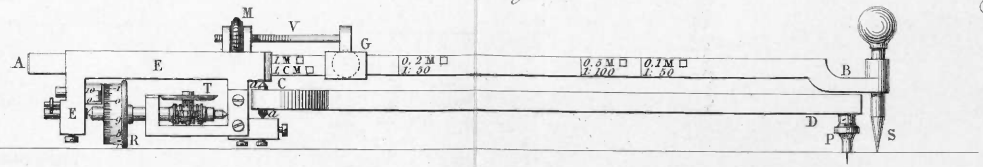


Fig. 6.

Contre-poids.

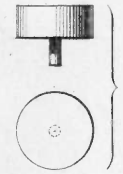


Fig. 5. Projection horizontale.

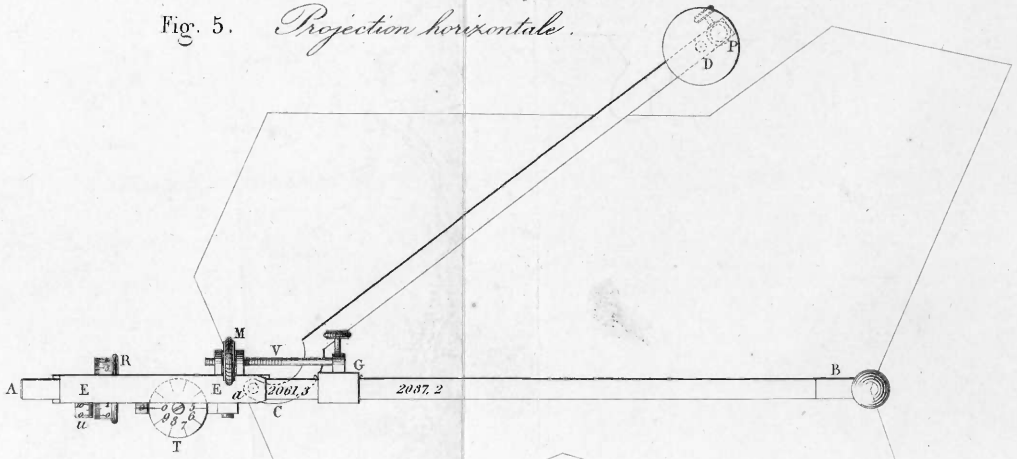
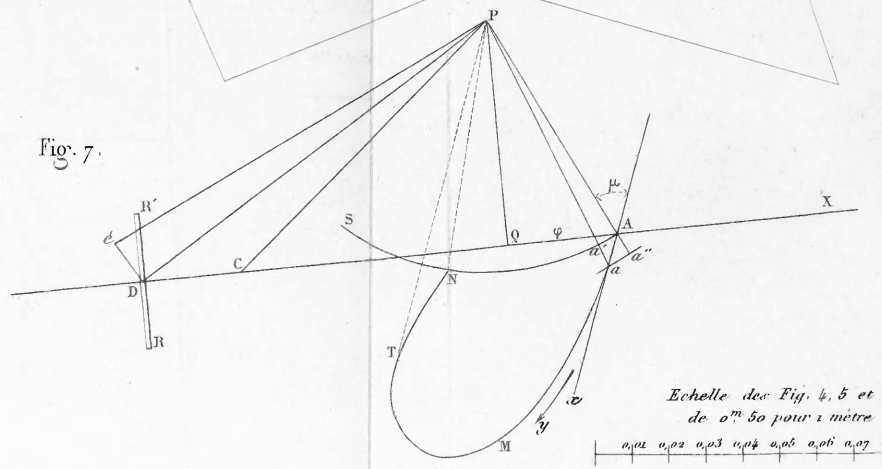


Fig. 7.



Echelle des Fig. 4, 5 et 6
de 0m 50 pour 1 mètre

0,01 0,02 0,03 0,04 0,05 0,06 0,07 0,08 0,09 0,1 décimèt.

Fig. 1.

Fig. 2.

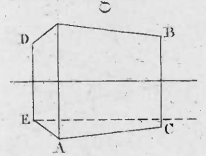


Fig. 3.

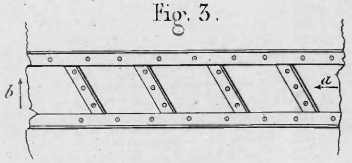


Fig. 4.

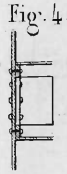


Fig. 5.

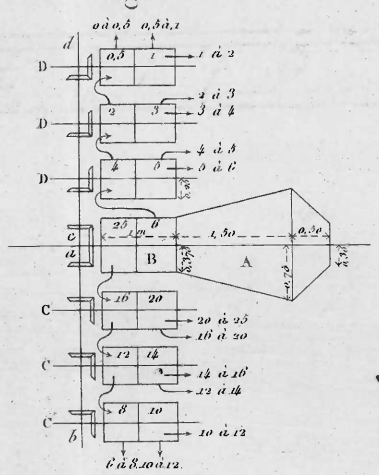


Fig. 6.

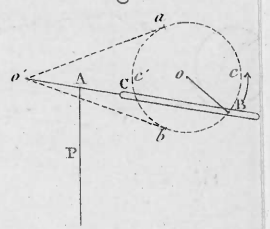


Fig. 7.

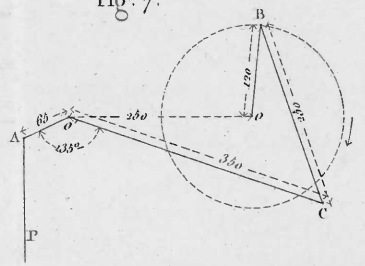


Fig. 8.

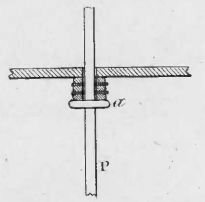


Fig. 9.

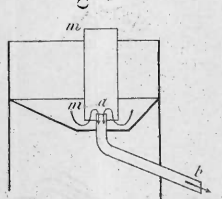


Fig. 10.

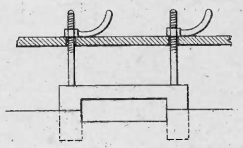


Fig. 11.

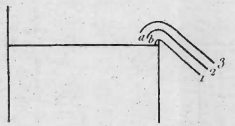


Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 14.

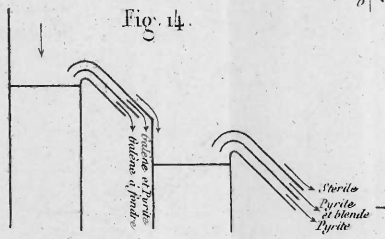


Fig. 15.

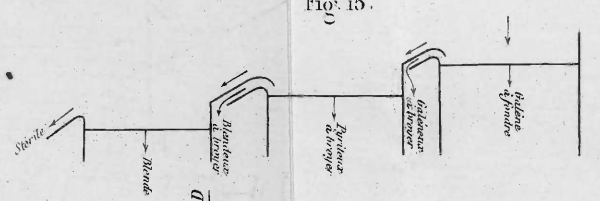


Fig. 16.

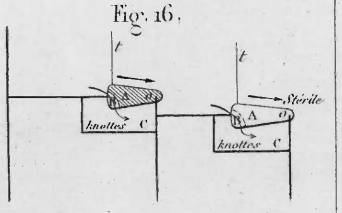


Fig. 17.

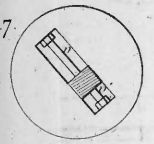


Fig. 18.

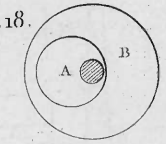


Fig. 19.

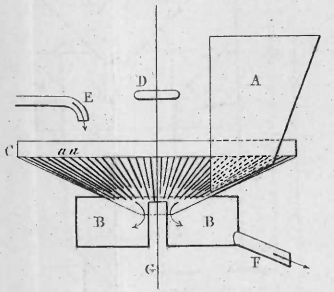


Fig. 20.

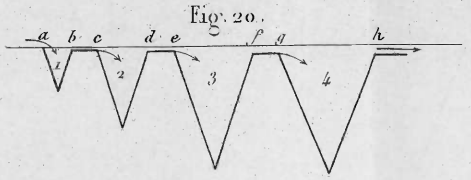


Fig. 21.

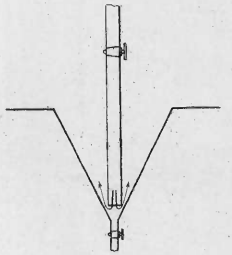


Fig. 22.

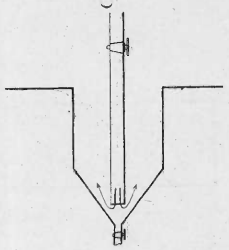


Fig. 23.

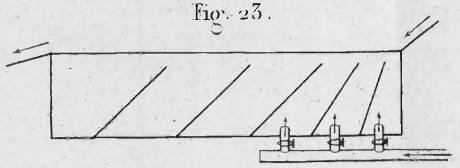


Fig. 24.

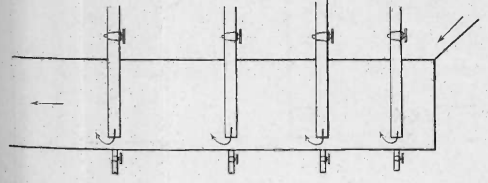


Fig. 25.

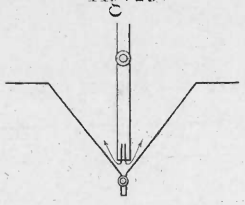


Fig. 26. *Coupe AB.*

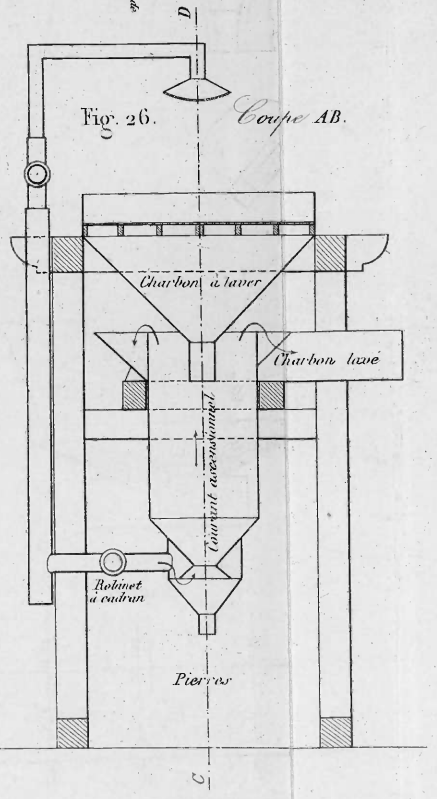


Fig. 27. *Coupe CD.*

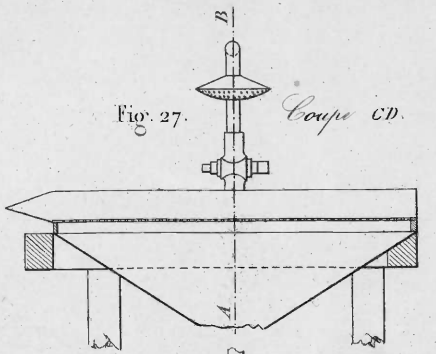
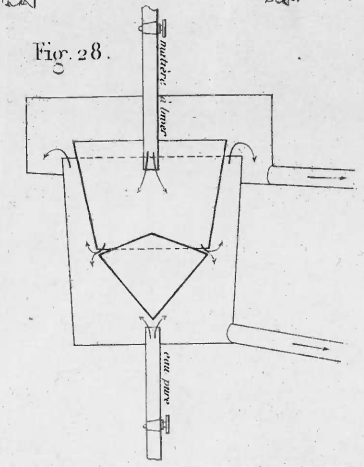


Fig. 28.



Echelle des Fig. 26 et 27 de 0^{m}05 pour 1 mètre

Fig. 1.

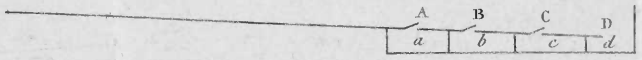


Fig. 2.

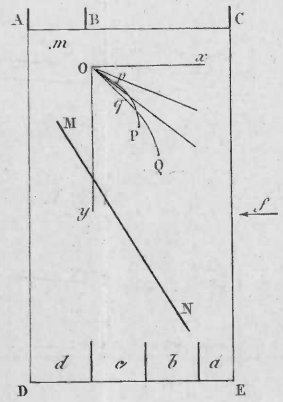
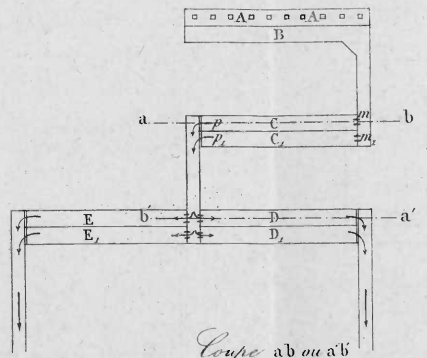


Fig. 9.



Coupe ab ou a'b'

Fig. 10.

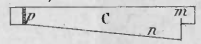


Fig. 11.

Echelle de $\frac{1}{100}$

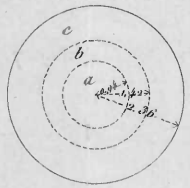


Fig. 12.

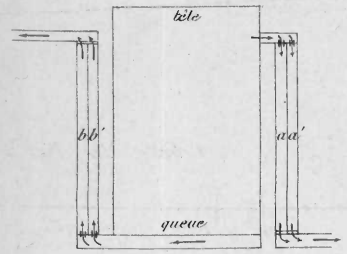


Fig. 13.

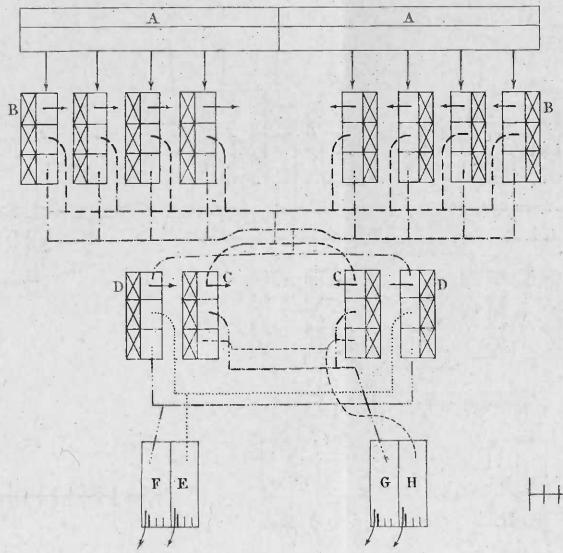


Fig. 3.

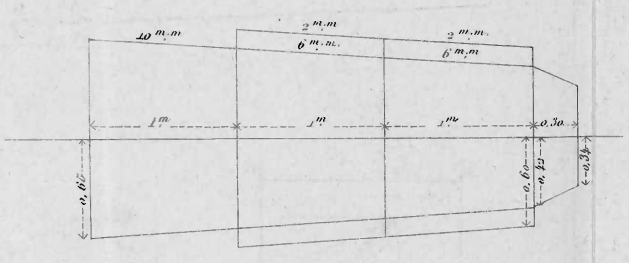


Fig. 4.

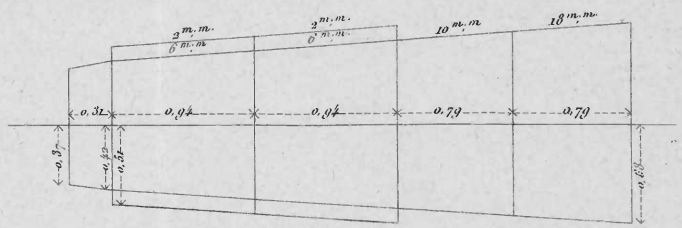


Fig. 5.

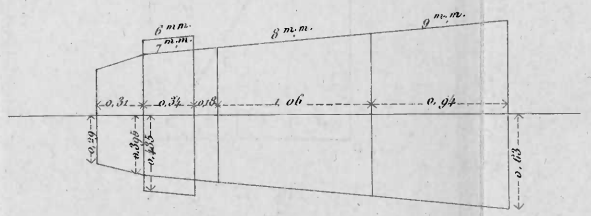


Fig. 6.

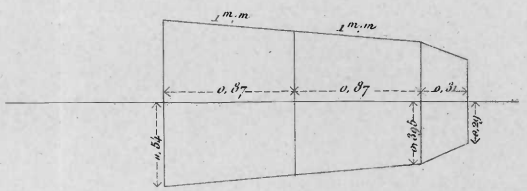


Fig. 7.

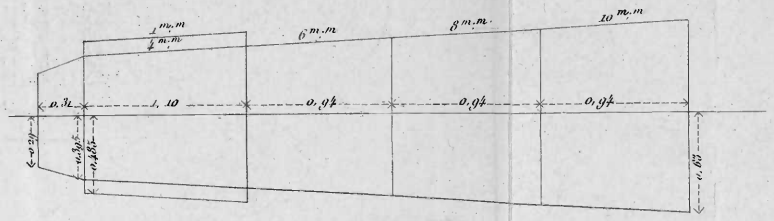
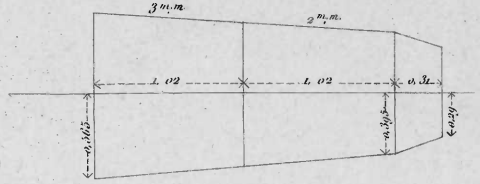


Fig. 8.



Echelle des Fig. 3 à 8 de 0^m 02 pour 1 mètre.

Fig. 1. (bis.)

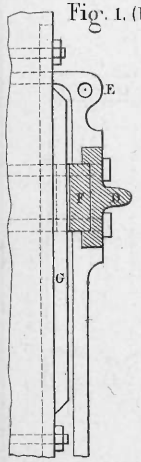


Fig. 1. *Coupe verticale* $A_1 B_1$

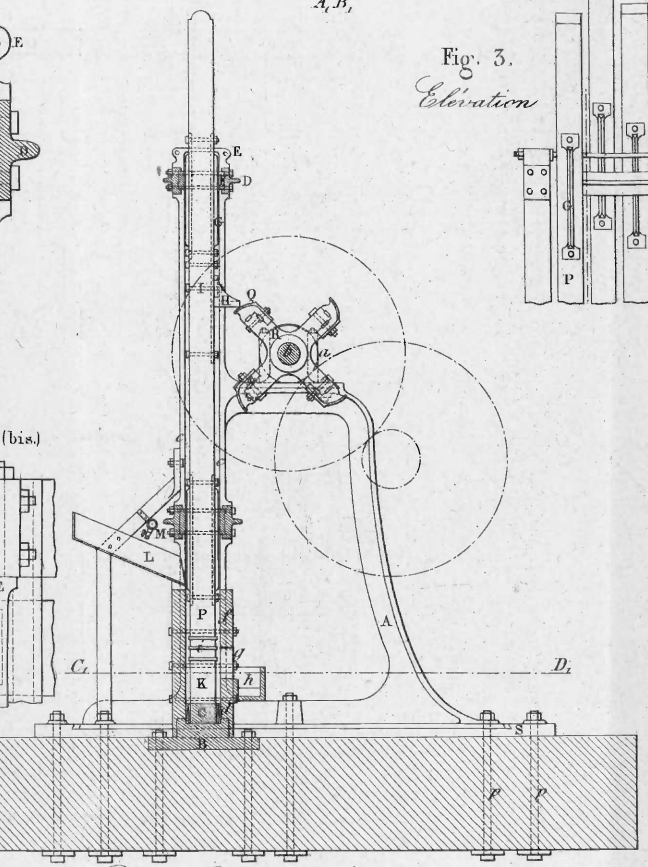


Fig. 3.
Elévation

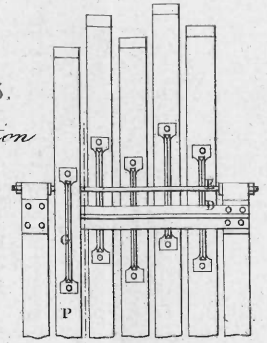


Fig. 8.

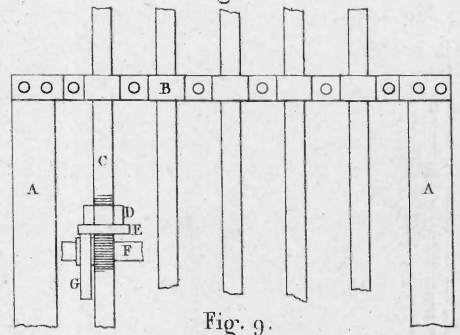


Fig. 10.

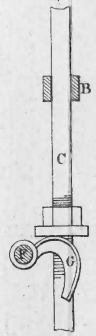


Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

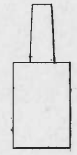


Fig. 7.

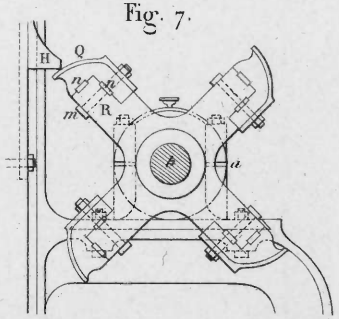


Fig. 9.

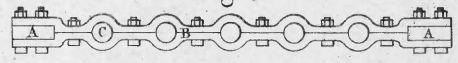


Fig. 2. (bis.)

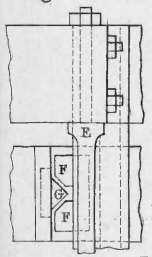


Fig. 11. *Coupe verticale* $G_1 H_1$

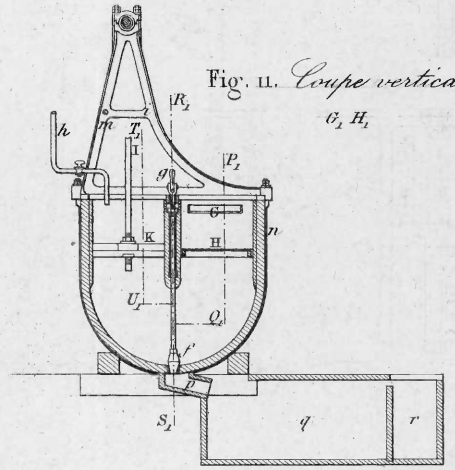


Fig. 12. *Elévation et Coupe longitudinale*

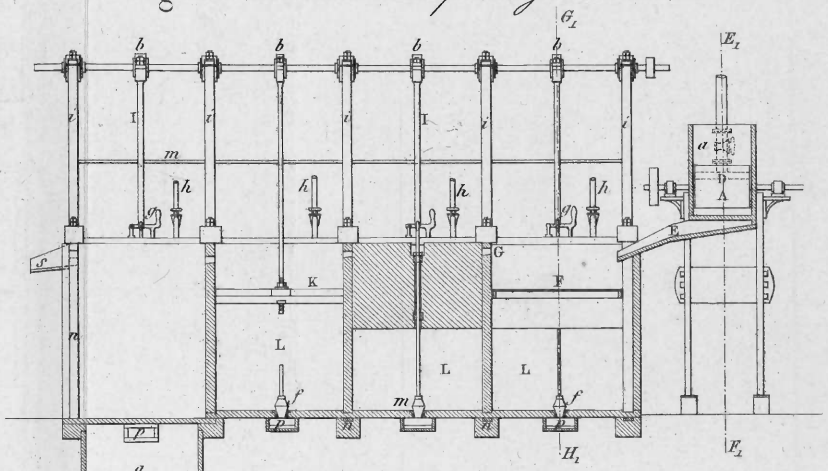


Fig. 2. *Plan et Coupe horizontale* $C_1 D_1$

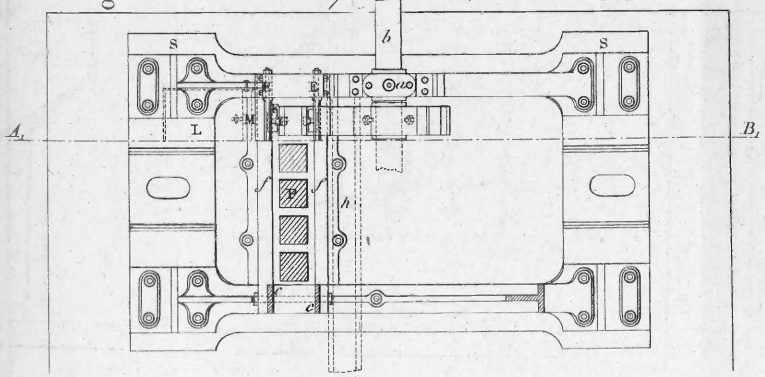


Fig. 13. *Coupe verticale* $M_1 N_1$

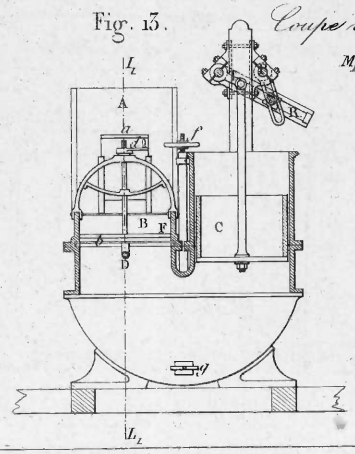


Fig. 14.
Coupe verticale $L_1 L_1$

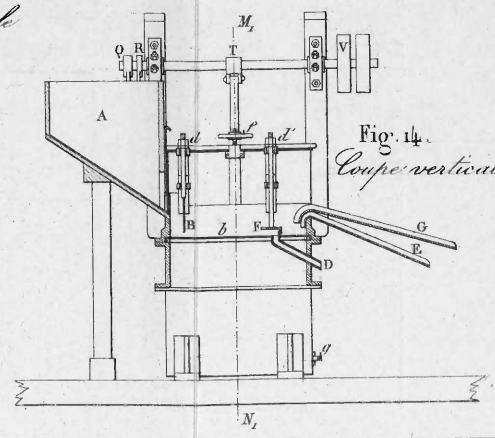
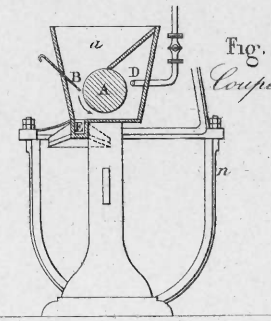
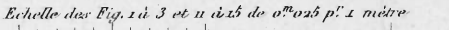


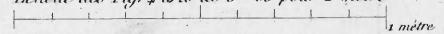
Fig. 15.
Coupe verticale $E_1 F_1$



Echelle des Fig. 1 à 3 et 11 à 15 de 0^{m}025 p^r 1 mètre



Echelle des Fig. 4 à 10 de 0^{m}05 pour 1 mètre



Annales des Mines 6^e Série, Tome XIX, page 294 et suiv.

Lemaitre del. et sc.

Fig. 1. *Coupe longitudinale.*

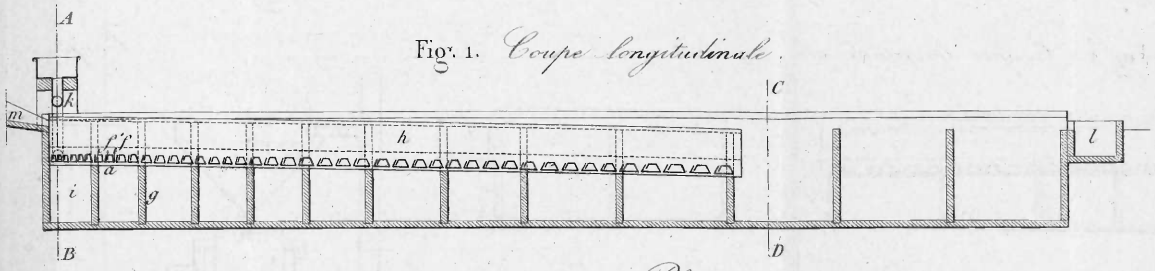


Fig. 2. *Plan*

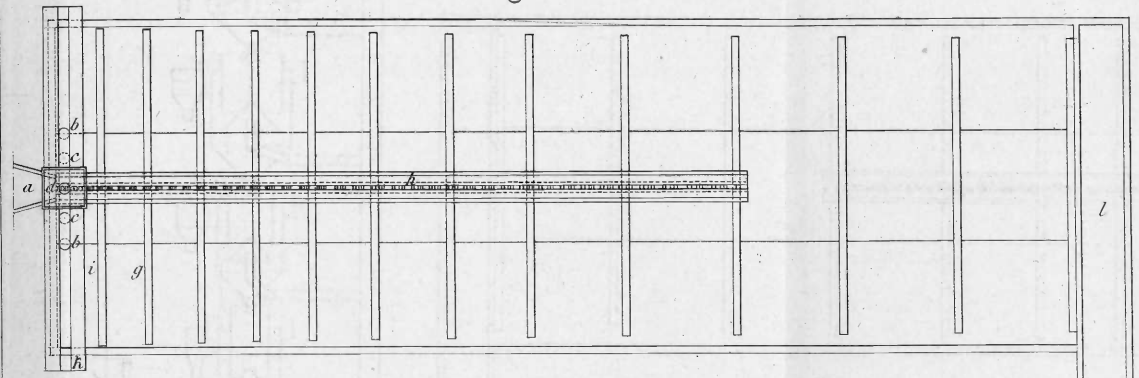


Fig. 3.
Coupe verticale AB.

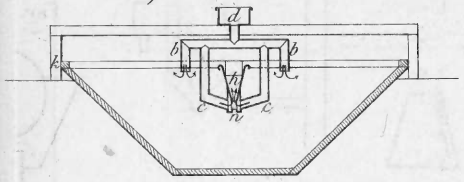


Fig. 4.
Coupe verticale CD

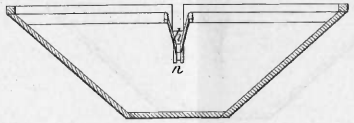


Fig. 5.
Coupe de la pièce

Fig. 6.

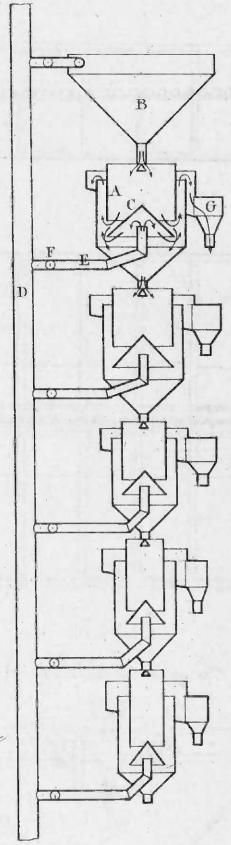
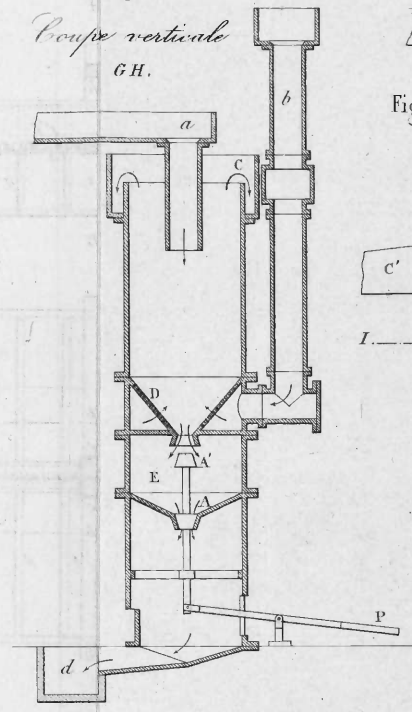
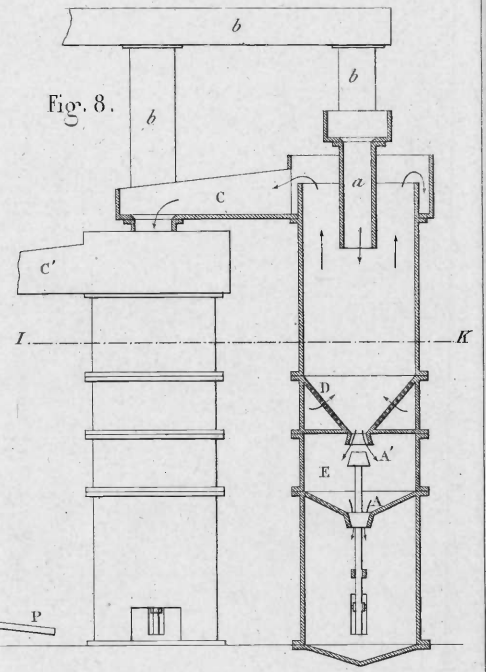


Fig. 9.
Coupe verticale GH.



Elévation et coupe verticale EF.

Fig. 8.



Coupe horizontale IK

Fig. 7.

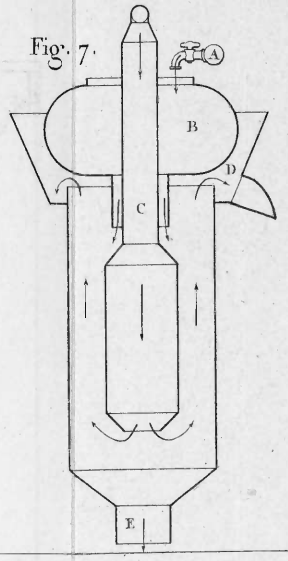
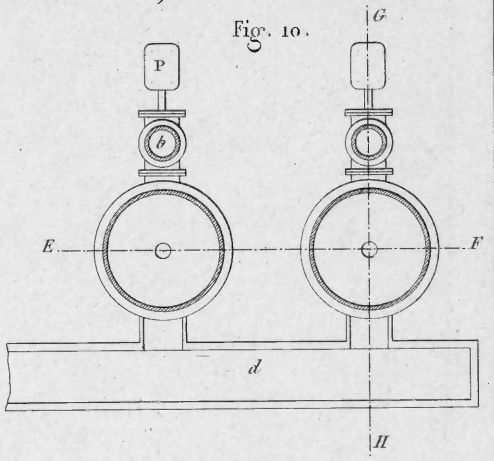
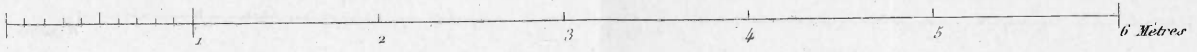


Fig. 10.



Echelle des Fig. 1 à 4 et 8 à 10 de 0^{m} 025 pour 1 mètre



Echelle des Fig. 6 et 7 de 0^{m} 05 pour 1 mètre

Coupe verticale $A_1 B_1$

Fig. 1.

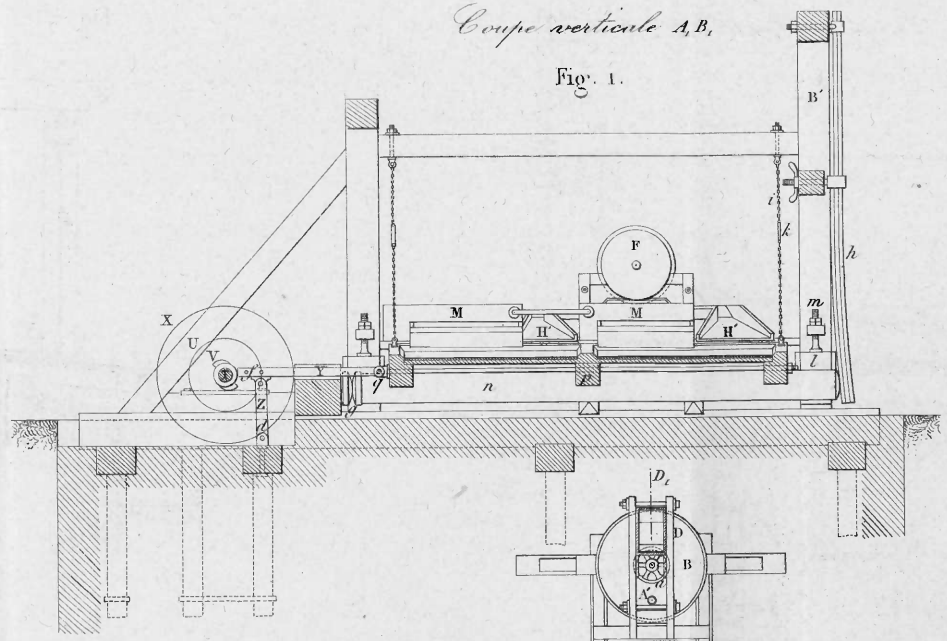


Fig. 3. *Plan.*

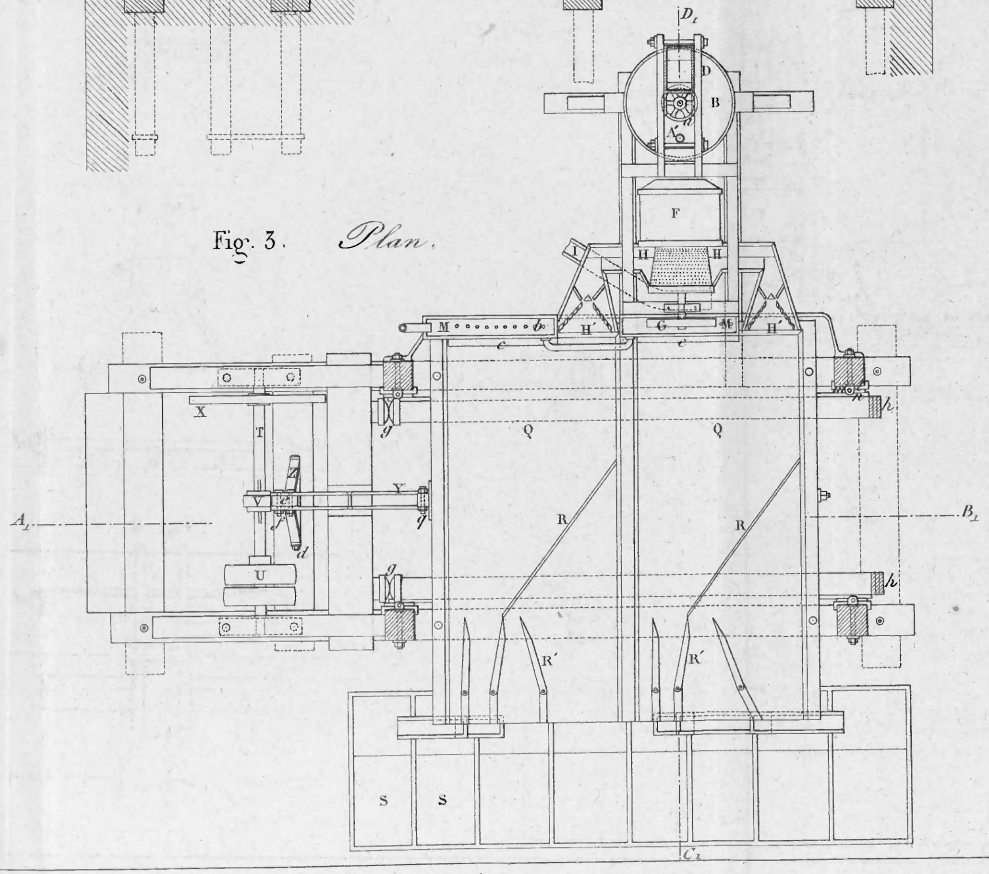


Fig. 2. *Coupe verticale $C_1 D_1$*

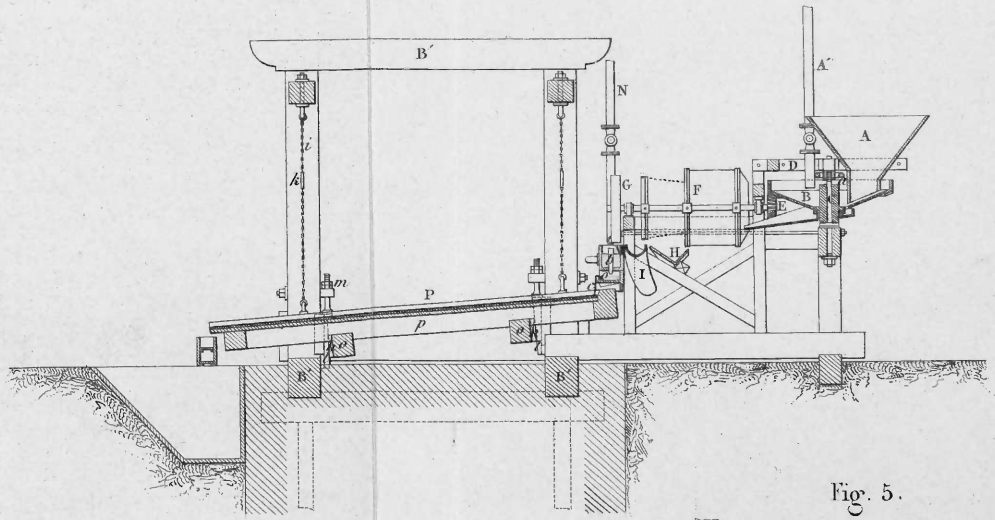


Fig. 4.

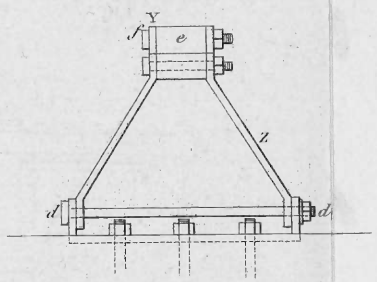


Fig. 6.

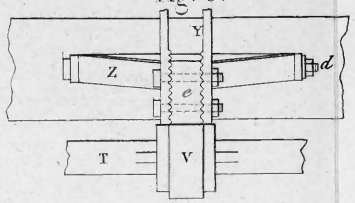
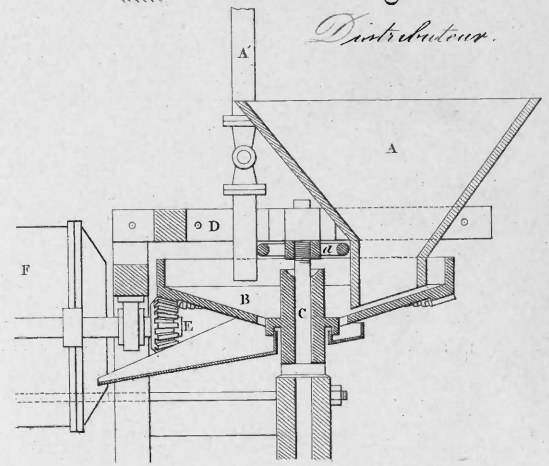


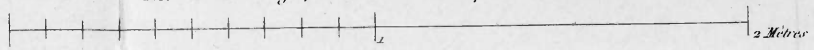
Fig. 5.

Distributeur.



Echelle des Fig. 1 à 3 de o^{m} 025 pour 1 mètre

Echelle des Fig 4 à 6 de o^{m} 05 pour 1 mètre



Lemaitre del. et sc.

Annales des Mines 6^{e} Série, Tome XIX, page 294 et suiv.

Fig. 1. *Coupe verticale de l'atelier continu de Mechernich.*

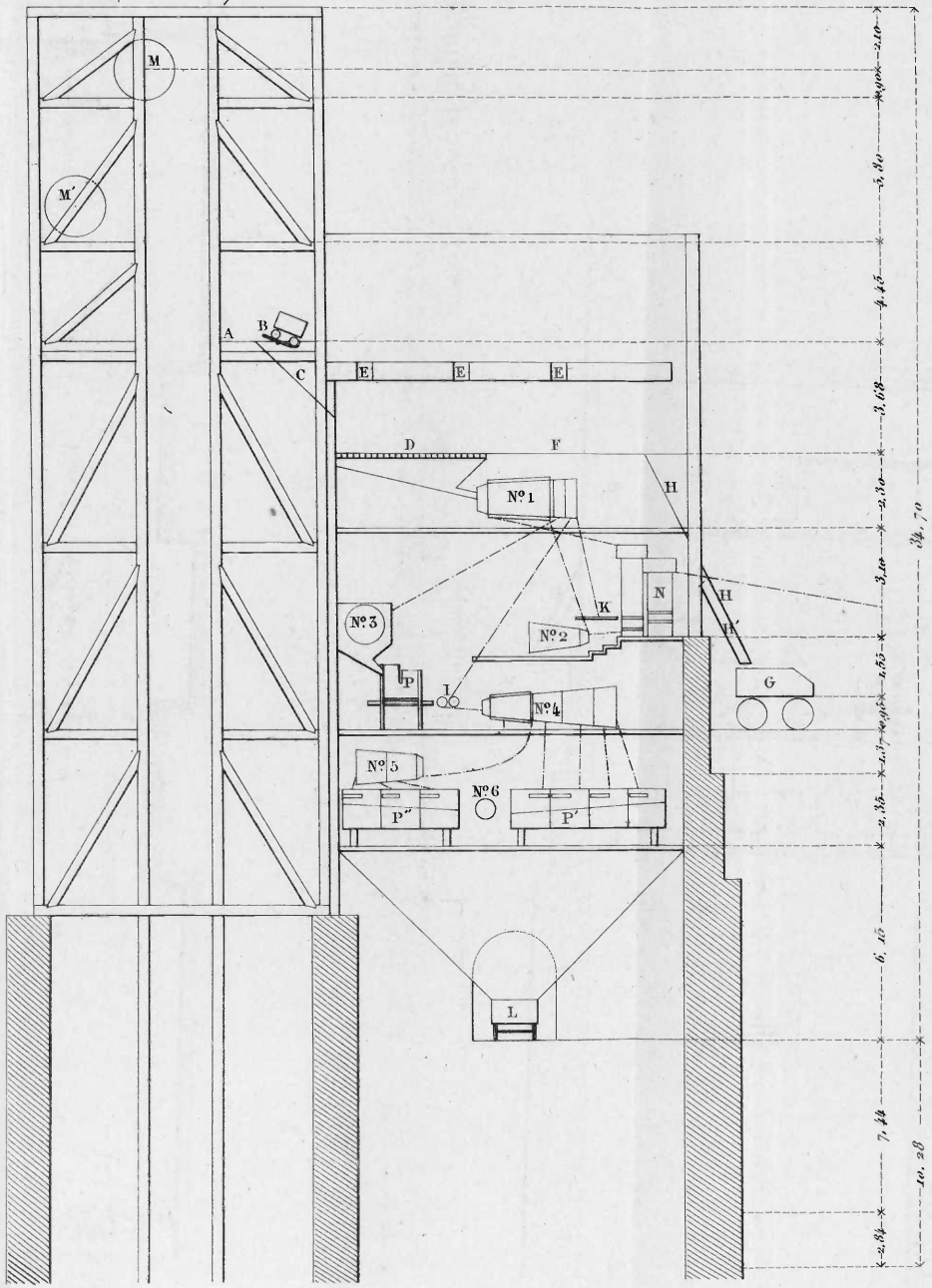


Fig. 3. *Coupe verticale.*

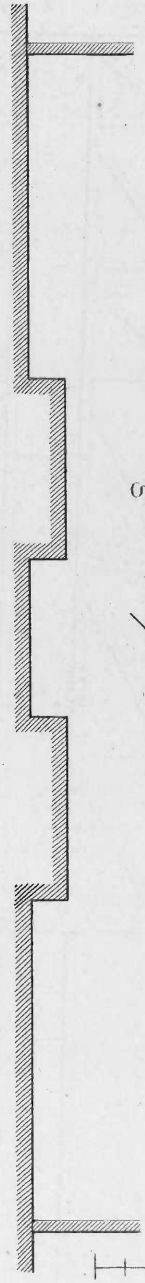
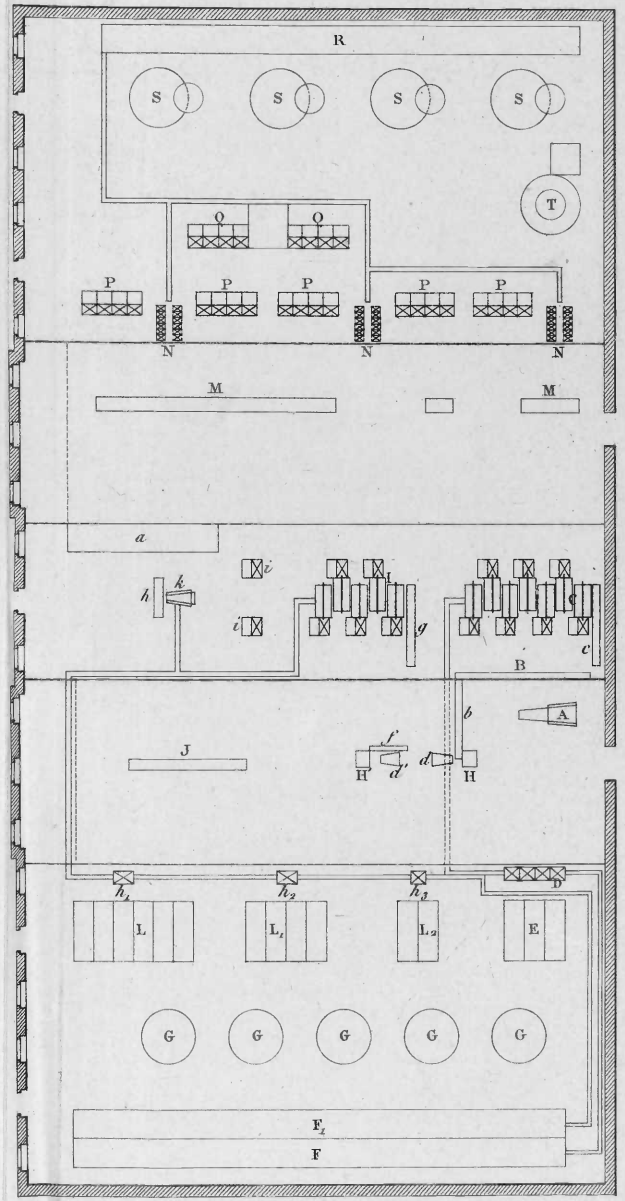


Fig. 2. *Atelier de Silberau. — Plan.*



Echelle de la Fig. 1 de 0m.004 pour 1 mètre

Echelle des Fig. 2 et 3 de 0m.002 pour 1 mètre