BIBLIOTHÈQUE DES MINES

ANNALES

DES MINES.

N° 433.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

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

MM.

Élie de Beaumont, sénateur, insp. général de 1re cl., membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collége de France et à l'École des mines, *président*.

De Boureuille, conseiller d'État, inspecteur général de 1re cl., secrétaire général du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

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

Levallois, inspecteur général de 1re cl.

De Billy, inspecteur général de 2e cl.

Blavier, inspecteur général de 2e cl.

Drouot, inspecteur général de 2e cl.

Piérard, inspecteur général de 2e cl.

Vene, inspecteur général de 2e cl.

De Hennezel, inspecteur général de 2e classe.

Gruner, inspecteur général de 2e cl., professeur de métallurgie.

MM.

Dusouich, inspecteur général de 2e cl.

Daubrée, ingénieur en chef de 1re cl., membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

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

Rivot, ingénieur en chef de 2e cl., professeur de docimasie.

Bayle, ingénieur en chef de 2e cl., professeur à l'École des mines.

De Cheppe, ancien chef de la division des mines.

Lamé-Fleury, ingénieur ordinaire de 1re cl., professeur de droit des mines.

Couche, ingénieur en chef de 1re cl., professeur de construction et de chemins de fer, *secrétaire de la commission*.

Delesse, ingénieur en chef de 2e cl., maître de conférence à l'École normale, *secrétaire adjoint*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la commission des* Annales des Mines, rue Bonaparte, n° 1, 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. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Cie, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

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

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SIXIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME X.

BIBLIOTHÈQUE IMPÉRIALE DES MINES

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Ver DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont,

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

Quai des Augustins, n° 49.

1866

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1866.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

AOUST. Sur un système double de surfaces réglées, résultant du mouvement d'une droite. In-8, 22 p. (13167).

BÉRON. La physique céleste : inégalité des deux hémisphères de la terre et des planètes produisant les anomalies; précession, marche des absides et mutation ou libration, éclipses de la lune, et du soleil. In-8, 88 p. (10826).

BRIOT. Cours de cosmographie ou éléments d'astronomie, comprenant les matières du programme officiel pour l'enseignement des lycées ; par Charles Briot, maître de conférences à l'École normale supérieure. 4e édition revue et augmentée. In-8, 329 p. et 1 pl. (9453).

CLAUDEL. Introduction à la science de l'ingénieur. Aide-mémoire des ingénieurs, des architectes, etc. Partie théorique. 4e édition, revue et considérablement augmentée. In-8, XVI-868 p. (12512).

DIEU. Essai sur l'histoire des mathématiques. Discours de réception lu à l'Académie impériale des sciences, lettres et arts de Lyon, le 3 juillet 1866. In-8, 16 p. (12267).

DUCLOS. Transformation des équations linéaires par le changement de variable indépendante. In-4, 15 p. (12274).

GUIRAUDET. Études de cristallographie géométrique (2e mémoire). In-8, 31 p. et pl. (12057).

HERMITTE. Sur l'équation du 5e degré. In-4, 78 p. (8934).

PAINVIN. Théorie des surfaces polaires d'un plan. In-8, 198 p. (9813).

ROBLET. Découverte importante sur la lune, cause du retard qu'elle éprouve sur le cours apparent du soleil. In-12, 12 p. et pl. (11438).

2° *Physique et Chimie.*

Annales de chimie et de physique, par MM. Chevreul, Dumas, etc. Table analytique des matières contenues dans les tomes XXX à LXIX de la 3e série (1851 à 1863), suivie d'une table alphabétique des auteurs dressée par M. Ed. Wilm. In-8, 478 p. (12209).

BECQUEREL. Mémoires sur les pouvoirs thermoélectriques des corps et sur la construction des piles thermoélectriques. In-8, 41 p. et 1 pl. (11034).

BOUILHET. Les origines et les progrès récents de la galvanoplastie. Conférence faite par M. Bouilhet dans la séance du 7 mai 1866, société d'encouragement pour l'industrie nationale. In-8, 47 p. (9448).

BOUTRON et BOUDET. Hydrotimétrie. Nouvelle méthode pour déterminer les proportions des matières minérales en dissolution dans les eaux de sources et de rivières. 4e édition. In-8, 88 p. (9085).

CHAUTARD. Recherches sur la lumière des courants d'induction traversant les gaz raréfiés. In-8, 6 p. (10610).

DIDION. Détermination du frottement de la poulie et du treuil par des procédés graphiques. In-8. 24 p. et pl. (12266).

DRIAN. Observations météorologiques faites à 9 heures du matin à l'observatoire de Lyon, du 1er décembre 1864 au 1er décembre 1865. In-8, 26 p. et tableaux (11558).

DU MONCEL. Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff. Illustrée de 115 figures intercalées dans le texte. 5e édition entièrement refondue. In-8, XII-400 p. (12541).

FILHOL. Nouvelles recherches sur la composition des eaux sulfureuses des Pyrénées prises sur les lieux d'emploi. In-8, 12 p. (12037).

GAVARRET. Des images par réflexion et par réfraction. In-18 jésus, 190 p. avec 80 figures intercalées dans le texte (11854).

GRIMAUX. Équivalents, atomes, molécules. Thèse pour l'agrégation de chimie. In-8, 109 p. (9524).

JAMIN. Cours de physique de l'École polytechnique. T. 3. 2e fascicule. Optique. In-8, XVI-337-804 p., 5 pl. et figures dans le texte (11346).

MAUMENÉ. Théorie générale de l'exercice de l'affinité. 2e et 3e mémoires. Loi des actions de mélanges. Démonstration de l'inexactitude jusqu'à l'absurde de la théorie des substitutions et des types. In-4, 66 p. (8501).

NICKLÈS. Recherches de chimie appliquée (faits nouveaux concernant les corps gras, les matières sucrées, la séparation du plomb et du bismuth, etc.). In-8, 24 p. (8983).

ROBIN. Leçons sur les substances amorphes et les blastèmes. Gr. in-8, 87 p. (10549).

WALKER. Manipulations électrotypiques ou traité de galvanoplastie contenant la description des procédés les plus faciles pour dorer, argenter, graver sur cuivre et sur acier, reproduire les médailles, etc., au moyen du galvanisme. 7e édition, considérablement augmentée et accompagnée de figures intercalées dans le texte. In-8, XI-184 p. (9286).

WURTZ. Leçons élémentaires de chimie moderne. 1er fascicule. In-18 jésus, 292 p. (10343).

WYROUBOFF. Sur les substances colorantes des fluorines. In-8, 16 p. (8089).

3° *Géologie, Minéralogie, Métallurgie.*

ARCHIAC (d'). Géologie et paléontologie. In-8, XVI-780 p. (11969).

BERTHAUD. Résumé des études géologiques sur le Mâconnais. In-8, 16 p. (10827).

BOURLOT. Géologie générale. Réaction de la haute température et des mouvements de la mer ignée interne sur la croûte extérieure du globe. Étude sur les dénivellations séculaires des terrains superficiels. In-8, 142 p. (10837).

— Tableau géologique. Classification et définition minéralogique et paléontologique des terrains qui composent la portion connue de l'écorce solide du globe terrestre. Grand tableau en 4 feuilles, texte et nombreuses figures (pouvant servir de traité de géologie).

BULLETIN de la société de l'industrie minérale. T. I, 1855-1856. In-8, 706 p. (9700).

DAUBRÉE. La chaleur intérieure du globe, son origine, ses effets. In-18, 52 p. (10404).

DELBOS et KOECHLIN-SCHLUMBERGER. Description géologique et minéralogique du Haut-Rhin. T. I. In-8, XXIII-484 p. (10150).

DELESSE. Carte hydrologique du département de la Seine. 4 feuilles

imprimées en couleur à l'imprimerie impériale, échelle du 25.000e. Librairie Savy.

DELESSE. Carte agronomique des environs de Paris. 2 feuilles grand aigle imprimées en couleur. Librairie militaire de Dumaine.

DELESSE ET DE LAPPARENT. Revue de géologie. T. IV.

DELFORTRIE. Notice géologique sur le canton de Monségur. In-8, 7 p. (11066).

LEYMERIE. Esquisse géognostique de la vallée d'Aspe. In-8, 24 p. (9562).

— Cours de minéralogie (histoire naturelle). 2e édition, 1re partie. In-8, XVI-359 p. (10496).

LOMBES (Jacques). Études géologiques sur l'ancienneté de l'homme et sur sa coexistence avec divers animaux d'espèces éteintes ou émigrées dans les vallées du Lot et de ses affluents, la Thèze, la Lemance et la Lède (département de Lot-et-Garonne). In-8, 44 p. et pl. (9097).

OGÉRIEN (le frère). Terrain tertiaire dans le Jura. In-8, 72 p. avec figures (15076).

OMALIUS D'HALLOY (J. J. D'). Abrégé de géologie. 7e édition, 1862. 1 fort vol. in-8, de 625 pages, avec pl. et fig. dans le texte.

PASCAL. Fabrication de l'acier fondu chez M. Krupp à Essen (en Prusse). In-8, 7 p. (12626).

SIMONIN. Le mineur de Californie. In-18, 50 p. (10782).

— La vie souterraine, ou les mines et les mineurs. Ouvrage illustré de 160 gravures sur bois, de 30 cartes tirées en couleur et de 10 pl. imprimées en chromo-lithographie. Gr. in-8, IV-608 p. (13354).

TERQUEM. 6e mémoire sur les foraminifères du lias des départements de l'Indre et de la Moselle. In-8, 81 p. et 4 pl. (10090).

VATHAIRE (DE). Études sur les hauts fourneaux et la métallurgie de la fonte. In-8, XI-236 p. 26 pl. (13141).

VÉSIAN. Prodrome de géologie. T. III. In-8, 728 p. (10795).

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

BÉLANGER. Traité de la dynamique des systèmes matériels. In-8, LIV-504 p. et 5 pl. (13432).

BLAVIER. Nouveau traité de télégraphie électrique. Cours théorique et pratique à l'usage des fonctionnaires de l'administration des lignes télégraphiques, des ingénieurs, constructeurs, inventeurs, etc. 2e fascicule. In-8, 483 p. avec figures dans le texte. (10593).

BRESSE. Cours de mécanique appliquée professé à l'École impériale des ponts et chaussées. 2e édition, 1re partie. Résistance des matériaux et stabilité des constructions. In-8, XXVIII-536 p. (11990).

DELAUNAY. Cours élémentaire de mécanique théorique et appliquée. 6e édition. In-18 jésus, 720 p. (11550).

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, du commerce et des travaux publics. T. LIV. In-4 à 2 col., 455 p., 48 pl. (11554).

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, du commerce et des travaux publics. T. LIII. In-4 à 2 colonnes, 426 p. et 52 pl. (9490).

LACOLONGE (DE). Recherches théoriques et expérimentales sur le moteur à pression d'eau de M. F. E. Perret, ingénieur civil. In-8, 48 p. et 1 pl. (11109).

NEUSTADT. De l'emploi de l'eau comme moyen de transmission de force dans les docks commerciaux et les arsenaux. In-8, 30 p., 2 pl. (13818).

REYNARD. Leçons sur les lois et les effets du mouvement. In-8, 158 p. et 2 pl. (8250).

SAGEBIEN. Expériences sur la roue hydraulique Sagebien, précédées d'un exposé du principe de ce nouveau moteur à aubes immergentes et à niveau maintenu dans les aubes. In-8, 48 p. et 1 pl. (8054).

SAINT-GUILHEM. Mémoire sur la rotation d'un corps solide pesant autour d'un point fixe à la surface de la terre, en tenant compte du mouvement diurne. In-8, 15 p. (13109).

5e *Constructions de chemins de fer.*

Album pratique de l'art industriel et des beaux-arts. Recueils d'ornements et d'accessoires décoratifs, avec prix de revient par pièce, par mètre carré et par mètre courant, à l'usage des architectes, ingénieurs, fondeurs, serruriers d'art, etc.; dirigé par C. A. Oppermann, ancien ingénieur des ponts et chaussées. 2e édition. Années 1858 à 1861. In-folio à 2 col., 400 p. T. II, III, IV et V (13393).

BEAUDET. Incrustations des chaudières à vapeur et moyens de les prévenir. In-8, 11 p. (12475).

EBRAY. Mémoire sur l'utilité d'étudier la direction des filons dans la construction des tunnels et des réservoirs. In-8, 5 p. et carte (7944).

LOUBAT. Constructions économiques des chemins de fer d'intérêt local. In-8, 43 p. et 1 pl. (10019).

PERDONNET et POLONCEAU. Nouveau portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer. Texte, documents, légende explicative des planches. (12857).

6° *Sujets divers.*

AMAIL. Manuel des alliages d'or et d'argent. Des ors de couleurs et de leurs soudures, de la fonte d'or et d'argent, de la mise en couleur pour le bijou d'or. Ouvrage utile aux fabricants, aux marchands, etc. In-8, 152 p. (9880).

Annuaire de l'économie politique et de la statistique; par MM. Guillaumin, Joseph Garnier, M. Block, etc. 1866, 23e année. In-18, 560 p. (7881).

ARNOUX. La lettre électrique. Nouveau service télégraphique. Le télégraphe électrique rendu populaire : 1° par l'extension donnée aux dépêches; 2° par l'abaissement des tarifs; 3° par des moyens nouveaux permettant l'augmentation des transmissions. In-8, XIX-110 p. et 7 pl. (15171).

AUVRAY. Exposition des Beaux-Arts. Salon de 1866. In-8, 128 p. (11260).

Barre (de la) ou mascaret de la Seine maritime. Mémoire imprimé par ordre du congrès scientifique de France, siégeant à Rouen, XXXIIe session. In-8, 32 p. (10580).

BATAILLE. Du rôle et de l'importance de l'imitation dans les arts. In-12, 55 p. (7891).

BESNARD. Éclairage d'usines, fonderies, grands ateliers, chantiers de construction, etc., par l'huile de goudron de houille (système Donny), précédé de notices sur l'origine de l'éclairage minéral par le gaz et les hydrocarbures de schistes et de pétrole. In-8, 38 p. (11040).

BRÉVIÈRE. Quels sont les meilleurs moyens à employer pour associer les beaux-arts à l'industrie? Séance générale du 4 août 1865 du congrès scientifique de France. In-8, 16 p. (10599).

BRUCKE. Des couleurs au point de vue physique, physiologique, artistique et industriel, avec 46 figures intercalées dans le texte. In-18 jésus, 350 p. (11521).

BRYE (DE). Essai pratique, aperçu physiologique et économique sur les prairies dans la demi-montagne. In-18 jésus, 107 p. (11275).

CHACORNAC. Notice sur la constitution physique du soleil. In-8, 39 p. (7915).

CHAILLOT. Manuel de l'agriculteur du midi de la France et de l'Algérie, petite maison rustique méridionale. 4e édition entièrement revue et considérablement augmentée, ornée de figures. In-32, 333 p. (10851).

COULON. Menuiserie descriptive. Nouveau Vignole des menuisiers. Ouvrage théorique et pratique, utile aux ouvriers, maîtres et entrepreneurs; composé des éléments de la géométrie descriptive, des règles des cinq ordres d'architecture, etc.; contenant 84 pl. dessinées et gravées en taille-douce par l'auteur pour plus de précision dans le trait. Nouvelle édition revue et corrigée par l'auteur. In-4, 291 p. (9930).

DANTON. Géogénie, Étude sur l'origine et la formation de la terre. In-8, 40 p. (8644).

DARCEL. L'art architectural en France depuis François Ier jusqu'à Louis XVI, motifs de décoration intérieure et extérieure dessinés d'après les modèles exécutés et inédits des principales époques de la renaissance; comprenant lambris, plafond, voûtes, cheminées, portes, etc. T. II. Gr. in-4, 90 p. et 100 pl.; 2 vol. (12014).

DAUBRÉE. Expériences synthétiques relatives aux météorites. Rapprochements auxquels ces expériences conduisent tant pour la formation de ces corps planétaires que pour celle du globe terrestre. In-8, 27 p. (11301).

DELAGARDE. Les engrais perdus dans les campagnes (2 milliards par an). Comment on les recueille et comment on les emploie. 2e édition. In-12, 180 p. (15716).

DENAYROUSE. Note sur l'appareil plongeur Rouquayrol-Denayrouse et sur son emploi dans la marine et dans les travaux sous-marins, accompagnée de plusieurs figures gravées sur bois. 2e édition entièrement refondue. In-8, 92 p. (9936).

DOLLFUS-AUSSET. Matériaux pour l'étude des glaciers. T. VI. Glaciers en activité dans les Alpes. 2e partie. Gr. in-8, 476 p. (8656).

DUHAMEL. Des méthodes dans les sciences de raisonnement. In-8, XIV-450, 2e partie (10415).

— Des méthodes dans les sciences de raisonnement. 2e partie. In-8, XIV-458 (10884).

DUMAS. Enquête sur les engrais. Rapport à l'empereur. Projet de loi. Résumé des dispositions. Rapport adressé au nom de la commission des engrais à Son Excellence M. le ministre de l'agricul-

ture et du commerce. Précédé d'une étude sur les causes de l'épuisement du sol et des conditions de durée de sa fertilité. In-16, 256 p. (13734).

FIGUIER. L'année scientifique et industrielle, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions. 1re année 1856 et 5e année 1860. 2 vol. in-18 jésus, VIII-1041 p. (10174).

GARLANDA. Étude sur le projet de desséchement et d'irrigation de la vallée du Né inférieur. In-8, XI-103 p. et carte (7959).

GODREUIL. Mémoire sur les inondations des fleuves et rivières, mais spécialement de la Loire et de ses affluents. Moyen infaillible de combattre les inondations. In-4, 14 p. (12297).

GUICHARD. De l'ameublement et de la décoration intérieure de nos appartements. Conférence faite à l'Union centrale des beaux-arts appliqués à l'industrie, le 15 juin 1866. In-8, 45 p. (10185).

HENRIECK. Du tabac. Son histoire, sa culture, sa fabrication, son commerce, ses propriétés médicinales et toxiques, son influence sur l'homme, moyen d'en user selon son tempérament, d'en retirer la plus grande somme de bien-être et de jouissance et d'éviter les maux qui résultent de son abus. Gr. in-18, 155 p. (7974).

HOLLEN. Traité d'artillerie et cuirasses. 2e et 3e livraisons, avec figures et illustrations. In-8, 1054 p. (11339).

Inondations (des), de leurs causes et de leurs remèdes. In-8, 32 p. (12573).

KUHLMANN. Instruction pratique sur l'application des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres, à la peinture, à l'impression et aux apprêts. In-8, 36 p. (11353).

LA BLANCHÈRE (DE). Industrie des eaux. Culture des plages maritimes, pêche, élevage, multiplication des crevettes, homards, langoustes, crabes, huîtres, moules, mollusques divers. Illustré de 70 bois d'après nature. In-16, VIII-280 p. (8475).

LALLEAU (DE) et JOUSSELIN. Traité de l'expropriation pour cause d'utilité publique. 6e édition annotée de la jurisprudence depuis 1858 jusqu'à ce jour. 2 vol. in-8, XV-1189 p. (9553).

LAVÉDAN. Guide pratique de serrurerie usuelle et artistique, contenant 470 pl. avec explications, divisé en 6 parties, à l'usage des ouvriers, des chefs d'ateliers et des architectes. In-4, pl. 1 à 325 (12329).

LEGRAS. Considérations générales sur la mer Méditerranée. Résumé des vents, courants et routes de cette mer; choix d'extraits de documents nautiques empruntés à différents auteurs. In-8, V-243 p. (10699).

LENTILHAC (DE). Précis d'agriculture théorique et pratique ou du service cultural des fermes en Périgord, avec une carte géologique de la Dordogne d'après Élie de Beaumont, et un aperçu historique de l'agriculture départementale. In-8, IV-331 p. (13543).

LEPLAY. La réforme sociale en France, déduite de l'observation comparée des peuples européens. 2e édition revue et corrigée. 2 vol. in-18 jésus, 1085 p. (10493).

MAIGNE. Manuels-Roret. Nouveau manuel complet de sauvetage dans les incendies, les puits, les fosses d'aisances, les caves à vin, les caves, les mines, etc., les accidents en rivières et les naufrages maritimes, ainsi que l'indication des soins à donner aux asphyxiés, la description des appareils : cloches, scaphandres, etc.; et des notions sur les plus récents systèmes inventés pour le relevage des navires naufragés. In-18, II-270 p. (10021).

MANÈS. Des eaux publiques en général et de celles de Bordeaux en particulier. In-8, 104 p. (12097).

MARTIN DE BRETTES. Le fusil à aiguille. In-8, 15 p. et 1 pl. (10029).

MENAULT. Les insectes considérés comme nuisibles à l'agriculture. Moyens de les combattre. Grand in-18. VIII-275 p. (8011).

MORIN. Note sur les appareils de chauffage. In-8, 31 p. et 1 pl. (11392).

MORIN. Note sur les cheminées ventilatrices. In-8, 23 p. (11393).

PERCEMENT de l'Isthme de Suez. Actes constitutifs de la compagnie universelle du canal de Suez, avec cartes et plans. Documents publiés par Ferdinand de Lesseps au nom du conseil d'administration. 6e série. In-8, 148 p. (9223).

POUCIN. Mémoires sur les procédés de boisement qui doivent être suivis en Sologne. In-8, 111 p. (8272).

POURIAU. Manuel du chimiste-agriculteur. In-18 jésus, XI-460 p. (8273).

PROGRAMMES officiels de l'enseignement secondaire spécial, avec les documents officiels qui s'y rapportent. Nouvelle édition in-12, 223 p. (8531).

RAILLARD. Du transport des marchandises par les voies navigables. In-8, 18 p. (9242).

ROGER ET SOREL. Codes et lois usuelles classées par ordre alphabétiques. 2e édition contenant la législation jusqu'à 1867, collationnée sur les textes officiels présentant, en note sous chaque article des Codes, ses différentes modifications, la corrélation des articles entre eux, la concordance avec le droit romain, l'ancienne législation française et les lois nouvelles; précédée de la constitution de l'empire français et accompagnée d'une table

chronologique et d'une table générale des matières. Grand in-8, XXX-1084 p. (12399).

ROSELEUR. Manipulations hydroplastiques. Guide pratique du doreur, de l'argenteur et du galvanoplaste, avec plus de 200 figures dans le texte. 2e édition entièrement refondue et mise au niveau actuel des connaissances électro-chimiques. In-8, 511 p. (10763).

ROUX. Conservation des plaques des navires cuirassés et des coques en fer, par l'application directe d'un doublage en cuivre. In-8, 67 p. et 2 pl. (15108).

SALLES. Les irrigations dans le Milanais et dans le département de la Haute-Garonne. In-8, 12 p. (15112).

SIMONIN. La grande industrie française. L'usine du Creuzot. In-8, 31 p. (9257).

SORET. Nouveau traité théorique et pratique sur la fabrication des étoffes de nouveauté, divisé en trois parties. Exposé complet de toutes les opérations en général depuis le conditionnement des laines jusqu'au drap rendu en magasin. Ouvrage contenant sept cents tissus, unis et façonnés, classés par séries graduées, tous justifiés par une référence d'échantillons, avec leur désignation de montage pour trois qualités différentes, fin, intermédiaire et ordinaire. Suivi d'un extrait des grandes usines de France. In-folio, IV-285 p. et portrait de Jacquart (12414).

SOULIÉ. Des voyages en chemin de fer envisagés au point de vue de leur action sur l'organisme et sur certaines prédispositions morbides. Mémoire lu au congrès médical de Bordeaux. In-8, 44 p. (9408).

TAINE. Philosophie de l'art en Italie. Leçons professées à l'École des Beaux-Arts. In-18 jésus, 188 p. (11929).

TELLIER. L'ammoniaque dans l'industrie. In-8, 421 p. avec figures dans le texte et 11 pl. (9855).

VIGO-ROUSSILLON. Puissance militaire des États-Unis d'Amérique, d'après la guerre de la Sécession 1861-1865. In-8, XIV-467 p. et 4 pl. (9283).

OUVRAGES ALLEMANDS.

GAETZSCHMANN (Mor. Ferd.). *Vollständige Anleitung zur Bergbaukunst...* Étude complète de l'exploitation des mines; recherche des gisements des minerais utiles, avec 146 gravures sur bois. Leipzig. 2e édition.

STEINHAUS (C. F.). *Der Eisenschiffbau. Mit besoudere bezichung den Bau der Danspactriffe...* Construction des navires en fer et particulièrement des bâtiments à vapeur. Hambourg, 1867.

KERPELY (A. K.). *Bericht uber die Fortschritte der Eisenhütten-Technik im j.* 1864... Compte rendu des progrès techniques des forges pendant l'année 1864, avec additions contenant les progrès des autres industries métallurgiques, avec 9 tableaux lithographiés. Leipzig.

Jahresbericht uber die Fortschritte auf das Gesammteyebiete der Agriculturchemie... Compte rendu annuel des progrès de la chimie agricole; par Robert Hoffmann, ouvrage continué par Ed. Peters, 8e année 1865. Berlin, 1867.

KNÖTEL (A.). *Der Niger der Alten und andere wichtige Fragen...* Le Niger des anciens et autres questions importantes de la géographie ancienne de l'Afrique, avec 1 carte en chromo (le nord-ouest de l'Afrique exposée d'après Ptolémée). Glogau.

WAGNER, prof. doct. (Joh. Rud.). *Die Metale und ihre Verarbeitung. Brennmaterialien, Heitzung u Feuerung...* Des métaux et de leur fabrication. Combustibles. Chauffage. 2e édition augmentée et corrigée, avec 241 gravures sur bois. Leipzig.

BAUHN'S (C.). *Resultate aus den meteorologischen Beobachtungen angestellt an mehreren Orten...* Résultats des observations météorologiques faites dans plusieurs stations du royaume de Saxe depuis l'année 1828 jusqu'à 1863, et dans 22 stations royales pendant l'année 1864; 1er annuaire. Leipzig.

KENNGOTT (Adolphe). *Die minerale der Schweitz nach ihren Eigenschaften und Fundorten ausführlich beschrieben...* Les minéraux de la Suisse; description de leurs caractères et de leurs gisements. Leipzig.

ZIRKEL (Ferd.). *Lehrbuch der Petrographie...* Manuel pour l'étude des roches. 1 vol. Bonn.

SONKLAR EDLER V. INNSTADTEN. *Die Gebiergs gruppe der Hohen. Tauern m. besonder Rücksicht auf Orographie, Gletscheskunde,*

Geologie und Meteorologie... Le groupe des montagnes de Tauern considérées particulièrement sous le rapport de l'orographie, de l'étude des glaciers, de la géologie et de la météorologie. Vienne.

TSCHUDI (Joh. Jak.). *Reisen durch Südamerika. Mit zahlreichen abbildungen in Holzschnit*... Voyage à travers l'Amérique du Sud, avec nombreuses gravures sur bois et cartes lithographiées. 1 vol. Leipzig.

STIELTJES (T. J.). *Denkschrift üb. einen Kanal zur Verbindung der Nordsee mit der Ostsee*... Mémoire sur un canal destiné à relier la mer du Nord et la mer Baltique, avec 4 cartes et plans. Haag.

Zeitschrift Schweizerische polytechnische... Recueil périodique et polytechnique de la Suisse, édité par Bolley et J. H. Kronauer. 11 vol., année 1866. Winterthur.

Berichte, forstliche, mit kritik über die neueste forstliche Literatur. Hrsg. von eine Vereine prakt. Forstmänner... Comptes rendus forestiers, avec une critique des travaux forestiers les plus récents, rédigés par une société de forestiers. Nouvelle édition, 14e année, 4 feuilles. Leipzig.

FRAAS (Karl). *Die Ackerbaukrisen und ihre Heilmittel. Ein Beitrag zur Wirtschafts politik der Ackerbauschutzes*... Sur la crise de l'agriculture et sur les moyens d'y remédier. Documents sur l'économie rurale et sur les assurances agricoles. Leipzig.

FISCHER-BENSON, doct. *Ueber des relative Alter des Faxekalkes und ueber die in demselben vorkommenden Anomuren und Brachyuren. Nach eigenen Beobachtungen zusammengestellt. Mit* 5 *lith. Taf. Kiel*... Sur l'âge de la craie de Faxoe et sur les anomures et brachyures qu'elle renferme; d'après des observations personnelles.

Vierteljahrschrift für Volkswirtschaft und Kultur geschichte... Journal trimestriel pour les cultivateurs et pour tout ce qui concerne l'agriculture; rédigé par Jules Fauché et Otto; 4e année, 1866. 4 vol. Berlin.

Zeichnungen von Vasserbauten, Wehren und dergleichen... Dessins relatifs aux constructions hydrauliques, les écluses et travaux analogues, édités par les élèves de l'École polytechnique de Hanovre; 15 tableaux sur pierre, gr. in-fol. Hanovre.

D'EICHWALD. *Lethaea rossica* ou paléontologie de la Russie, décrite et figurée. 9 livr. gr. in-8 (vol. II, période moyenne) avec 5 pl. sur pierre. Stuttgart.

ENGEL (Frédéric). *Handbuch des landwirthschaftlichen Bauwesens mit Einschluss der Gebaüde für landwirthschaflichen Zwecke*...

Manuel de l'architecture rurale y compris les constructions des bâtiments agricoles, avec 500 gravures sur bois et 30 tableaux lithographiés. Leipzig.

NAUMANN (Charles-Frédéric). *Lehrbuch der Geognosie*... Manuel de Géognosie. 2e édition améliorée et augmentée; 3 vol. Leipzig.

BARKOW (Hans-Carl-Leop). *Comparative Morphologie der Menschen und der Menschenähnlichen Thiere. Die Blutgefösse vorzüglich die Schlagadern der Säugethiere in ihren wesentlichen Verschiedenheiten*... Morphologie comparative de l'homme et des animaux les plus rapprochés de l'homme. Système veineux, particulièrement les veines des mammifères dans leurs variétés les plus essentielles, avec 46 tableaux lithographiés et coloriés, gr. in-folio. Breslau.

Historico-naturalis, Physico-Chemica et Mathemica oder Systematisch geordnete Uebersicht der in Deutschland und dem Auslande... Historico-naturalis, physico-chemica et mathematica, ou catalogue arrangé systématiquement comprenant des livres nouvellement publiés en Allemagne et à l'étranger dans les sciences naturelles et mathématiques, rédigé par Zuchold (Ernest-A.). 16e année 1866; 1 livraison depuis janvier jusqu'à juin. Grand in-8, 121 p. Ebd.

Mechanico-technologica et œconomica oder Systematisch geordnete Uebersicht aller der auf dem Gebiete der mechanische und technologische Künste... Mechanica-technologica et œconomica, ou catalogue arrangé systématiquement de tous les livres qui ont paru nouvellement en Allemagne et à l'étranger, qui traitent de mécanique technologique, des fabriques, des manufactures, des métiers, etc., comme aussi des sciences concernant l'agriculture, l'exploitation des mines, l'art du forestier et la chasse, rédigée par le bibliothécaire, Dr. W. Wüldemer. 5e année 1866. Une livraison depuis janvier jusqu'à juin. Grand in-8, 69 p. Ebd.

KLINGGRAFF (Dr. C. J. v.). *Die Vegetations verhältnisse der Provinz Preussen und Verzeichniss der in derselben bisher gefundenem Phanerogamen*... Les rapports de la végétation dans la proviuce de Prusse et énumération des phanérogames qui y ont été rencontrés jusqu'à présent. 2e appendice à la flore de la province de Prusse. In-8. Marienwerder.

KUGLER (Frz). *Geschichte der Baukunst*... Histoire de l'architecture par Jac. Buckardt et W. Lübke, avec gravures sur bois. Stuttgart.

LANGKAVEL (Dr. Bernh). *Botanik der spaeteren Griechen vom 3 bis*

13 *Jahrh*... Botanique des Grecs, depuis le IIIe jusqu'au XIIIe siècle. Grand in-8. Berlin.

Sammlung von Hochbauten der Grossh. Eisenbahn enthaltend Bahnhöfe... Collection des constructions de chemins de fer du Grand-Duché de Bade contenant les embarcadères, les stations, etc.; vues, coupes et plans, par F. Eisenlohr et autres. 2e partie. Grand in-folio (vingt lithographies sur pierre). Carlsruhe.

SCHNEIDER (Prof. Dr. J.). *Experimental-Untersuchungen über Tonschwingungen durch Warme*... Recherches expérimentales sur les vibrations du son sous l'influence de la chaleur. In-4, 10 p. avec 1 tabl. Dusseldorf.

SCHOEN (Joh). *Der Tunnelbau-Vorlesungen über Tunnel-Bau gehalten am K. K. polytechnischen Institute in Wien*... Leçons sur la construction des tunels faites à l'institut de Vienne, avec 300 fig. sur 14 tableaux autographiés. Vienne.

ELSNER (J. G.). *Die Fortschritte der deutschen Landwirthschaft vom letzten Jahrzehnt divorigen Jahrhunder an bis auf unsere Zeit*... Des progrès de l'agriculture en Allemagne depuis la fin du siècle dernier jusqu'à nos jours. Grand in-8. Stuttgard.

GRAF (Adf.). *Atlas d. Himmels und der Erde fur Schule und Haus*... Atlas du ciel et de la terre à l'usage des écoles composé de 41 cartes. Grand in-folio. Weimar.

JORDAN (Ing. W.). *Die Trigonometrische Höhenmersung und die Ausgleichung ihrer Resultate nach den Grundsätzun der Wahscheinlichkeitsrechnung an einen Ausgeführten Höhennetz dargestellt*... Mesure trigonométrique des hauteurs et recherche de leurs résultats d'après des principes du calcul de probabilités, avec gravures sur bois.

Journal für Landwirthschaft. (Organ der landwirt. Versuchstation Weende.) Im Auftrage d. Centralausschusses... Journal de l'agriculture (organe des recherches faites à la station agricole de Weende). Sous le patronage du comité central et royal de la Société d'agriculture de Hanovre et avec la collaboration de l'Académie d'agriculture de Gœttingue-Weende, rédigé par MM. Henneberg, Wicheu et Mitboff. Nouvelle édition. Grand in-8. Gœttingue.

PERELS (Émile). *Handbuch zur Anlage und Konstruktion landwirthschaftlicher Maschinen*... Manuel de la construction des machines et ustensiles agricoles, destiné aux fabricants des machines, aux constructeurs et à ceux qui se consacrent à l'étude de la mécanique. Iena.

Repertorium für physikalische Technik, für mathematische... Répertoire de technologie physique pour l'étude des instruments mathématiques et astronomiques. Munchen.

Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zurich... Journal trimestriel de la Société des naturalistes à Zurich, rédigé par Wolf. 11e année, 1866. Gr. in-8. Zurich.

Zeitschrift für analytische Chemie... Journal pour la chimie analytique, rédigé par le professeur docteur Remigius Fresenius. 5e année, 1866. Wiesbaden.

SUCKOW. *Tabelle über die mineralische Kristalformen*... Tableau des formes cristallines des minéraux. 2e édition revue et corrigée. Iena.

ANDRA. *Vorwetliche pflanzen aus dem Steinkohlen Gebirge der preussichen Rheinlande und Westphalens*... Plantes trouvées dans le terrain houiller des provinces rhénanes prussiennes et de la Westphalie. 2 livraisons avec 5 tableaux lithographiés. Bonn.

BISCHOF (Gustave). *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie*... Éléments de la géologie chimique et physique. 2e édition, refondue, résumée et corrigée. 3 vol. Bonn.

BISCHOFF. *Wie spart man Gas? Anweisung für Caz-Consumenten, möglichst viel Gas zu sparen nebst belehrung über Enrichtung und betrieb von Steinkohlen-gas Werken*... Comment économise-t-on le gaz? Indication pour les consommateurs du gaz leur permettant de l'économiser le plus possible, avec règles pour l'établissement des usines destinées à fabriquer le gaz au moyen de la houille, avec 38 gravures sur 4 planches. Berlin.

BRAUNS (doct.) *Nachtrag zu der Stratigraphie und Paleontographie des sud-œstlichen Theiles der Hilsmulde*... Supplément à la stratigraphie et la paléontographie de la partie sud-est du bassin du Hils, avec 1 planche lithographiée. Cassel.

BREITHAUPT (Auguste). *Mineralogische Studien. (Abdruck aus der Berg und Hutten männische Zeitung.)*... Études minéralogiques. (Réimpression du Journal des mineurs.) Avec gravures sur bois. Leipzig.

OUVRAGES ANGLAIS.

BACLEY, MATTHEW et HART. *Observation on the geologie*... Observations géologiques faites pendant l'été de l'année 1864 dans le sud du Nouveau-Brunswick.

BATEMAN. *Monographie of Odontoglossum...*

BOWEN. *Coal and coal Oil...* Le charbon et l'huile qui en est extraite, ou la géologie de la terre.

EGLOFFSTEIN. *Geology...* Géologie et géographie physique de Mexico. — *Geological survey of Canada...* Relation de ses progrès depuis son origine jusqu'à l'année 1863.

KING. *Natural history...* Histoire naturelle des pierres précieuses et des métaux précieux.

RAMSAY. *Physical geology...* Géologie et géographie physique de la Grande-Bretagne.

WHITE. *Geology...* Géologie, huiles minérales et minéraux de l'ouest du Canada.

WRIGHT. *The oil regions...* Régions de la Pensylvanie dans lesquelles se trouvent les huiles minérales.

W. R. GROVE. *The correlation of physical forces...* Corrélation des forces physiques. 5e édition revue et augmentée.

J. A. GALBRAITH. *Manual of algebra...* Manuel d'algèbre. 3e édition revue et complétée.

JOHN HUNTER. *Modern arithmetic...* Traité d'arithmétique moderne, contenant de nombreuses améliorations pour la préparation des candidats aux examens publics.

SCHLAGINTWEIT (Hermann). *Results of a scientific mission to India and High Asia, undertaken between the years 1854 and 1858, with an atlas.* Vol. IV. Leipzig. Résultats d'une mission scientifique dans l'Inde et dans la haute Asie, pendant les années 1854 et 1858.

OUVRAGES LATINS.

GIEBEL, prof. (C). *Petrefacta Germaniæ tam ea quæ in museo Universitatis regiæ borussicæ Fredericiæ-Wilhelmiæ Rhenanæ servantur quam alia quæcumque in museis Hæninghusiano, Muensteriano aliisque extrant iconibus et descriptionibus illustrata...* Des fossiles de l'Allemagne qui se trouvent dans l'Université royale Rhénane et dans les musées d'Hœnighausen et de Munster. Leipzig.

WIMMER (Dr. Frd). *Salices Europaeae.* Grand in-8. Breslau. Les saules de l'Europe.

ANNALES DES MINES.

RAPPORT

A SON EXC. M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS,

SUR

L'ASSAINISSEMENT INDUSTRIEL ET MUNICIPAL EN FRANCE.

Par M. CHARLES DE FREYCINET, ingénieur des mines.

(SUITE.)

III. INFECTION DES ATMOSPHÈRES LIMITÉES.

Dans les espaces clos ou privés d'une suffisante communication avec le dehors, l'atmosphère est susceptible de s'altérer après un temps plus ou moins long, soit par la lente absorption de l'oxygène soit par la production de gaz délétères ou irrespirables. Ces deux causes d'infection n'ont pas été distinguées pratiquement en France (*). Les

(*) Il y a des cas où cette distinction peut avoir de l'importance. La question s'est posée récemment, d'une manière assez curieuse, dans le département de la Sarthe, à l'occasion des dangers du rouissage du chanvre. Il s'agissait de savoir si la mortalité des poissons observée dans plusieurs cours d'eau tenait à ce que les eaux renfermaient des principes délétères, ou simplement à ce que l'air respirable en dissolution, c'est-à-dire l'*atmosphère limitée* du poisson, avait été privée d'oxygène par la combustion lente des matières organiques ; en d'autres termes, on se demandait si les pois-

moyens employés paraissent avoir toujours eu pour but de les combattre indifféremment, sans s'attacher spécialement à l'une d'elles. Encore même, convient-il d'ajouter que dans des cas très-importants, ces moyens sont à peu près nuls.

Les effets dont nous parlons sont surtout observables dans certaines catégories de lieux que nous allons examiner. Nous laisserons naturellement de côté les faits qui n'ont pas un suffisant caractère de généralité.

Galeries d'égout. — Les gaz développés dans les égouts présentent d'autant plus de dangers pour les ouvriers que les fabriques y déchargent habituellement leurs résidus liquides, ce qui fournit l'occasion de réactions violentes et instantanées contre lesquelles on n'est pas toujours suffisamment prévenu. Dans quelques villes, les matières fécales vont normalement aux égouts. Dans celles où cette pratique est interdite, il est rare qu'un certain nombre de maisons ne soit pas en communication clandestine avec eux. Ces divers éléments d'émanations putrides ont d'autant plus de facilité à se développer que les maisons et les rues sont rarement pourvues d'une distribution d'eau abondante. Aussi, dans la plupart des villes de province, les odeurs qu'exhalent ces conduits souterrains sont vraiment insupportables (*).

sons périssaient par empoisonnement ou par asphyxie. Il est clair, que dans le premier cas, on était en droit de redouter de pareils dangers pour la santé des hommes ou du bétail, tandis que, dans le second cas, on ne pouvait rien conclure concernant les êtres vivant hors des eaux infectées. Ce débat a eu un certain retentissement dans la contrée dont nous parlons et y a divisé les hommes spéciaux. On ne paraissait pas encore être tombé d'accord, lors de notre passage au Mans.

(*) A Paris même, ils n'en sont pas exempts, au moins dans les parties non restaurées, témoin les deux accidents survenus presque coup sur coup, dans les égouts de Clichy, et qui dénotent un rare degré de concentration des gaz méphitiques. On lisait, l'année dernière, dans les journaux : « Quatre égoutiers, parmi lesquels

Une autre cause de dangers d'une nature toute spéciale, qui peut se présenter dans les galeries dont la maçonnerie est mal entretenue, cas malheureusement trop fréquent, consiste dans la présence du gaz de l'éclairage, provenant des conduites enterrées dans le sol. Ce gaz trouvant une issue à travers les interstices des parois se rassemble en quantité considérable dans les égouts peu ventilés et forme des mélanges explosibles, qui occasionnent parfois de terribles accidents (*). L'assainissement de ces voies souter-

« se trouvaient un piqueur et un chef d'équipe, étaient descendus « il y a quelques jours, dans l'égout de la rue Marthe à Clichy, si- « tué en face du couvent des sœurs de la charité. Parvenus près de « la grille par laquelle arrivent les eaux et les détritus des cuisines, « de la buanderie, de la vacherie et de la porcherie du couvent, ils « se mirent à tirer le rabot, pour amener les matières sous la trappe « afin de les extraire.

« En ce moment, s'élevèrent des miasmes tellement infects, que « les deux égoutiers qui se trouvaient en avant, tombèrent sans « connaissance. Le piqueur et le chef d'équipe les amenèrent sous « le regard voisin et jetèrent des cris de détresse ; un instant après « ils étaient eux-mêmes suffoqués.

« .... L'intensité du gaz hydrosulfuré était si forte, que les pièces « d'argent contenues dans leurs porte-monnaies étaient devenues « complétement noires.

« M. Gallet, inspecteur des égouts de la ville de Paris et de la ban- « lieue, s'est rendu sur les lieux, et a fait suspendre les travaux, « jusqu'à ce qu'on ait donné de l'eau aux égouts de Clichy, qui en « manquent pour la plupart; ce qui laisse séjourner les détritus, et « occasionne l'infection. Un événement semblable a déjà eu lieu dans « l'égout de la rue de Paris, le 13 octobre 1864 et a failli causer les « plus grands malheurs. (*Journal des débats*, du 15 juin 1865.) »

(*) Une des plus fortes explosions survenues dans ces derniers temps, est celle qui, le 2 février 1863, détruisit à Dunkerque l'égout qui parcourt l'enfilade des rues de la Couronne, de Bourgogne, du Pied-de-vache et partie de la rue Saint-Jean. Cet égout ayant été restauré dans toute son étendue, depuis quelques semaines, les matières explosibles qui avaient pu s'y développer naturellement ne devaient pas être très-considérables. D'un autre côté, l'existence de plusieurs fuites du gaz de l'éclairage, d'une, notamment, avait été signalée quelques jours auparavant. Le conseil de salubrité de Dunkerque, appelé dès le lendemain à donner son avis sur les causes de l'événement, pensa, d'après les circonstances qui viennent

raines est donc une question de premier ordre. Quant aux résultats déjà obtenus, ils sont encore restreints à quelques villes principales de l'Empire.

Les moyens employés jusqu'ici sont exclusivement physiques (*) : la ventilation, le lavage, et, par-dessus tout, l'ensemble des dispositions propres à assurer le prompt écoulement des matières.

Ce dernier moyen dispense des lavages méthodiques et rend la ventilation aisée; car, si les matières s'écoulent rapidement, elles dégagent peu d'odeurs putrides, et on peut dès lors maintenir une bonne atmosphère dans les galeries en multipliant les ouvertures, sans crainte d'empester les rues qui les reçoivent. C'est ce que démontre supérieurement l'exemple du nouveau drainage de Paris. Du reste, en tout ce qui touche le service souterrain, disons-le une fois pour toutes, il faut distinguer soigneusement entre Paris et les autres villes de France. A Paris donc, on s'est attaché à diriger rapidement les matières vers le fleuve. On y a réussi, par la combinaison de deux éléments principaux : la pente, et l'abondance de l'eau. Grâce à l'inclinaison qui porte le réseau entier vers la Seine, grâce à l'eau distribuée aux maisons, répandue surtout par les fontaines

d'être rapportées, que la catastrophe devait être attribuée à ce que le gaz s'était infiltré dans l'égout jusqu'à saturation et avait pris feu au contact de quelque corps en ignition, arrivé du dehors par suite de quelque imprudence.

(*) Nous n'appelons pas moyen chimique, l'emploi fait en certains cas de réactifs pour neutraliser les odeurs qui s'échappent des bouches de décharge et infectent les rues. Ce procédé a en vue la salubrité de la surface et non celle de la galerie. Dans quelques villes où l'industrie des produits chimiques offre des désinfectants à des prix exceptionnellement bas, on en jette sur certains points des égouts; par exemple : Lyon, où l'on a le sulfate de fer des usines de M. Perret; Rouen, où l'on a le chlorure acide de manganèse de M. Malétra ou de MM. Maze et Chouillou. Mais cette pratique s'est toujours exercée sur une très-petite échelle, et ne peut vraiment être considérée comme constituant un mode courant d'assainissement.

de la voie publique, un flot toujours renouvelé parcourt continuellement les égouts et emporte les immondices avant que la fermentation putride ait eu le temps de se déclarer sur une grande échelle. Aussi, a-t-on pu, impunément, laisser ouvertes toutes les bouches de décharge des rues. L'aération est déjà considérable par là; elle est complétée par de larges portes grillées qui ferment les entrées ménagées sur les quais de la Seine, ainsi que par les cheminées d'appels que chaque propriétaire est tenu de construire dans le mur de façade de sa maison et qui débouchent au-dessus du toit. Mais le service municipal n'a qu'une médiocre confiance dans cette dernière ressource. La plupart du temps, ces cheminées sont *indifférentes*, c'est-à-dire qu'elles n'aspirent ni ne refoulent; parfois même, le courant naturel se renverse, et l'air du dehors entre par les cheminées tandis que l'air du dedans s'échappe par les bouches des rues. « Pour qu'elles agissent efficacement, nous disait « M. Belgrand, il faudrait y entretenir un bec de gaz, mais « on n'a pas encore résolu le problème d'admettre le gaz, « sans danger, dans les égouts. » Quant aux tuyaux d'eaux pluviales, qui faisaient d'ailleurs double emploi avec les cheminées d'appel, on les munit de fermetures hydrauliques, pour prévenir les odeurs désagréables qu'ils enverraient aux logements pratiqués sous les combles. Bref, dans l'état actuel, ce qui assure l'aération, ce sont les bouches et les portes d'entrée; c'est aussi ce mouvement incessant du flot, qui ébranle continuellement l'atmosphère de la galerie. L'ensemble de ces causes amène un renouvellement très-actif, et il semble presque, sur certains points, qu'on ait plutôt à se garer contre l'excès de la ventilation que contre son insuffisance. Quant à l'odeur des bouches, elle provient, non point des exhalaisons de l'intérieur (*), mais

(*) Nous parlons, bien entendu, des égouts neufs, communiquant par leurs deux extrémités avec le reste du réseau, et non de ces galeries anciennes qui n'ont encore qu'une issue.

de la décomposition des débris retenus sur leurs parois. Le remède n'est donc pas dans un accroissement de salubrité des galeries mais dans une meilleure construction des bouches elles-mêmes. A cet effet, on les revêt de ciment bien uni, de façon à ce qu'aucune aspérité n'arrête plus les matières qui y passent. Ainsi, la supériorité du procédé de la ville de Paris éclate par la simplicité des moyens mis en œuvre, par la sûreté des résultats, et par l'absence de ces expédients ingénieux mais compliqués avec lesquels, dans une grande entreprise, on est toujours exposé à des mécomptes.

Nulle autre ville ne présente ce système au même degré de perfection. Lyon est peut-être celle qui s'en approche le plus. On y a cherché aussi l'assainissement des égouts au moyen d'un prompt écoulement des matières, combiné avec l'aération par les orifices naturels. Les bouches de décharge sont toutes ouvertes, sauf à jeter parfois du sulfate de fer dans quelques-unes d'entre elles. On a renoncé aux cheminées d'appel, ou, plutôt, on n'y a pas eu recours. On tend à augmenter sans cesse la distribution de l'eau, et c'est là qu'on voit la solution dernière aux imperfections qui subsistent encore. A Marseille, on est dans la même voie et les deux moyens marchent également de front. Dans la plupart des autres villes, la salubrité des galeries est plus ou moins sacrifiée. Il n'y a pas de tuyaux d'aérage le long des maisons, ou, s'il en existe, c'est à l'état d'exception. Quant aux bouches, dès qu'elles exhalent de mauvaises odeurs dans les rues, on se met en devoir de les munir de fermetures hydrauliques, au lieu de s'attaquer à la cause même de l'infection, qui est le mauvais état de l'égout. On est ainsi conduit à empirer une situation déjà mauvaise par elle-même. Il est aisé de voir que, lorsqu'on entre dans la voie irrationnelle des fermetures, on est amené à s'y engager de plus en plus pour protéger la surface : car si l'insalubrité de la galerie en provoque l'isolement, réciproquement, cet

isolement en redouble l'insalubrité, et il devient de plus en plus urgent de fermer tous les orifices. C'est ce qu'on fait, par exemple, à Toulouse : on vient d'essayer une fermeture à siphon, adaptée à la partie inférieure des bouches, et si le résultat répond à ce qu'on en attend, comme il y a tout lieu de le croire, on l'appliquera systématiquement aux divers points du réseau. Il est vrai qu'on étudie la question d'aérer par des tuyaux allant aux toits, mais nous avons vu combien cette ressource était précaire.

En réalité, la manière générale d'aérer les égouts, en province, manière tout à fait primitive, consiste à ouvrir à l'avance les trappes de regard ou puits de descente, pratiqués dans le sol et débouchant sur la voie publique, à des distances variables selon les localités, et dont on peut fixer le minimum à 50 mètres (*). On enlève, de bon matin, les plaques de fonte qui les recouvrent, et les ouvriers descendent quand on suppose que l'air est convenablement renouvelé. Cette précaution ne suffit pas toujours : il y a tels égouts, à faible pente, à profil irrégulier, où les immondices ne s'écoulent pas et où l'accumulation des matières produit une si grande puanteur, qu'on infecterait en vain la voie publique sans offrir aux ouvriers des garanties suffisantes. On aime mieux renoncer à les faire visiter. On y laisse les ordures s'amasser pendant des mois et des années. Quand l'égout est plein à refus, on le démolit en ouvrant la chaussée et on le cure à vif (**).

(*) Chiffre adopté pour Paris et Lyon.

(**) On ne fait pas autrement pour l'égout du Coureau à Montpellier, qu'on ouvre tous les trois ou quatre ans, en répandant des odeurs à rendre le quartier inhabitable. Quant à la Sorguette, à Avignon, qu'on cure dans de semblables délais, les ouvriers pénètrent dans les parties couvertes, qui ont jusqu'à deux mètres de haut. Le mode d'aération est des plus barbares : on oblige les maisons riveraines, en relation avec ce collecteur, à maintenir leurs communications ouvertes, pendant toute la durée du travail, en

Dans les villes où la configuration du terrain s'y prête, on rend la ventilation inutile, en donnant aux évacuateurs une assez forte pente, pour que la descente des matières s'y fasse d'elle-même, en tous temps. Les ouvriers n'ayant pas dès lors à y pénétrer, on adopte une petite section et l'on marche ainsi jusqu'à ce que quelque grosse réparation, nécessairement fort rare, oblige à ouvrir la rue pour atteindre à l'égout. Il y a peu de villes qui n'aient une partie de leur réseau dans ce cas.

La méthode des lavages périodiques ou des chasses d'eau, n'est mise en pratique que sur un certain nombre de points : car, elle exige un concours de circonstances, qui ne se trouvent pas souvent réunies. Au Havre, par exemple, on fait des chasses presque journalières à la marée basse, au moyen de l'eau de mer retenue à marée haute, dans les bassins du port. Quatre ou cinq prises, en des points différents, permettent de faire un large et efficace emprunt au bassin. Ce procédé, en même temps qu'il rend la présence de l'ouvrier inutile, assainit aussi l'atmosphère des égouts, qui participe au mouvement du flot. A Nîmes, les chasses sont seulement annuelles; on n'a pas d'autre ressource que la célèbre Fontaine des Romains, dont on met la crue à profit : or celle-ci, n'a lieu ordinairement qu'une fois par an (*).

Fosses et cabinets d'aisances. — Les réceptacles des matières fécales sont de plusieurs sortes. On distingue les

sorte qu'à l'intérieur des habitations règne une infection abominable, d'autant plus grande que la Sorguette reçoit les matières fécales de tout le quartier.

(*) Nous ne signalerons pas au point de vue de l'assainissement intérieur, les chasses d'eau qu'on exécute, deux fois par jour, dans le siphon qui évacue en pleine mer le grand collecteur de Marseille. Il est clair que, par sa nature, ce magnifique ouvrage est inaccessible aux ouvriers, et que ces chasses destinées à en prévenir l'obstruction, n'ont rien à voir avec la salubrité.

fosses fixes couvertes, les fosses fixes à ciel ouvert, les fosses mobiles et les puits absorbants, sans parler des égouts eux-mêmes, qui souvent communiquent directement aux latrines.

Les fosses couvertes sont les seules dont le curage puisse offrir de sérieux dangers. Comme elles constituent encore l'état normal dans l'immense majorité des villes françaises, à l'exclusion même de tout autre système, on s'est naturellement préoccupé de les assainir (*). Les moyens employés sont de deux sortes : les uns ont pour objet d'assainir la fosse d'une manière permanente, les autres seulement au moment de la vidange. Parmi les premiers, le plus répandu, quoiqu'il soit loin d'être général, consiste à munir la fosse d'une cheminée d'aérage débouchant au-dessus du toit. Mais, de même que pour les égouts, cet expédient ne produit pas tout l'effet qu'on en attendait; il arrive fréquemment que l'air du dehors descend par la cheminée, et que les gaz sont refoulés dans l'intérieur des appartements (**). Ce procédé n'a son efficacité que si la cheminée est le siége

(*) Les accidents dus aux fosses sont encore fréquents. Il n'est pas rare de rencontrer dans les journaux, des faits comme celui-ci : « Les habitants de la rue Martel, ont été mis en émoi, hier, à « minuit et demi, par une terrible explosion, dont le bruit a été « comparé à la détonation simultanée de plusieurs pièces d'artille- « rie. Le sieur R..., qui se trouvait dans les cabinets d'aisances de « la maison n° 1, avait eu la malencontreuse idée de jeter dans la « fosse une allumette enflammée. Les gaz qui y étaient amassés, « prirent feu aussitôt; toutes les dalles furent arrachées et lancées « de côté et d'autre dans la cour; toutes les vitres et glaces du voi- « sinage furent brisées.... » (*Moniteur* du 27 mars 1864.)

(**) Témoin l'accident survenu à Paris le 15 septembre 1865, et dont le *Journal des débats*, du 19, rend compte en ces termes : « Ven- « dredi, à sept heures et demie du soir, une formidable détonation « répandait l'alarme, dans le théâtre du Palais-Royal et aux envi- « rons. C'étaient les waters closets, qui venaient de faire explosion « au moment où le sieur B... sergent-major des pompiers de ser- « vice, y pénétrait une lumière à la main. Ce sous-officier fut « lancé à une certaine distance, mais n'a eu d'autre mal que quel- « ques légères contusions. Les dégâts sont peu importants.

d'une aspiration artificielle. Dans quelques fabriques on profite des moyens spéciaux qu'on a à sa disposition : par exemple, on fait communiquer la fosse avec la cheminée des appareils à vapeur, comme chez M. Wulvéryck, à Saint-Quentin ; d'autres fois on entretient dans le tuyau d'aérage une combustion lente et sans flammes, par exemple avec un feu de tourbe, chez MM. Rogelet, Houzeau et Maumené, à Reims. Mais ces expédients ne sont guère susceptibles d'application dans les maisons particulières, si ce n'est pourtant, comme on l'a fait quelquefois, en envoyant le tube de ventilation dans un coffre de cheminée (*) et surtout de cheminée de cuisine, où l'on fait du feu toute la journée. Quant à produire l'aspiration par un bec de gaz, le moyen peut être dangereux, et nous ne croyons pas qu'on l'ait essayé.

Un autre mode d'assainissement des fosses consiste à prévenir, dans une certaine mesure, la fermentation des matières, en séparant les liquides et les solides. Tel est l'objet des divers systèmes diviseurs proposés ou appliqués depuis une quinzaine d'années. Ils reposent tous sur le même principe. Les matières solides et liquides sont reçues simultanément dans un réceptacle commun, d'où la partie liquide s'écoule seule au moyen d'orifices suffisamment petits, pratiqués dans l'une des parois. Dans le système Dugleré, par exemple, qui a été installé dans quelques maisons et établissements de Paris, entre autres au Grand hôtel du Louvre, à l'Hôtel de ville, aux Halles centrales (partiellement), etc., la cloison en ciment romain, formant la séparation, a la forme d'un demi-cylindre de $0^m,40$ de diamètre et de $0^m,07$ d'épaisseur ; elle est criblée de trous de

(*) La commission des logements insalubres de Lille a rendu ce moyen obligatoire en 1864. « Toutes les fois, dit son rapporteur, « que la disposition des lieux l'a permis, la commission a prescrit « l'ouverture de ce tuyau dans une cheminée voisine, condition « qui, eu égard au tirage plus fort, constitue un des plus puissants « moyens de désinfection pour la fosse et le cabinet. »

$0^m,004$ de diamètre. Les solides restent dans le réservoir, tandis que les liquides filtrent à travers les orifices et se rendent dans un réservoir spécial, placé latéralement à un niveau un peu plus bas ou tout à fait au-dessous, suivant les localités. Chaque compartiment présente une ouverture pour la vidange et un tube de ventilation. Ce système, malgré ses avantages, ne s'est pas répandu à Paris ; il a été primé par les fosses mobiles, dont nous parlerons à l'occasion de l'infection du sol. A Lyon, au contraire, on a installé un assez grand nombre de diviseurs fixes en communication directe avec les égouts. La paroi dans laquelle sont pratiqués les orifices forme la cloison séparative de la fosse et d'un canal en maçonnerie. Ce dernier, de $1^m,50$ de haut et d'une pente minimum de $0^m,05$ par mètre, ouvre sur l'égout public. Les liquides y coulent sur le fond et gagnent le chenal de l'égout en traversant la banquette au moyen d'une petite rigole ménagée à cet effet (Pl. III, *fig.* 12 à 15).

L'amélioration de l'atmosphère des fosses, au moment de la vidange, a été poursuivie de bien des manières. Nous distinguerons les procédés chimiques et les procédés mécaniques. Les premiers sont à peu près les mêmes partout : on projette dans la fosse, quelque temps avant le curage, une certaine quantité de substances réagissantes ou absorbantes, et l'on brasse le mélange pour arriver à une destruction plus ou moins complète des émanations excrémentielles. Quant à la nature des substances, elle varie à l'infini ; les deux plus employées sont le sulfate de fer et le charbon (*). La désinfection, telle qu'elle est pratiquée le plus souvent, est fort imparfaite : le réactif est employé seul, tandis qu'il devrait toujours être associé à de la matière absorbante ; le sel métallique peut bien, en effet, détruire le carbonate et le sulfhydrate d'ammoniaque, mais

(*) On emploie aussi des sels de zinc, de plomb, de manganèse, des acides, de la chaux, des chlorures, du tan, de la tourbe, etc...

il ne saurait retenir ces odeurs complexes inhérentes à la matière animale ; en outre le temps qui sépare le moment de l'ouverture de celui de l'extraction, temps limité forcément par les convenances de l'habitation, dépasse rarement douze heures, alors que trois ou quatre jours au moins seraient nécessaires pour compléter la réaction ; enfin, le brassage est plus ou moins entravé et l'on amène difficilement toutes les parties en contact les unes des autres. Ajoutons, pour ne rien omettre, que la désinfection, même très-bien conduite, laisse toujours subsister des dangers pour les ouvriers, à cause des gaz qui sont retenus par les parois et qui se répandent dans la fosse, quand celle-ci est vidée (*). La méthode chimique ne fournit donc qu'une solution insuffisante, et nous ne voyons rien qui mérite d'être recommandé.

Il n'en est pas de même des procédés mécaniques. Un perfectionnement récent paraît avoir résolu la question au point de vue spécial qui nous occupe en ce moment : nous voulons parler du système de vidange dit *hydrobarométrique*, tel qu'il est appliqué depuis quatre ou cinq ans à Nîmes, et surtout tel qu'il fonctionne depuis deux ans à Bordeaux (**). On en connaît le principe, expérimenté depuis longtemps : le vide est fait par avance dans des tonnes qu'on amène à proxi-

(*) En voici un exemple tout récent, emprunté au *Moniteur* du 13 juillet 1865 : « Un déplorable événement a causé hier matin une « vive émotion dans la rue du Pont-Louis-Philippe. Trois ouvriers « maçons, Dodon, maître compagnon, Vidalliat et Catty, sont des- « cendus vers huit heures trois quarts dans la fosse d'aisances « d'une maison de cette rue pour la réparer. A peine y étaient-ils « entrés, qu'ils se sont sentis asphyxiés par les gaz méphitiques « qu'elle renfermait. Leurs forces, subitement paralysées, ne leur « permirent pas de remonter. Ils poussèrent quelques cris de dé- « tresse et s'évanouirent.... Deux de ces infortunés n'ont pu être « rappelés à la vie. L'asphyxie était complète. Le nommé Dodon a « été retiré vivant et transporté d'urgence à l'Hôtel-Dieu. »

(**) A Paris, ce système n'a pas pris une grande extension, pour des raisons, pensons-nous, étrangères à la question technique ; mais à Nîmes et à Bordeaux, la démonstration est complète.

mité de la fosse, et, aussitôt la communication établie avec celle-ci, les matières se précipitent dans les tonnes sous l'influence de la pression atmosphérique. La difficulté réside dans l'application industrielle, et, en particulier, dans la manière d'obtenir économiquement un vide à peu près parfait. On sait, par exemple, qu'avec les machines pneumatiques, l'opération est longue, dispendieuse, et qu'on laisse toujours de l'air dans l'appareil. Voici comment le problème est résolu à Bordeaux, sous l'habile direction de M. le Dr A. Commandré, gérant de la *Compagnie hydrobarométrique du Midi*. Une machine à vapeur met en mouvement une double pompe aspirante-foulante, dont le tuyau d'aspiration s'épanche dans un conduit horizontal pourvu de six branchements (Pl. I, *fig.* 1 et 2). Ce conduit communique à volonté soit avec la pompe, soit avec une cuve alimentaire placée au-dessus du bâti et recevant le tuyau de refoulement. La tonne qu'il s'agit de préparer est amenée en regard d'un des branchements et mise en communication avec lui au moyen d'un orifice de vidange situé à la partie inférieure. On ouvre alors la cuve alimentaire, et l'eau, par suite des différences de niveau, pénètre dans la tonne qu'elle remplit en quelques minutes. Pendant ce temps, on a soin de maintenir ouvert, à la partie supérieure de la tonne, un petit robinet par lequel l'air méphitique contenu dans celle-ci se rend sous le foyer de la machine à vapeur. La réplétion terminée, on ferme la cuve et le robinet d'air, on fait agir la pompe, et en trois ou quatre minutes l'eau est extraite et renvoyée à la cuve. Pour éviter que cette eau salie n'obstrue les clapets de la pompe, on lui fait traverser un filtre formé d'une plaque percée de trous de 5 millimètres de diamètre, sur laquelle s'arrêtent les débris. La même eau sert trois semaines ou un mois avant d'être jetée. L'appareil étant parfaitement étanche et ne laissant point rentrer d'air au fur et à mesure de la sortie du liquide, du même coup le vide est réalisé, et la tonne

est, dès lors, prête pour la vidange. On l'amène au lieu du travail et on l'abouche avec un système de tuyaux posés d'avance, dont le dernier plonge au bas de la fosse. L'ascension des matières, quoique rapide, se fait uniformément, sans secousses. Les parties les plus consistantes sont entraînées. Au point de jonction des divers tubes, l'odeur est absolument nulle. Quand on défait les joints pour remplacer une toune par l'autre, il s'échappe quelques gouttes de liquide qu'on reçoit dans un baquet contenant du sulfate de fer. Cette opération s'accomplit en plein jour dans les quartiers les plus élégants de Bordeaux. Nous y avons assisté plusieurs fois sans jamais saisir la moindre odeur. La tonne chargée est envoyée à la gare du chemin de fer du Midi, où elle se déverse dans un wagon-citerne placé au-dessous, lequel emporte le contenu dans les Landes. Elle est ensuite rincée et réexpédiée à l'atelier d'aspiration.

Les avantages de ce système sont considérables : 1° les ouvriers sont dispensés d'entrer dans les fosses pour enlever les parties consistantes, ainsi que cela se pratique avec les appareils à pompe les plus perfectionnés ; 2° la durée de la vidange est très-courte, chaque tonne de 2 mètres cubes de capacité n'exigeant pas cinq minutes pour s'ajuster et se remplir ; 3° aucun gaz ne se répand au dehors, tandis qu'avec les tonneaux ordinaires l'air méphitique, chassé par l'entrée des matières fécales, infecte les alentours, malgré les précautions prises pour le brûler ; 4° enfin, il n'est point nécessaire d'ouvrir les fosses à l'avance pour effectuer le brassage et la désinfection. Au surplus, la supériorité du procédé a déjà été reconnue par diverses autorités, et il est à souhaiter que l'application s'en généralise (*).

(*) La question est à l'étude dans plusieurs villes, à Toulon, Nantes, Toulouse, etc. A Toulouse, on a proposé une manière différente de faire le vide dans les tonnes. L'idée, due à M. Loiseau, a été expérimentée en 1865, sous les yeux des délégués du conseil d'hygiène. L'appareil n'est autre qu'un baromètre à eau. Un tube vertical de

Le seul détail qui puisse donner lieu à quelques odeurs, c'est la pose des tuyaux de la fosse. Cet inconvénient est d'ailleurs commun à tous les systèmes. La Compagnie hydrobarométrique s'efforce, en ce qui la concerne, de le faire disparaître en provoquant l'installation de tuyaux permanents ou inamovibles, lesquels, partant du fond de la fosse, viennent aboutir à la rue, sous le trottoir, où ils sont fermés par un regard qui ne s'ouvre que pour la vidange ; l'opération, dès lors, s'accomplit sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans les maisons (Pl. I, *fig.* 3). De semblables tuyaux ont déjà été posés à Bordeaux, dans quelques habitations particulières et dans des édifices publics, à la Bourse, par exemple, où ils fonctionnent à l'entière satisfaction des intéressés.

L'assainissement des dépotoirs se rattache à celui des fosses d'aisances. Le seul exemple, à notre connaissance, qui mérite d'être cité, est celui du dépotoir de la ville de Paris, à la Villette. Cette installation, destinée à recevoir, chaque nuit, environ 1.800 mètres cubes de liquides provenant des fosses fixes et mobiles, comporte trois citernes souterraines, en ciment romain, de 500 mètres cubes de capacité chacune. L'air est renouvelé au moyen d'un ventilateur puissant, dont le tuyau de prise parcourt toute la lon-

10m,30 de haut, plonge par l'extrémité inférieure dans un réservoir, tandis que l'extrémité supérieure peut s'aboucher à l'orifice de vidange des tonnes qu'on amène au-dessus. Au début des opérations, le tube et la tonne étant pleins d'eau, l'écoulement est produit par le poids de la colonne, et le vide se fait dans la tonne. Quant au tube, il conserve la hauteur d'eau de 10m,30. La tonne ayant ensuite été remplie de matières à la fosse, on l'abouche de nouveau, et le vide se fait de même, grâce au mélange boueux, qui joue le rôle de l'eau ; et ainsi de suite indéfiniment. Ce procédé a bien fonctionné devant les délégués du conseil d'hygiène et a obtenu son entière approbation. Il est cependant inférieur à celui de Bordeaux, car indépendamment des difficultés matérielles d'installation et de nettoyage d'un pareil tube, l'opération doit être plus dispendieuse, puisqu'elle revient en définitive, non-seulement à déplacer le contenu des tonnes, mais encore tout le poids de l'attirail lui-même, qu'il faut élever à 10m,30.

gueur de la citerne et aspire sur divers points, par des orifices de grandeur croissante, au fur et à mesure de l'éloignement. Il y a quelques années, alors que l'aspiration se faisait en un seul point, il se produisait de temps à autre des cas d'asphyxie. La disposition actuelle y a complétement remédié.

Les cabinets d'aisances offrent peu de progrès à relever. Nous ne surprendrons personne en disant que dans toute la France, sans en excepter Paris, ils exhalent habituellement de très-mauvaises odeurs. Les tentatives d'amélioration ne datent guère que d'une douzaine d'années, et encore sont-elles limitées aux habitations de la classe aisée. Les procédés employés, nous parlons de ceux qui ont pris quelque extension, consistent invariablement à obtenir une fermeture plus ou moins hermétique de la cuvette et à entraîner, chaque fois, les matières, par une suffisante quantité d'eau. Nous n'entrerons pas dans le détail des appareils variés destinés à atteindre ce double but ; nous nous bornerons à dire que, quelque soignés qu'ils soient, ils n'ont toute leur efficacité que si le réservoir des matières lui-même est convenablement assaini. Avec des fosses fixes, par exemple, dans lesquelles les liquides et les solides fermentent ensemble et où la ventilation n'est pas suffisante, il est impossible que les cabinets soient salubres. Les gaz pénètrent toujours par les interstices des appareils les plus perfectionnés, et au besoin traversent la couche d'eau qui fait fermeture hydraulique au fond de la cuvette. Ce dernier phénomène se produit, même quand les fosses sont pourvues de cheminées d'aérage débouchant au-dessus des toits. Le grand moyen d'assainissement des cabinets est donc l'assainissement des réceptacles eux-mêmes. A ce point de vue, l'introduction des séparateurs et la substitution des fosses mobiles aux fosses fixes présentent un grand intérêt. Mais ces mesures concernant davantage encore la salubrité du sol, leur examen viendra plus naturellement dans la cinquième partie de ce travail.

Abattoirs, étables, écuries. — La difficulté de ventiler ces établissements au milieu des villes, et surtout la grande quantité de gaz qui s'y développe, les placent plus ou moins dans le cas des locaux à atmosphère limitée. Les moyens généraux d'assainissement sont à peu près les mêmes partout, et on les retrouve plus ou moins indiqués dans les règlements édictés par les autorités locales. Ils se résument, habituellement, à avoir une distribution abondante d'eau, à évacuer promptement les résidus de tous genres, et à favoriser autant que possible le renouvellement de l'air. Ces conditions sont trop connues pour que nous insistions davantage.

Mais à côté de ces mesures, d'un ordre purement physique, qui sont incontestablement les plus essentielles à la salubrité, il y a quelques expédients chimiques qui peuvent avoir leur utilité, entre autres ceux qui ont en vue de prévenir la putréfaction des matières. Jusqu'ici, les applications faites sont peu nombreuses. On peut citer, toutefois, deux réactifs, préconisés dans ces derniers temps et qui paraissent appelés à rendre des services réels : ce sont les composés phéniqués et le phosphate acide de magnésie. M. le Dr Lemaire, qui est un des grands promoteurs de l'acide phénique en France, a proposé de saupoudrer le sol des écuries et des étables avec de la terre et du sable, contenant deux millièmes d'acide phénique. Les simples lavages à l'eau de goudron minéral produisent aussi de bons effets, comme l'a constaté M. David, fabricant de tissus à Saint-Quentin, lequel, sur les indications de M. Lemaire, a assaini entièrement, par ce moyen, les latrines de son établissement. Le phosphate acide de magnésie a été mis en avant, par MM. Blanchard et Château, pour prévenir la déperdition de l'ammoniaque, qu'on fixe ainsi à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien (*). Le général de Pointe de

(*) Nous aurons à revenir plus tard sur ce procédé qui a surtout en vue le bon emploi des matières fécales.

Gevigny, en sa double qualité d'officier de cavalerie et d'agriculteur distingué, n'hésite pas à recommander l'emploi de ce moyen. D'après lui, l'arrosage de la litière des bergeries et des étables a pour résultat d'enrichir l'engrais et de rendre les locaux beaucoup plus salubres.

Caves d'habitation. — La question des caves d'habitation a eu et a encore de l'importance dans plusieurs départements du nord, à Lille, surtout. Un document récent établit les conditions déplorables dans lesquelles se trouvaient encore, en 1864, les habitations d'une partie de la classe ouvrière de Lille (Note *g*). Les commissions des logements insalubres reconnaissant en général la difficulté pratique de les assainir d'une manière satisfaisante, se sont attachées à faire disparaître les locaux qui étaient dans les plus mauvaises conditions. Pour les autres, on a prescrit, selon les cas, diverses mesures hygiéniques, telles que celles-ci : blanchir les murs à la chaux ; les revêtir d'enduits hydrofuges ; saupoudrer le sol de matières désinfectantes ; faire des fumigations de chlore ; établir autant que possible des cheminées d'appel etc. A Paris, une question analogue, mais moins grave, s'est présentée à propos de l'habitation des sous-sols, qui se sont multipliés dans les constructions neuves. La commission des logements insalubres a été d'avis que l'occupation permanente n'en devait être tolérée qu'autant qu'ils prenaient jour par des ouvertures verticales, ce qui les assimile alors presque à des rez-de-chaussée, ou que, prenant jour par des ouvertures horizontales, ils étaient bâtis sur caves et exempts de toute humidité. On n'a recherché d'ailleurs l'application d'aucun procédé technique.

Divers. — Il existe encore un grand nombre de locaux à atmosphère limitée, ou, plutôt, ceux qui importent le plus à l'homme rentrent dans cette catégorie. Les édifices publics, hôpitaux, théâtres, casernes, etc., les maisons particulières elles-mêmes constituent, à des titres divers, des

locaux de ce genre. Leur assainissement intéresse donc au premier chef. Toutefois, nous n'avons rien de nouveau à en dire, attendu que les moyens employés, jusqu'ici, se résument dans la ventilation, soit naturelle, soit artificielle. Quant aux appareils spéciaux, destinés à réaliser cette dernière, ils ne diffèrent pas sensiblement de ceux que nous avons déjà fait connaître à l'occasion de la salubrité des ateliers.

Pour les puits, citernes, fosses d'inhumation, caveaux, etc., il n'y a pas à proprement parler de procédé technique en vigueur. On a bien recommandé l'usage de quelques réactifs chimiques, notamment de la chaux vive ou du lait de chaux pour absorber l'acide carbonique avant la descente des ouvriers, mais en fait, cette pratique est peu suivie. Tout se réduit à des mesures de précaution qui, nulle part, ne sont mieux coordonnées ni aussi complètes que dans les ordonnances de police du département de la Seine. Ces documents sont trop connus pour que nous ayons à en rappeler les dispositions.

IV. Infection des eaux.

Il y a deux grandes causes d'infection des eaux : les résidus des fabriques et les immondices des villes. Ces deux causes confondent souvent leurs effets ; car les établissements industriels, situés dans l'aire drainée des villes, déchargent ordinairement leurs résidus aux égouts, en sorte que les eaux sales de ces derniers contiennent à la fois les deux natures de produits.

La multiplication des manufactures, d'une part, et d'autre part l'extension donnée au drainage urbain, ont généralisé cette infection, et l'ont, en certains cas, portée à un haut degré. Il n'y a pour ainsi dire pas de petite rivière qui, à son passage dans quelque centre populeux, ne se souille de matières corrompues et ne devienne impropre à la boisson. Plusieurs d'entre elles constituent même pour les contrées avoisinantes des foyers dangereux : les matières d'origines

diverses, en présence dans leurs eaux, engendrent, par leur réaction mutuelle, des odeurs intolérables. Telles sont la Bièvre à Paris, l'Erdre à Nantes, la Deule et la Lys dans le Nord (*), le Robec et l'Aubette à Rouen, l'Ill à Mulhouse, etc. Les fleuves eux-mêmes n'en sont pas exempts, et pour n'en citer qu'un exemple, qui ne connaît la corruption des eaux de la Seine, en aval du grand collecteur d'Asnières ?

Cette situation commence à préoccuper sérieusement les esprits. Depuis une dizaine d'années des efforts considérables ont été faits pour l'améliorer. Les arrêtés préfectoraux se montrent plus sévères, et, dans quelques départements, une surveillance plus efficace a sensiblement diminué les causes d'infection. Malheureusement, il reste beaucoup à faire ; d'un côté, les conditions inscrites dans les arrêtés demeurent souvent à l'état de lettre morte ; d'un autre côté, les égouts des villes continuent à se décharger librement aux rivières. Les procédés d'assainissement déjà appliqués manquent donc encore d'un caractère suffisant de généralité : ils n'en sont pas moins intéressants à observer, en ce qu'on peut voir en eux autant de jalons d'un travail d'ensemble destiné à se compléter plus tard.

Ces procédés sont de deux sortes : les uns, partiels, s'adressent exclusivement à certains produits déterminés ; les autres, généraux, s'adressent à la fois à toutes les sources d'impuretés, en entreprenant la désinfection des liquides d'égout qui les contiennent. A ces derniers, qui sont encore dans l'enfance, on peut rattacher les travaux ayant pour but, non de réaliser une désinfection proprement dite des eaux d'égout, mais d'éloigner celles-ci des points où elles pourraient préjudicier à la santé publique, et de les placer dans des conditions où les effets salutaires des agents atmosphériques

(*) M. Vallon, le regretté préfet du département, nous disait : « Il n'y a pas encore longtemps, je ne pouvais pas faire une promenade en voiture sans sentir l'odeur de l'hydrogène sulfuré. » Grâce à la persévérance de ce magistrat, la situation s'est beaucoup améliorée dans les dernières années.

puissent plus facilement s'exercer. C'est ainsi que, dans les principales villes, on a voûté ou qu'on voûte, jusqu'à une certaine distance des faubourgs, des cours d'eau servant de collecteurs naturels, pour ne les laisser reparaître à ciel ouvert qu'au milieu de la campagne.

1° *Moyens partiels.*

Fabriques de soude. — C'est une des industries dont on s'est plaint le plus vivement. Elle donne lieu, comme on sait, à plusieurs résidus insalubres : liquides sulfurés s'écoulant des tas de marcs de soude, solution d'acide chlorhydrique faible provenant de la condensation, et liqueurs de chlorure acide de manganèse dues à la fabrication du chlore.

En ce qui concerne les marcs de soude, les deux procédés principaux sont l'enfouissement méthodique des boues et l'extraction du soufre qu'elles renferment. Le premier ne donne lieu à aucune mention intéressante, nos fabriques ne brillant pas, en général, par leur manière de disposer les marcs. Le plus souvent, on se borne à les entasser sur le sol en les pilonnant peu ou point et sans les couvrir de terre végétale (*). M. Malétra, à Rouen, est, croyons-nous, le seul qui les fasse ensevelir dans une carrière, d'où il tire le calcaire pour la fabrication du chlorure de chaux.

L'extraction du soufre présente plus d'intérêt. La fabrique de Chauny vient de se rendre adjudicataire du brevet wurtembergeois et se propose d'en faire usage prochainement. Cette méthode, que nous avons déjà eu occasion de mentionner dans notre rapport sur la Belgique et la Prusse, se résume à produire une oxydation partielle des marcs en les laissant à l'air pendant quelques mois, de façon à convertir une portion des sulfures en sulfites et hyposulfites ; on traite ensuite par l'acide chlorhydrique, et le soufre se précipite.

(*) Les émanations produites par ces marcs sont très persistantes. A Dieuze, où l'on ne pilonne pas les tas, nous en avons vu déblayer qui avaient près de vingt ans de date. L'odeur d'hydrogène sulfuré était aussi forte que le premier jour.

Un autre mode d'extraction plus remarquable, à notre avis, s'il réussit définitivement, est expérimenté en ce moment dans la fabrique de Dieuze par M. Buquet, directeur de l'exploitation. Elle est fondée sur l'action réciproque des marcs de soude et du chlorure acide de manganèse. Les liquides acides, préalablement dépouillés de leurs éléments insolubles par une circulation dans un long canal, sont reçus dans des bassins de grès, où l'on introduit ensuite des marcs de soude par parties successives. On arrête l'introduction aussitôt que l'hydrogène sulfuré commence à se faire sentir, ou que la liqueur passe du jaune au blanc. Cette première opération met en liberté une certaine quantité de soufre mélangé à du chlorure de barium. On décante la partie claire et on la reçoit dans un vase clos, où l'on complète la saturation par de nouvelles additions de marcs de soude. L'hydrogène sulfuré s'échappe par un tube soigneusement mastiqué et se rend dans un gazomètre en traversant un flacon laveur. Sur la fin de l'opération, on élève la température par un jet de vapeur. La saturation terminée, la liqueur, à peu près claire, peut, sans inconvénient, être écoulée à la rivière. Quant au soufre, il est passé partie dans le gazomètre, partie dans des résidus insolubles, à l'état de protosulfures de fer et de manganèse. L'hydrogène sulfuré est brûlé, dans des appareils spéciaux, en présence d'une quantité d'air assez faible pour que la presque totalité du soufre se précipite. C'est là un des points délicats de la méthode, car rien n'est moins aisé que d'obtenir couramment dans l'industrie un semblable résultat.

Ce procédé, on le voit, réaliserait en même temps l'assainissement de la fabrication du chlore. Mais en attendant qu'il soit entré tout à fait dans le domaine de la pratique, on a recours à plusieurs autres moyens pour prévenir l'infection due à l'écoulement des résidus acides de chlorure de manganèse. M. Kuhlmann les emploie de diverses manières : 1° il en sature les eaux ammoniacales du gaz de l'éclairage pour en obtenir un muriate d'ammoniaque impur, qui passe aux engrais artificiels ; 2° il les fait couler sur des lits de craie et forme du chlorure de calcium, utilisé, soit pour la vente directe après purification, soit pour l'attaque du sulfate de baryte et la production du chlorure de barium ; 3° il les fait réagir sur des os pour extraire la gélatine ; 4° enfin, récemment, il a imaginé de les appliquer, avec beaucoup de succès, à la saturation des eaux de lavage des laines brutes : déjà M. Isaac Holden en consomme dans une grande proportion, et il y a tout lieu d'espérer que ce débouché s'accroîtra. A Salyndres, M. Uziglio projetait, à l'époque de notre passage, de neutraliser ces liquides par un excès de calcaire, de manière à libérer l'oxyde de manganèse. Cet oxyde devait être vendu aux maîtres de forges des environs, qui l'avaient retenu par avance en vue d'améliorer leur fer puddlé. Quant à l'acide carbonique engendré par la réaction, il devait être utilisé pour fabriquer du bicarbonate de soude et de l'alumine pure, par la décomposition de l'aluminate de soude. De son côté, M. Rohart, fabricant d'engrais à Paris, a consommé à diverses reprises d'assez fortes quantités de chlorure acide pour la désinfection des matières de vidanges. Dans cette opération, le chlorure doit être préalablement neutralisé avec des rognures de zinc, afin d'éviter le bouillonnement qu'engendrerait l'acide chlorhydrique libre ; la présence du zinc a d'ailleurs l'avantage d'enrichir l'engrais.

Aucun de ces procédés n'est évidemment susceptible d'une application tout à fait générale; mais par leur variété même, ils offrent une ressource pour la plupart des cas. Quand les circonstances ne permettent d'employer fructueusement aucun d'entre eux, il faut se résigner à des mesures de pure désinfection, sous peine de donner naissance à des inconvénients très-graves (*) ; on opère alors, par exemple,

(*) Chez M. Malétra, à Rouen, les résidus s'écoulent dans des bassins qui jouent le rôle de puits absorbants. Mais les liqueurs acides, après avoir traversé une couche de galets, rencontrent des bancs

comme M. Kuhlmann dans sa succursale d'Amiens : il fait couler les liqueurs acides sur la sole d'un four à réverbère garnie d'un lit de calcaire et calcine le mélange à siccité; le résidu, formé de chlorures secs, est emporté dans une carrière d'où l'usine tire sa pierre à chaux. On peut encore procéder comme M. Kestner, à Thann; les liquides sont reçus dans un grand réservoir cimenté à double paroi, afin de prévenir toute chance d'infiltration; on les reprend à la pompe et l'on en remplit des tonneaux, qu'on va vider ensuite dans une gravière abandonnée, en aval du vieux Thann et très-loin de toute habitation.

Quant aux solutions faibles d'acide chlorhydrique, d'un débit toujours difficile, il est visible que, mieux encore que le chlorure acide de manganèse, elles peuvent être utilisées pour les divers objets que nous avons indiqués. Au surplus, la fabrication croissante des chlorures alcalins tend à restreindre incessamment la perte de l'acide muriatique. Aujourd'hui, on le recueille dans le nord et l'est de la France, et ce n'est guère que dans les fabriques des environs de Marseille qu'on en envoie encore de grandes quantités, soit à la mer, soit aux étangs.

Fabriques de couleurs, teintureries, papiers peints. — En général, les matières colorantes vont aux cours d'eau sans être préalablement dénaturées. Toutefois, depuis quelques années, on cherche en Alsace et surtout en Flandre à modifier cette situation. En ce qui concerne spécialement la fabrication des couleurs d'aniline, centralisée, on le sait, à Lyon, des accidents récents, d'une extrême gravité, ont attiré l'attention de l'autorité publique, et des précautions spéciales ont dû être prises pour prévenir le retour de semblables malheurs (*). Des faits analogues, mais heureusement sur une échelle moindre, ont été signalés dans des fabriques de papiers peints. A Nancy, notamment, des empoisonnements ont eu lieu par suite d'infiltrations de liquides arsenicaux (**).

Les teintureries du département du Nord ont été l'objet de travaux remarquables. Elles sont assujetties, depuis deux ans, à un régime raisonné grâce auquel les plus importantes d'entre elles ont réalisé de sensibles améliora-

calcaires qu'elles ont graduellement rongés à une grande distance. Aujourd'hui, M. Pouyer-Quertier, dont la filature est à 7 ou 800 mètres de la fabrique de M. Malétra, se plaint que l'eau du puits qui alimente ses appareils à vapeur est devenue assez acide pour attaquer la tôle des chaudières.

A Thann, où pendant longtemps on a laissé perdre les liquides dans le sol, les puits ont été infectés à une grande distance, et M. Kestner s'est vu obligé à fournir de l'eau à la ville, en dérivant, à ses frais, une source à 7 kilomètres. Quoique depuis 12 ans cette fâcheuse pratique ait été abandonnée, le sol est demeuré assez imprégné pour que bon nombre de puits se trouvent encore impropres à la boisson. Il est même arrivé, par suite du mouvement des eaux souterraines, que des puits qui avaient été d'abord préservés se sont infectés dans ces derniers temps.

(*) Aux mois d'août et de septembre 1862, une quinzaine de personnes appartenant à l'usine de Pierre-Bénite, près Lyon, ou vivant dans son voisinage, tombèrent gravement malades, et trois moururent. Une enquête fut faite par le conseil d'hygiène de Lyon, mais elle n'aboutit pas. On attribua les effets à une épidémie. Deux ans plus tard, en mai 1864, la famille d'un garde barrière du chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne présenta les mêmes symptômes de maladie. La femme et les enfants succombèrent, le garde-barrière lui-même vint à un état presque désespéré. Sur la plainte de la Compagnie, la justice et l'autorité préfectorale s'émurent. On procéda à une exhumation et à une série d'analyses chimiques. Il fut reconnu alors que ces divers accidents étaient dus à la présence de l'arsenic, en quantité notable, dans l'eau des puits, et que cet arsenic provenait des résidus de la fabrication de la fuchsine, préparée à Pierre-Bénite dans de grandes proportions.

(**) Il y a quelques années, toute une famille de Nancy éprouva à plusieurs reprises les premiers symptômes d'un empoisonnement. On reconnut que le puits à l'usage de cette famille contenait de l'arsenic rejeté par la fabrique de papiers peints de M. Huin. Déjà une autre fabrique, celle de M. Noël, avait coûté la vie à quelques personnes et avait infecté tellement les terres de tout un quartier que longtemps après des puits se chargeaient encore d'éléments arsenicaux.

Le conseil d'hygiène recommanda de continuer pendant plusieurs années les analyses de ces puits, afin de prévenir de nouveaux accidents, bien que la cause elle-même eût cessé.

tions. Les procédés, basés d'ailleurs sur les mêmes principes, varient selon la nature des matières colorantes et selon la disposition des établissements. On peut distinguer trois manières principales d'opérer :

1° Les eaux provenant de la teinture à l'indigo sont reçues dans un premier bassin étanche, où elles séjournent de douze à vingt-quatre heures (Pl. II, *fig.* 1 à 3). La clarification se fait d'elle-même par le repos, et les eaux décantées sont tantôt écoulées au dehors, sans autre traitement, et tantôt mélangées avec un lait de chaux de façon à être rendues fortement alcalines. Quant au dépôt boueux, il est écoulé par une vanne de fond dans un bassin inférieur, également étanche, et il y demeure jusqu'à ce qu'il ait acquis assez de consistance pour qu'on puisse l'enlever à la bêche et le transporter dans les champs où il est employé comme engrais. MM. Stalars frères, au pont de Canteleu près Lille, dont nous aurons plusieurs fois occasion de citer le bel établissement, soumettent les dépôts à une nouvelle décantation, dans le bassin inférieur, et reprennent le résidu pour en extraire les matières colorantes, par des procédés tenus secrets et qui paraissent rémunérateurs.

2° Les eaux provenant de la teinture à toutes couleurs sont pareillement traitées dans des bassins étanches (Pl. II, *fig.* 4 à 6). Elles sont reçues, à l'exclusion de celles du débouillissage, dans un premier réservoir, où l'on ajoute de la chaux vive à raison de 1 kilogramme environ par mètre cube de liquide. On brasse vivement pendant vingt à trente minutes et on laisse se former le précipité qui entraîne une grande partie des matières colorantes. On projette ensuite la même proportion de sulfate de fer, ce qui entraîne les derniers restes de couleurs mélangés avec le sulfate de chaux. Enfin, on ajoute 1 hectogramme environ de chaux vive, à l'état de lait, pour rendre la liqueur alcaline. Après une journée de repos on décante les eaux clarifiées, et on les fait passer dans un bassin inférieur par l'intermédiaire

d'un tuyau vertical plein de matière filtrante, par exemple de bois de campêche râpé et épuisé. Au sortir de là, les liquides sont évacués au dehors. Quant au dépôt boueux, on l'écoule dans un troisième bassin, pour le laisser sécher et le répandre ensuite sur les champs.

Chez MM. Stalars, le procédé a été heureusement modifié en quelques points. On a diminué de 20 p. 100 la proportion de chaux du premier brassage et l'on a réduit celle de sulfate de fer aux 5/8 seulement de celle de chaux. Dans ces conditions la nouvelle addition de chaux devient inutile, la liqueur gardant suffisamment la réaction alcaline. La durée de la période de repos est augmentée, et la décoloration est assez complète pour dispenser du filtrage. Les dépôts sont d'ailleurs repris, comme ceux de la teinture à l'indigo, pour l'extraction des matières colorantes.

Les eaux gommeuses provenant du débouillissage des fils de lin, sont traitées dans un bassin séparé, où l'on introduit de la chaux en une seule fois, non pour rendre les eaux alcalines, puisqu'elles le sont déjà, par le fait même du débouillissage, mais pour déterminer l'agglutination des matières albuminoïdes, recherchées par l'agriculture.

3° Quand les usines disposent de vastes terrains, on remplace les réservoirs en maçonnerie par des bassins creusés en pleine terre, et présentant une très-grande surface, de manière à déterminer le dépôt par l'anéantissement de la vitesse du courant. Le dernier bassin, à l'aval, se termine par un déversoir en maçonnerie, assez long pour que la lame de liquide qui coule dessus ait toujours une petite épaisseur, de 1/2 centimètre au plus. Les eaux de l'usine, à la sortie des ateliers et aussi loin que possible des bassins épurateurs, se mélangent à un courant de lait de chaux, qu'on entretient d'une manière continue dans le canal de fuite, et qui est composé de façon qu'un kilogramme environ de chaux vive soit consommé par chaque mètre cube de liquide.

Les moyens qui précèdent sont tout à fait insuffisants

dans l'industrie de la fuchsine, qui donne lieu à des résidus très-dangereux d'arséniate et d'arsénite de soude. Vainement a-t-on essayé de les transformer en sels insolubles de chaux : la réaction, quelque soin qu'on y mette, n'est jamais complète, et l'expérience a prouvé qu'une proportion dangereuse d'arsenic reste toujours dans les liqueurs. Force a donc été de chercher des procédés spéciaux plus efficaces. Certains sont déjà appliqués, d'autres sont encore en voie d'expériences ; mais dès aujourd'hui on peut dire que la solution définitive du problème sera dans l'utilisation même des résidus, c'est-à-dire dans la régénération de l'arsenic, qui passera à des opérations ultérieures : nouvelle confirmation de cette loi que nous avons bien souvent observée, que, presque toujours, le problème de l'assainissement se résoud par un progrès industriel.

Nous rappellerons brièvement le mode de fabrication suivi jusqu'à ces derniers temps. L'aniline et l'acide arsénique sont mis à réagir dans une cornue chauffée au bain d'huile. On obtient ce qu'on nomme la *matière brute*, mélange de rouge d'aniline, d'acides arsénique et arsénieux, d'aniline non transformée, de matières résinoïdes et charbonneuses, etc.... On la broie, et on la traite par l'eau bouillante et l'acide chlorhydrique. On sépare ainsi le rouge de la plus grande partie de l'acide arsénieux, qui reste dans le résidu insoluble. La dissolution est elle-même traitée par le carbonate de soude, qui précipite le rouge et laisse l'acide arsénique dans la liqueur, avec la faible portion d'acide arsénieux qui avait échappé à la première séparation.

Les résidus dangereux sont donc, d'une part, un magma boueux où domine l'acide arsénieux, et, d'autre part, un liquide dans lequel domine l'acide arsénique. Aux usines de Rochecardon et de Pierre-Bénite à Lyon, on s'en débarrassait de la manière suivante. Les boues sont déposées dans des bassins, et les liquides qui en dégouttent, réunis à ceux des autres opérations, sont traités par la chaux dans des

fosses parfaitement étanches. Au bout d'un temps, qui atteint quelquefois huit jours, et de nombreux brassages, on écoulait la partie liquide à la rivière et les boues étaient embarillées pour être jetées dans la mer, à Marseille. C'est cette évacuation pratiquée à Pierre-Bénite, non directement dans le Rhône lui-même, mais dans un bras perdu, où l'eau est stagnante, qui a produit ces graves phénomènes d'infection des puits dont nous parlions tout à l'heure. Interdiction a été portée, vers la fin de 1864, de continuer ce genre d'opérations. Les directeurs des deux établissements se sont mis alors en devoir, chacun de son côté, de transformer la fabrication en se donnant pour but de régénérer l'arsenic, c'est-à-dire de l'extraire des résidus pour le faire entrer de nouveau dans les opérations. Voici à quelles méthodes ils sont arrivés.

M. Durand, à Rochecardon, traite la matière brute, obtenue par la voie ordinaire, dans un appareil distillatoire contenant de l'eau et de la soude caustique dans les proportions nécessaires pour saturer complétement les acides arsenicaux mêlés à la matière colorante. L'aniline non transformée qui se trouve dans la matière brute, passe à la distillation, tandis que la matière colorante insoluble reste dans l'appareil. La liqueur contient la totalité de l'arsenic, à l'état de sels de soude. On enlève la fuchsine, qu'on purifie séparément par les procédés ordinaires, et la liqueur est évaporée de façon à obtenir, par cristallisation, l'arséniate et l'arsénite de soude. Ces sels sont ensuite traités par l'acide sulfurique et régénèrent l'arsenic. Cette méthode est actuellement appliquée en grand à Rochecardon (*).

(*) M. Jean Rod Geigy, à Bâle, qui a pris la succession de la maison J. J. Muller et C^ie^, emploie depuis quelque temps une méthode peu différente de celle de Rochecardon : il évapore à siccité le mélange d'arséniate et d'arsénite de soude et le vend aux fabricants d'acide arsénique.

M. Durand n'est plus directeur de Rochecardon et sa méthode a cessé d'y être pratiquée. (*Note de novembre* 1866.)

M. Charles Girard, à Pierre-Bénite, a imaginé un procédé qui a non-seulement pour but de régénérer l'arsenic, mais aussi de remédier à diverses causes d'insalubrité pouvant affecter les ouvriers et de simplifier considérablement la main-d'œuvre. Nous retenons ici, de cette nouvelle méthode, seulement ce qui a rapport à l'utilisation de l'arsenic. La matière brute est traitée par dix fois son poids d'eau bouillante et est filtrée à chaud; on isole ainsi les matières résinoïdes et charbonneuses qui restent sur le filtre, tandis que la liqueur contient le rouge et l'arsenic. On introduit dans cette liqueur, par petites quantités successives, du chlorure de sodium qui détermine la formation du chlorhydrate de rosaniline et fait passer l'arsenic à l'état de sels de soude. La matière colorante étant insoluble dans une liqueur saline concentrée, on l'isole aisément des sels arsenicaux qui restent dans les eaux mères, avec le chlorure de sodium en excès. On ajoute la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour saturer la soude combinée avec l'arsenic, et l'on sépare celui-ci par évaporation. Cette méthode a été appliquée industriellement, mais sur une petite échelle, à l'usine de Pierre-Bénite. Comme il aurait fallu changer le matériel et que, d'ailleurs, la vente de la fuchsine a subi un ralentissement notable, on a différé l'application en grand.

Distilleries, sucreries, féculeries, amidonneries, etc. — Ces diverses industries évacuent des quantités considérables de liquides chargés de matières organiques, lesquelles infectent à un haut degré les cours d'eau qui les reçoivent. Les distilleries, notamment, ont donné naissance à de tels dommages dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais, que l'autorité centrale a dû intervenir, et qu'une commission composée des hommes les plus compétents (*)

(*) Elle était composée de MM. Rayer, Chevreul, Baumes, Bussy, Detaille, Féburier, E. Julien, Lechâtelier, Mélier, Schlumberger et Ad. Wurtz.

a été chargée d'étudier les moyens de remédier à cet état de choses. Depuis lors, des progrès sensibles ont été accomplis et permettent d'en espérer de plus grands encore. Les autres industries énumérées à ce paragraphe n'ont suivi cet exemple que de très-loin. Nous rapporterons brièvement les principaux procédés employés dans les unes et dans les autres.

Il y a plusieurs sortes de distilleries : celles de grains, celles de jus de betteraves, celles de vins, celles de mélasses. Ces dernières peuvent être tout d'abord écartées, car l'usage de plus en plus répandu d'extraire la potasse de leurs résidus, tend à en faire disparaître tous les inconvénients. C'est ainsi que M. Lefebvre, à Corbehem (Pas-de-Calais), peut traiter toute l'année d'énormes quantités de mélasses de France et d'Allemagne, sans perdre une seule goutte de vinasse aux cours d'eau. Parmi les distilleries de grains et de betteraves, il convient également d'écarter celles qui opèrent de façon à pouvoir affecter les résidus à l'alimentation du bétail. Quant aux autres, elles recourent à l'un de ces trois moyens : filtration à travers des terrains drainés, arrosage de terres arables, épuration par la chaux. Le premier moyen, qui avait eu d'abord beaucoup de partisans, commence à être abandonné. On se plaint que les liquides ne sont pas toujours convenablement dépouillés, que le sol s'obstrue rapidement, que des infiltrations se produisent dans les nappes sous-jacentes, etc. L'arrosage des terres cultivées prend au contraire un grand développement : on doit s'en féliciter, car c'est le procédé le plus rationnel. La pratique, d'ailleurs, est fort simple : M. Pluchet, par exemple, à Trappes (Seine-et-Oise), réunit dans un bassin central toutes les eaux de la fabrique, eaux de lavage des betteraves, vinasses de la distillation, eaux de condensation et même les eaux pluviales de la cour de la ferme. Les parties solides se déposent : les liquides se rendent dans un réservoir, d'où une pompe les élève à 7 ou

8 mètres de haut; de là, ils vont souterrainement, au point culminant de la surface à irriguer. Des rigoles ouvertes par un simple trait de charrue permettent de distribuer à volonté les eaux sur toutes les parties du terrain. On a ainsi 6 hectares, dont 3 arrosés chaque année. La moitié irriguée porte des betteraves, tandis que l'autre moitié reçoit une fumure de tourteaux de colza et porte du blé. Malgré les frais d'installation et la force motrice, M. Pluchet nous disait trouver de l'avantage à cette combinaison. Il signale, en outre, un fait intéressant, à savoir que les betteraves venues sur la partie arrosée sont exemptes de la maladie. Les industriels qui ne veulent pas faire la dépense d'une pareille installation, chargent simplement leurs eaux dans des tonneaux et les apportent sur les terres, où on les répand à la lance. Quelquefois on s'en sert pour arroser les fumiers.

L'épuration par la chaux est pratiquée dans des établissements dont les conditions naturelles ne permettent pas l'emploi de moyens agricoles. Voici, par exemple, comment opèrent, à Marquette-les-Lille, MM. Lesaffre et Bonduelle, dont la sucrerie et la distillerie passent pour être des mieux tenues. Le volume quotidien des liquides à évacuer est d'environ 1.200 hectolitres. Les eaux provenant du lavage des betteraves sont reçues dans un bassin où elles séjournent vingt-quatre heures, de façon à abandonner la terre et les débris organiques dont elles sont chargées. Elles s'écoulent ensuite à la Deule, à peu près clarifiées. Le dépôt boueux constituant un très-bon engrais est offert aux agriculteurs, qui n'ont pas su encore en apprécier les avantages. Les vinasses de la distillation sont amenées bouillantes dans un bassin de 18 mètres de long, 4 mètres de large et $1^{m},20$ de profondeur, contenant un lit de chaux vive, dans la proportion de 1 kilogramme par hectolitre de liquide. On brasse rapidement le mélange et on l'écoule aussitôt dans deux autres bassins, de même dimension, où le dépôt se forme. Les bassins sont en maçonnerie parfaitement étanche. Les déversoirs de superficie établis sur toute la largeur à l'aval de chacun d'eux, sont surmontés d'une pierre de taille dont la crête est exactement horizontale. Une planche en chêne, de 25 centimètres de large, plongeant à moitié dans l'eau, est établie en avant de chaque déversoir, de manière à arrêter tous les corps flottant à la surface. Il y a deux séries de bassins pareils qui alternent. On les cure à vif tous les dix ou douze jours, et le produit est vendu à bas prix, comme engrais.

Dans les départements du Midi, les distilleries de vins sont ordinairement des établissements agricoles. Toutefois, les vinasses n'y sont pas employées pour l'arrosage des terres à cause de leur acidité naturelle. On les évacue dans les fossés et les ruisseaux, qu'elles infectent extrêmement. Quelques industriels, en tête desquels il convient de placer M. Marès, qui est à la fois distillateur, agronome et membre du conseil d'hygiène de l'Hérault, ont essayé d'amener leurs compatriotes à saturer les vinasses avec de la chaux, pour utiliser ensuite, séparément, les dépôts terreux et les liquides désacidifiés. La pratique ne diffère pas d'ailleurs, sensiblement, de celle que nous venons d'indiquer pour le département du Nord. M. Marès brasse 2 kilogrammes de chaux vive avec 1 hectolitre de vinasse bouillante, et il fait déposer le mélange dans un deuxième bassin, d'où la vinasse est évacuée après refroidissement. M. Marès a essayé en grand d'un mode d'utilisation dont il s'est bien trouvé, lequel consiste à saturer avec cette vinasse des terres légèrement argileuses, qu'on laisse ensuite dessécher pour les imbiber de nouveau. Le terres ainsi traitées se nitrifient énergiquement pendant les jours d'été et se transforment en engrais actifs. Cet exemple n'a pas eu beaucoup d'imitateurs, bien que le conseil d'hygiène de l'Héraut l'ait vivement recommandé aux populations. Il est vrai que la distillation des vins s'est ralentie dans ces contrées pendant les dernières années, ce qui a diminué l'intérêt de la question.

Dans les amidonneries et les féculeries, le principal progrès consiste à faire déposer les liquides résiduaires et à utiliser les boues qu'ils abandonnent. M. Reisler, à Saint-Denis, qui consomme près de cinq cents tonnes de farine par an, envoie les eaux dans des cuves, où elles séjournent vingt-quatre heures. On décante pour enlever les *gras* qu'on ensache et qu'on exprime à la presse. On fabrique avec ces gras de la colle pour les cartonniers, les tapissiers, etc. Dans quelques amidonneries du Haut-Rhin, on se borne à utiliser le dépôt comme engrais. A la féculerie de M. Dailly, à Trappes (Seine-et-Oise), il y a un progrès de plus. Les liquides abandonnent leurs résidus dans une longue fosse de 2 mètres de profondeur, bien étanche. Les boues sont étendues sur le sol et séchées à l'air libre, ce qui, par parenthèses, produit des odeurs infectes. On obtient ainsi des mottes de bon engrais. Quant aux eaux clarifiées, elles sortent par un caniveau grillé et sont distribuées en irrigation aux terres avoisinantes. Les établissements qui emploient l'une ou l'autre de ces pratiques sont encore à l'état d'exception.

Papeteries. — L'état général est l'évacuation libre aux cours d'eau. A Angoulême, à Rives, à Annonay, nous ne croyons pas qu'une seule fabrique opère autrement. Dans le département du Nord, où il faut toujours aller depuis quelques années pour trouver les meilleurs exemples de préservation, certaines usines se sont mises en devoir de purifier leurs liquides. Ainsi la grande papeterie de M. Scrive, à Marcq-lès-Lille, prend les précautions suivantes. Les eaux des diverses opérations, recueillies par des caniveaux souterrains, se réunissent en un seul courant, qui se rend aux bassins d'épuration après avoir traversé une caisse à jour contenant de la chaux brassée par un agitateur. Les bassins, au nombre de neuf, parcourus successivement par les eaux, sont en maçonnerie, d'une profondeur de 1,50, et offrent

une superficie totale de 2.400 mètres quarrés. Les eaux sortent du dernier, à travers un filtre vertical de 2 mètres d'épaisseur formé de mâchefer (que remplacerait avantageusement du gravier fin), et, de là, vont à la Deule, où elles apportent encore quelques impuretés par suite de la trop rapide circulation dans les bassins. Les dépôts boueux sont mis en tas sur le sol ; on a soin de ménager à 50 ou 60 centimètres de profondeur dans la masse, des espèces de drains en mâchefer qui permettent à l'eau de s'égouter et de revenir au premier bassin. Les cultivateurs se montrent encore peu empressés à utiliser cet engrais.

Une fabrication nouvelle, celle du papier à la paille, donne naissance à une corruption particulière due à la soude. Au val Vernier, par exemple, près Dieppe, l'eau de la Saane prenait des propriétés tellement savonneuses, par suite des déjections de la papeterie de M. Mathias, que les bestiaux eux-mêmes refusaient de s'y abreuver. A certains jours, la rivière se couvrait littéralement de mousse sur un parcours de plusieurs kilomètres. Au reste, la quantité de soude caustique évacuée n'était pas de moins de 500 kilogrammes par jour. Aussi l'usine reçut-elle interdiction d'écouler ses résidus à la Saane, et cette mesure la plongea dans un embarras dont elle ne savait encore comment sortir à l'époque de notre visite. Sur les 1.000 kilogrammes de soude absorbés par l'attaque quotidienne de 3.000 kilogrammes de paille, on retirait environ 500 kilogrammes par voie de calcination des lessives alcalines; mais quant aux eaux de lavage, emportant avec elles l'autre moitié de la soude, on n'avait aucun moyen économique de les traiter. C'est le problème que s'était proposé de résoudre M. Hélénus, à la papeterie de MM. Dufrenne-Malézieux, des Rieux et Cie, à Chauny, en évaporant les liquides alcalins dans des générateurs, et utilisant comme force motrice la vapeur ainsi produite. Il n'est pas douteux, en effet, vu le haut prix de l'alcali, que ce ne soit dans la régénération totale de la soude

qu'on doive trouver la solution de la difficulté sanitaire. Il ne paraît pas, toutefois, que les vues de M. Hélénus aient encore été confirmées par des résultats commerciaux, car après le déplorable accident qui a coûté la vie à ce chimiste et à trois autres personnes (*), l'usine est demeurée fermée, et, lors de notre visite, les propriétaires prenaient le parti de se concerter avec la fabrique de produits chimiques de Chauny pour modifier les procédés et arriver à une évaporation plus économique des liqueurs par les soins de cette puissante maison.

Lavage des laines, dévidage des cocons. — La préparation de la laine donne naissance à trois sortes d'eaux impures ; 1° aux eaux de désuintage obtenues en lavant les laines brutes à l'eau froide; 2° aux eaux de lessivage provenant du traitement des laines brutes par le carbonate de soude, l'urine ou le savon ; 3° aux eaux *d'échets*, ou eaux de dégraissage des laines ouvrées.

Les deux premières opérations ont été longtemps confondues en une seule; c'est depuis peu d'années seulement que les procédés de MM. Maumené et Rogelet ont conduit un assez grand nombre d'industriels à les effectuer séparément.

Aujourd'hui, les eaux de désuintage sont utilisées dans plusieurs centres industriels, à Reims, Elbeuf, Fourmies, Avesnes. Elles sont achetées par MM. Maumené et Rogelet, qui en retirent le carbonate de potasse par voie d'évaporation et de calcination. Ces industriels ont déjà, à Elbeuf et à Reims, deux usines considérables affectées à ce traitement, sans compter quelques succursales de moindre importance, où l'on opère uniquement la concentration des liqueurs avant de les expédier à la maison mère.

Les eaux de lessivage sont encore, sur bien des points, évacuées directement aux ruisseaux qu'elles infectent. C'est

(*) Nous faisons allusion à l'explosion du générateur, survenue en 1864, au moment même où l'on en faisait l'épreuve.

ainsi que le Trichon et l'Espierre, égouts de Tourcoing et de Roubaix, ont porté à l'Escaut des eaux tellement impures que le gouvernement belge a dû réclamer à plusieurs reprises auprès du gouvernement français, pour la préservation de ce fleuve. Dans le département de l'Hérault, le ruisseau de Clermont, qui reçoit les résidus d'un grand nombre de fabriques de draps, est devenu un foyer pestilentiel. A Reims, la Vesle est profondément souillée par la même cause. A Sedan et à Elbeuf, les mêmes inconvénients se seraient produits, si les fleuves qui les traversent n'avaient pas un volume aussi puissant. Les cours d'eau du département du Nord, par suite de leur exiguïté même, ont plus particulièrement souffert et ont appelé des mesures préservatives. A Fourmies et à Lille, les améliorations sont déjà considérables. L'établissement le plus complet sous ce rapport est, sans nul doute, celui de M. Isaac Holden, à Croix. Le système d'épuration a déjà coûté 100.000 fr. d'installation, et dépassera vraisemblablement, plus tard, le chiffre de 150.000 fr. Les 300 mètres cubes d'eaux grasses fournies par le lavage quotidien de 3.000 kilogrammes de laine fine, sont refoulés par une machine à vapeur, dans deux bassins à plusieurs compartiments, fonctionnant à tour de rôle, où ces eaux déposent les sables et matières terreuses qu'elles tiennent en suspension (Pl. II, *fig.* 7 à 10). De là elles sont admises alternativement dans six réservoirs, pouvant recevoir chacun 200 mètres cubes. On y introduit du chlorure acide de manganèse, résidu de la fabrique de M. Kuhlmann, dans la proportion (un peu faible, pensons-nous) de 1/2 kilogramme de chlorure pour 1 hectolitre de lessive. On brasse fortement : il se fait une mousse grasse qui surnage, et l'on décante par le fond. Le liquide est envoyé dans trois autres réservoirs d'égale contenance, où l'on fait un nouveau brassage au lait de chaux, à raison de 300 grammes de chaux vive par hectolitre. On laisse déposer et l'on écoule dans la Marque, au moyen d'un égout souterrain renfermant deux

filtres en tannée. Les eaux sont convenablement clarifiées, mais sentent le suint, inconvénient auquel on se propose de remédier bientôt en lavant préalablement les laines à l'eau froide, comme il a été dit plus haut. Le précipité calcaire est vendu comme engrais; quant aux écumes graisseuses des six premiers réservoirs, elles sont, après écoulement des liquides, extraites par une pompe à vapeur et refoulées dans quatre bassins, peu profonds, creusés dans le sol, et garnis d'une couche de sciure de bois. Une fois la dessiccation à l'air libre terminée, on reprend le magma à la pelle et on le passe à la presse. Les tourteaux ainsi obtenus, jusqu'ici mis en réserve, seront utilisés ultérieurement pour fabriquer du gaz d'éclairage, et, à défaut, serviront de combustible. La graisse exprimée est chauffée à la vapeur, pendant vingt-quatre ou trente heures, afin d'être débarrassée de son eau, et est ensuite vendue, suivant sa qualité, aux savonniers, corroyeurs et autres industriels. La dépense annuelle d'exploitation de cette nouvelle industrie s'élève actuellement à 70 ou 80.000 fr. M. Holden estime que les produits de la vente couvriront les frais, à peu de chose près.

A Fourmies, on emploie, au lieu de chlorure acide de manganèse, du sulfate impur d'alumine et de fer, nommé *magma*, provenant du traitement d'argiles pyriteuses, exploitées en grande abondance dans le département de l'Aisne. M. Théophile Legrand, principal filateur de l'arrondissement de Fourmies, agite ses lessives avec du magma, dans des fosses larges et peu profondes : il y ajoute de la chaux et détermine un précipité de sulfate de chaux, lequel entraîne l'alumine et les matières grasses. Le liquide qui surnage est presque clair; on peut le décanter et l'envoyer aux cours d'eau. Le dépôt constitue un bon engrais qu'on vend aux agriculteurs, mais le débit en est difficile, à cause de la cherté des transports. Dans quelques fabriques d'Alsace, à Holstein, à Lutzelhausen, etc., on avait essayé d'employer les graisses, concurremment avec les déchets de

laine, pour la fabrication du gaz; mais on y a renoncé et l'on s'en sert aujourd'hui pour arroser les terres.

Les eaux d'échets sont plus généralement exploitées, à cause de la valeur considérable de l'huile qu'on incorpore dans la laine pour faciliter le travail de la filature. Dans la seule ville de Reims, les eaux actuellement utilisées ne représentent pas moins de 400.000 francs par an. Cette industrie est monopolisée par madame Vve Houzeau et fils, dont l'usine, aux portes de la ville, reçoit plus de 40.000 mètres cubes de liquide, payé aux filateurs, à raison de 0f,90 l'hectolitre. On les traite par l'acide sulfurique, en vue de neutraliser la soude et de libérer l'huile qu'on épure et qu'on vend aux fabricants de cuir. A Tourcoing, le sieur Tribouillet exerce une industrie analogue. Il réunit les eaux de *tisseuses* aux eaux de lessive, qu'il va chercher chez les divers industriels. Il les vide dans de grandes citernes, où il les brasse avec 0,80 p. 100 d'acide sulfurique concentré. Le dépôt boueux, entraînant des matières grasses, est introduit dans des sacs de laine et soumis à la presse au milieu d'une atmosphère de vapeur d'eau à 100 degrés. L'huile qui découle est épurée par l'acide sulfurique et livrée au commerce. Quant au liquide clair, surnageant dans les citernes, on le décante au moyen de trous ménagés à diverses hauteurs dans la paroi des cuves. On le neutralise par la chaux et on l'évacue quand il offre une réaction alcaline. A Beauvais, on a commencé à utiliser également les eaux d'échets : la grande fabrique de tapis en vend pour quelques milliers de francs à un industriel. Dans le midi de la France, au contraire, ces diverses pratiques sont encore à peu près inconnues.

Le dévidage des cocons donne lieu, à la fois, à des liquides impurs et des résidus solides de nature putrescible. La meilleure manière de se débarrasser des premiers est de les employer sur des terres cultivées. C'est ainsi qu'opère M. Charles Buisson, près de Grenoble. Les eaux des bassines, amenées par un système de tuyaux en cuivre, débouchent

dans un petit bassin souterrain, pourvu d'une grille métallique, où elles déposent la plus grande partie de leurs éléments boueux, qu'on enlève de temps en temps à la cuiller. De là elles se rendent dans une grande citerne étanche, soigneusement voûtée, d'une contenante de 50 mètres cubes. On les retire à la pompe, et on les répand, selon les besoins, sur les terres cultivées qui recouvrent le flanc du coteau au-dessous de la filature. Quant aux chrysalides, M. Buisson les fait disparaître en les écrasant sous une meule et employant dans les bassines la liqueur ainsi obtenue. Cette pratique, qui paraît faciliter la dissolution des parties gommeuses du coton et aussi augmenter le poids de la soie, ne peut guère être en usage que pour les soies jaunes et lorsqu'on ne tient pas expressément à la nuance. Dans les filatures du Gard, on vend ces débris à des *ramasseurs*, qui s'engagent à venir les prendre chaque jour : ils les font sécher en plein air, dans la campagne, et les exportent au loin, comme engrais. Ce produit a été longtemps recherché par les jardiniers d'Hyères, qui le trituraient et le mélangeaient au terreau. Quelques filateurs les consomment eux-mêmes sur leurs propriétés : ils disposent par couches les chrysalides d'une même journée, et les recouvrent de terre et de sable. Ils forment ainsi des tas d'engrais de 1m,50 à 2 mètres de haut, qui n'exhalent pas d'odeurs quand les matières absorbantes ont été associées dans des conditions convenables. On a d'ailleurs perdu à peu près partout l'habitude de laisser traîner les chrysalides dans les cours, pour les donner en pâture aux canards, ce qui entretenait des odeurs infectes dans les établissements.

Au dévidage des cocons, se rattache le traitement des *frisons* et des cocons *bassinés*, lequel donne naissance à des liquides plus ou moins incommodes. Le décreusage des frisons s'opère dans de grands chaudrons de teinturier, avec 20 ou 25 p. 100 de savon blanc et la quantité d'eau nécessaire. La filasse sort d'un blanc très-pur, tandis que la

lessive garde les impuretés. On écoule celle-ci aux cours d'eau, ce qui, vu leur débit habituellement abondant, n'entraîne pas d'inconvénients sérieux. La préparation des cocons bassinés nécessite une sorte de rouissage éminemment insalubre. Les fabriques du Gard et des Cévennes y ont renoncé, et ces déchets sont aujourd'hui manutentionnés en Suisse, à Bâle, Zurich, Gerson, où l'abondance exceptionnelle des eaux prévient le danger d'infection. On s'est mis aussi, depuis quelques années, à les traiter par des procédés chimiques, qui remplacent le rouissage à l'eau. Quelques établissements, à Lille, à Troyes, à Thann, à Saint-Rambert, mettent en pratique ces nouveaux modes, mais nous n'avons pas ouï dire qu'aucun moyen spécial ait été employé pour purifier les résidus.

Rouissage du lin et du chanvre.—Cette opération s'effectue encore presque exclusivement par les voies agricoles. On distingue trois méthodes : 1° à l'eau courante ou dans les rivières et les ruisseaux ; 2° à l'eau stagnante ou dans les mares et fossés ; 3° à la rosée ou sur le pré. Cette dernière pratique, à peu près exempte d'inconvénients pour la salubrité publique, est la moins répandue. A peine est-elle suivie dans trois ou quatre départements, entre autres celui de la Somme, qui est au premier rang sous ce rapport. Les deux autres méthodes se partagent le reste de la France, sans qu'on puisse assigner une région spéciale à chacune d'elles. Tout dépend de l'abondance des eaux dont on dispose. Naturellement on préfère, quand on le peut, rouir dans les rivières, car la plante s'y nettoie mieux, et les odeurs sont moins sensibles. Quant à la corruption des cours d'eau eux-mêmes, elle est en rapport avec leur importance, à peu près nulle dans des fleuves puissants comme la Loire ou le Rhin, et extrême dans les rivières d'un faible débit, comme la Lys, la Sarthe, la Maine, etc. Le rouissage dans les mares, lorsqu'il est pratiqué sur une vaste échelle, paraît offrir des inconvénients plus grands encore. Il déter-

mine des fièvres paludéennes et porte atteinte à la santé du bétail. On recommande de renouveler l'eau fréquemment et de répandre sur les terres cultivées celle qui a déjà servi ; mais comme, d'un côté, les eaux disponibles sont peu abondantes à cette époque de l'année, et que, d'autre part, l'opération marche plus vite dans une eau plus corrompue, cette recommandation n'est pas suivie. On a conseillé aussi de purifier les eaux du rouissage avec la chaux, mais nulle part on ne l'a pratiqué. Une autre recommandation qui s'adresse aussi bien au rouissage des rivières qu'à celui des fossés, c'est, comme on dit dans l'Anjou, *d'érusser* la plante avant de l'immerger, ou de la dépouiller de ses feuilles. Il est constant que la putréfaction est ainsi beaucoup diminuée et que les débris constituent un excellent engrais, mais les cultivateurs reculent devant la main-d'œuvre que cette opération nécessite. Dans le département de la Sarthe lui-même, où la mesure a été plus particulièrement prônée, fort peu de gens pratiquent l'érussage, et l'autorité administrative n'a pas cru devoir, jusqu'ici, le rendre obligatoire. En fait donc, on peut dire que le rouissage agricole n'a pas encore été l'objet d'améliorations essentielles, et qu'à part des mesures administratives qui ont pu, en certains cas, en tempérer les mauvais effets, il continue dans son ensemble à s'exercer dans les mêmes conditions d'insalubrité qu'autrefois. On a cherché de divers côtés à y substituer un mode de rouissage industriel. On a appliqué, dans ces derniers temps, trois sortes de procédés : chimiques, physiques et mécaniques. Les premiers ont été, sans exception, abandonnés (*). Ils consistaient à traiter la plante par certains réactifs, principalement par la soude et la chaux. On leur reprochait d'altérer la fibre et, sans doute aussi, d'être trop coûteux. Les procédés physiques, qui se résument à remplacer l'eau ordinaire par l'eau chaude, commencent à prendre du développement. Le mode le plus suivi est celui qu'emploie M. Cosserat, à Amiens. Le lin est disposé dans des fosses en maçonnerie, de 2 mètres de profondeur, que parcourent les eaux de condensation de la machine à vapeur. Il se produit une fermentation acidule, sans odeur fétide ni émanation dangereuse. Les liquides brunâtres s'écoulent à la Selle, au moyen d'un tuyau qui débouche sous l'eau au milieu de la rivière pour faciliter le mélange. L'opération, au lieu de deux ou trois mois que prend le rouissage ordinaire dans la contrée, dure dix à douze jours en hiver et cinq à six jours en été. Le résultat commercial est des plus satisfaisants.

(*) Celui qui a eu plus de vogue, à un certain moment, était dû à M. Terwangne, de Lille.

M. André, à Brissay-Choigny, près Moy (Aisne), emploie l'eau à une température beaucoup plus élevée. Le lin est introduit dans une cuve en bois à faux fond troué, de 5 mètres de diamètre et 3 mètres de profondeur. A la base est un tuyau d'introduction de vapeur d'eau, terminé en pomme d'arrosoir. La cuve est surmontée d'un couvercle mobile en bois chargé par des pierres. Sous l'influence de la haute température à laquelle le lin se trouve ainsi soumis, le rouissage est très-prompt ; vingt heures en moyenne suffisent. La plante est ensuite retirée et séchée à l'air libre. Les liquides sont utilisés journellement à l'arrosage des terres cultivées. Cette méthode est irréprochable au point de vue de la salubrité ; mais il paraît que la fibre du lin perd une partie de sa force par suite de la violence des réactions.

Les procédés mécaniques sont mis en œuvre d'une manière remarquable par MM. Léoni et Coblentz à Vaugenlieu, près Compiègne (*). Ces industriels se sont posé le problème suivant : supprimer entièrement le rouissage pour le chanvre destiné aux cordages et aux toiles grossières et,

(*) Cette usine, détruite par un incendie en 1864, a été remise en activité un an après. Elle a été honorée de la visite de S. M. l'Empereur.

pour les autres qualités de chanvre et de lin, remplacer le rouissage par un simple dégommage artificiel, n'offrant aucun des inconvénients du rouissage ordinaire. La première partie du problème paraît déjà résolue ; quant à la seconde, dont les inventeurs se disent également assurés, elle n'est pas encore l'objet d'une industrie régulière.

Nous décrirons sommairement les opérations de Vaugenlieu. La plante apportée par le cultivateur est remisée sous des hangars où elle séjourne un temps plus ou moins long, selon les conditions où elle se trouve, et subit une première dessiccation. De là elle va aux séchoirs, sortes de salles dont le plancher est formé par une claire-voie en osier, sous laquelle des tuyaux lancent de l'air fourni par un ventilateur et chauffé par la chaleur perdue des chaudières. La prise d'air est pratiquée dans le local même de ces dernières, au moyen d'une cheminée ouverte à 3 mètres au-dessus du massif. Un registre ménagé dans la conduite permet d'introduire à volonté de l'air frais, de façon à conserver dans les séchoirs une température constante. Ce point paraît très-essentiel, et c'est même, disent ces messieurs, pour l'avoir négligé, que beaucoup d'inventeurs ont échoué. Quand la température est trop basse, la gomme reste adhésive et ne se détache pas aux opérations subséquentes ; quand, au contraire, la température est trop élevée, la plante est plus ou moins altérée et la fibre perd de sa force. MM. Léoni et Coblentz surveillent donc leurs séchoirs avec un soin tout particulier. La plante est placée debout sur les claies, dans sa position naturelle, et se trouve parcourue par l'air tiède, des racines à la tête. Après un séjour de quelques heures, elle est montée à l'étuve du premier étage, chauffée par l'air du séchoir de dessous, et dans laquelle les conditions de température et d'hygrométrie sont nécessairement un peu différentes. Ces messieurs attachent une grande importance à cette succession d'effets. La durée totale de la dessiccation aux deux étuves varie, selon la nature et l'état de la plante, depuis

quatre jusqu'à douze heures. La plante est ensuite reprise et envoyée aux ateliers où elle subit le broyage ou teillage mécanique, qui n'est pas la partie la moins originale du système. Ce broyage comprend trois opérations : 1° un passage dans un seul sens, sous douze paires de cylindres cannelés ; 2° un va-et-vient répété quatre ou cinq fois sous vingt paires de cylindres cannelés, plus fins ; 3° un râclage par une teilleuse de l'invention de MM. Léoni et Coblentz. Il est assez difficile, dans une description aussi rapide que celle-ci, de donner une idée exacte de ces appareils ingénieux, dont le succès est dû moins à une pensée nouvelle qu'à des agencements de détail qui échappent à la simple narration. Bornons-nous à dire que la partie ligneuse est parfaitement détachée, que la gomme et autres matières adhésives voltigent en poussière dans l'atelier, et que la filasse vient en une masse soyeuse, bien assouplie et débarrassée de tous les corps étrangers. Il faut y regarder de près pour reconnaître qu'une certaine proportion de substances solubles, le dixième environ, reste encore dans la fibre. Celle-ci est immédiatement propre à la filature des cordages et des toiles grossières, et est vendue en conséquence aux fabricants. L'usine de Vaugenlieu est actuellement montée de manière à débiter le chanvre produit par 1.000 hectares de terrain.

Le dégommage va être installé sur les bases suivantes. Les chanvres ou lins, teillés comme il vient d'être dit, sont étendus sur une claie et arrangés avec soin pour ne pas s'entremêler. Ils dessinent sur la claie des courbes arrondies. Un certain nombre de chevilles en bois, placées de distance en distance, les maintiennent dans cette position. On met par-dessus une claie toute semblable, s'appuyant bien uniformément sur l'autre et traversée par les mêmes chevilles. On la charge à son tour comme la précédente, on la recouvre pareillement d'une troisième claie, et ainsi de suite. Le système entier est immergé dans de l'eau à 50 degrés, où il séjourne quelques heures. Quand la nature

des substances l'exige, on passe les produits ainsi lavés dans une liqueur légèrement alcaline. Les eaux exemptes de toute fermentation et contenant au plus la dixième partie des principes solubles de la plante, peuvent sans inconvénients, assurent ces messieurs, être écoulées aux ruisseaux. L'ensemble des deux lavages ne prend jamais plus de douze heures. Comme d'ailleurs le teillage mécanique dure à peine quelques minutes, on voit que le chanvre retiré des hangars peut être séché, roui et teillé, en moins de vingt-quatre heures. Le dégommage a déjà été expérimenté en grand dans l'usine que MM. Léoni et Coblentz avaient d'abord montée à Ivry : aussi ne paraissent-ils nullement inquiets sur la réussite commerciale de cette seconde partie de leur programme.

Matières fécales, eaux-vannes. — Bien que souvent, dans les villes, les maisons situées sur le bord des cours d'eau y envoient directement leurs matières fécales, on ne doit cependant considérer cette pratique que comme une dérogation à la règle commune, dérogation plutôt tolérée que permise, et l'on ne saurait y voir une cause générale d'infection (*). Il n'en est pas de même des eaux-vannes, qui, dans la plupart des villes, n'ont encore d'autre destination que d'aller grossir le flot d'impuretés des égouts ou des cours d'eau. Les moyens propres à faire disparaître cette dernière cause d'infection rentrent donc dans la catégorie de ceux que nous avons à examiner dans ce travail.

Les eaux-vannes ont deux origines. Elles proviennent :

(*) L'évacuation des matières fécales aux cours d'eau était autrefois très-répandue. On en voit encore aujourd'hui de nombreux vestiges : c'est ainsi que l'Odon à Caen, l'Orne à Alençon, le Crinchon à Arras, la Sarthe au Mans, le Lot à Cahors, le Tarn à Montauban, etc., servent d'exutoire aux latrines de la plupart des maisons qui les bordent. Les grandes villes elles-mêmes, telles que Rouen, Nantes, Bordeaux, etc., en offrent plusieurs exemples. Mais dans les unes comme dans les autres, la coutume tend tous les jours à se restreindre, par suite de l'attention croissante que les municipalités accordent aux organes souterrains de la vie des cités.

1° de la vidange des fosses ou du fonctionnement des appareils séparateurs ou diviseurs ; 2° du traitement des matières fécales et de leur conversion en *poudrette*. En ce qui concerne la vidange, les procédés ont consisté, jusqu'ici, à obtenir une désinfection préalable, plus ou moins complète, des liquides au moyen des divers agents chimiques dont nous avons déjà eu occasion de parler au sujet du curage des fosses; dans ces conditions, les liquides sont admis aux égouts ou aux rivières. Mais la désinfection ainsi obtenue n'est que momentanée : les expériences faites en plusieurs pays montrent en effet que les éléments organiques laissés dans les eaux ne tardent pas à reprendre leur tendance putrescible. Ces procédés sont donc éminemment défectueux au double point de vue de l'agriculture, qui se trouve ainsi privée d'un engrais précieux, et de la salubrité publique, qui n'est point à l'abri d'inconvénients ultérieurs.

Les appareils diviseurs soit fixes, soit mobiles, ont pour résultat de séparer les eaux-vannes, d'une manière continue, tandis que, dans les fosses ordinaires, elles sont séparées seulement au moment de la vidange. La plupart du temps, les liquides sont évacués sans désinfection préalable, en sorte que les inconvénients sont absolument les mêmes que ceux dont nous venons de parler. Au nombre des procédés ayant en vue de les diminuer, nous ne rangerons pas l'usage, de plus en plus répandu, d'une eau abondante dans les cabinets. Il est incontestable que les principes infectants ont ainsi moins de tendance à se putréfier; mais cette mesure, toute de propreté, a essentiellement en vue la préservation de l'habitation, et nullement celle des évacuateurs eux-mêmes. Nous citerons, au contraire, comme tendant directement à ce but, le nouveau système de fosses mobiles filtrantes de MM. Blanchard et Château. Ces inventeurs se sont proposé de retenir, au profit de l'agriculture, la totalité des principes fertilisants contenus dans les matières fécales, et de n'évacuer que des liquides parfaitement dépouillés de tout élément

fermentescible. La méthode est fondée sur la réaction connue du phosphate acide de magnésie, lequel, en présence de l'ammoniaque des excréments, forme du phosphate ammoniaco-magnésien qui se fixe dans les résidus solides. La partie originale de l'invention réside, d'une part, dans le mode de fabrication du réactif, dont le prix de revient a eté considérablement abaissé (*), et, d'autre part, dans l'agencement des appareils destinés à en utiliser les propriétés.

La fosse mobile, ou tinette, consiste dans un petit tonneau de bois à double fond, d'une capacité de 90 à 100 litres (environ $0^m,60$ de haut sur $0^m,45$ de diamètre moyen) (**). Le fond supérieur formant filtre, placé à 6 centimètres au-dessus du fond inférieur, est percé de trous de 6 à 7 milimètres de diamètre. On place au-dessus : 1° une claie en osier, destinée à arrêter les matières et à préserver le filtre ; 2° 5 litres de matière poreuse, de préférence du crottin de cheval, sur lequel on éparpille un litre de sulfate de magnésie solide ; 3° 5 litres de crottin arrosé avec un litre d'acide phosphorique liquide. Ces deux corps, par leur réaction mutuelle et en présence de l'ammoniaque, donnent naissance au phosphate acide de magnésie et, par suite, au phosphate ammoniaco-magnésien. La tinette ainsi garnie est placée sous le tuyau de chute des latrines. Au fur et à mesure que les matières y tombent, une vive effervescence se produit par suite de la décomposition du carbonate d'ammoniaque. Le dégagement favorise le mouvement ascensionnel des agents chimiques, qui continuent à agir, lors même que la couche de matières au-dessus d'eux atteint une épaisseur de 40 centimètres. C'est à ce moment qu'on vide l'appareil pour l'approprier à nouveau. On en retire de 50 à 60 litres de solides, constituant un engrais de premier ordre. D'après le programme des inventeurs, la destruction des odeurs devrait être complète et les liquides qui s'écoulent entre les deux fonds devraient être à peu près dépouillés de principes fertilisants. Il est difficile d'admettre que ce double résultat soit obtenu ; car si l'ammoniaque est fixée, d'autres éléments odorants, comme l'hydrogène sulfuré, et certaines émanations *sui generis*, ne sauraient être retenus par les mêmes réactifs. En ce qui concerne les liquides, il y a deux réserves à faire : d'une part, une portion de l'ammoniaque doit être entraînée à l'état de sulfate, et d'autre part, le phosphate ammoniaco-magnésien, insoluble dans les urines, ne l'est pas dans l'eau pure. Or les habitudes modernes, dans les grandes villes surtout, tendent de plus en plus à accroître le volume d'eau qui s'écoule avec les matières fécales. Les eaux-vannes des tinettes doivent donc être sensiblement chargées. En fin de compte, cependant, il reste établi, d'après ce que nous avons vu à Mettray, que l'infection est beaucoup moindre avec ces appareils qu'avec les fosses ordinaires ; il y a là certainement un progrès à la fois sanitaire et agricole qui mérite d'être examiné (*).

(*) « Nous sommes arrivés, disent MM. Blanchard et Château, tant « par l'application industrielle perfectionnée par suite des moyens « de laboratoire, que par des procédés nouveaux, à fabriquer :

« 1° L'acide phosphorique libre à 35 degrés Beaumé, au prix de « $0^f,50$ le kilogr., produit qui n'est livré actuellement aux labora- « toires qu'aux prix inabordables de 45, 65 et 100 fr. le kilogramme ;

« 2° Le phosphate acide de magnésie à 35° Beaumé, au prix de « $0^f,15$ le kilogramme.

« Nous ferons remarquer en passant que ce sel est complétement « inconnu dans le commerce des produits chimiques et qu'il n'est « même pas fabriqué pour les besoins du laboratoire. »

Voici le mode de fabrication que nous avons vu appliquer par ces messieurs dans leur usine de la rue Château-des-Rentiers à Paris. Les os en morceaux (non pulvérisés) sont attaqués par la moitié de leurs poids d'acide sulfurique. On sépare par filtration le phosphate acide de chaux qu'on concentre à 35°. On le traite ensuite par 7 p. 100 d'acide sulfurique concentré, lequel précipite la chaux et libère l'acide phosphorique qu'on isole par filtration et lavage. Pour obtenir le phosphate acide de magnésie, on décompose le phosphate acide de chaux par le sulfate de magnésie.

(**) La tinette dont nous donnons ici la description est celle qui est actuellement employé à la colonie de Mettray.

(*) Les procédés de MM. Blanchard et Château ont été très diversement appréciés. A Mettray, où toutes les latrines de la colonie

Il convient de mentionner ici un projet très-intéressant, auquel le nom de son auteur prête une importance toute particulière : nous voulons parler du projet de M. le préfet de la Seine, consistant à mettre les fosses d'aisances en communication avec des conduites spéciales pratiquées dans l'un des pieds-droits ou sous l'une des banquettes des égouts. Des machines à vapeur, agissant par aspiration sur l'ensemble de ces conduites, refouleraient les matières dans des réservoirs éloignés, où elles seraient offertes à l'agriculture. On trouvera à la Note *h* l'exposé officiel de ce projet, qui n'a pas encore eu de suite.

La conversion des matières fécales en poudrette est, comme on sait, une opération des plus barbares, qui a pour résultat de perdre les 9/10 des principes fertilisants contenus dans l'engrais, et qui, en même temps qu'elle in-

fonctionnent actuellement d'après ce système, on s'en loue beaucoup. A Marseille, le directeur des travaux de la ville, M. Gassend, nous a dit être suffisamment édifié pour proposer l'adoption de ces appareils dans toutes les maisons, et l'admission des liquides aux égouts. En regard de ces adhésions considérables, la ville de Toulouse, où fonctionnent pourtant 5 ou 600 de ces appareils, ne paraît pas disposée à en étendre le nombre. Une commission du conseil d'hygiène, dont faisait partie un habile chimiste, M. Filhol, a trouvé les eaux-vannes trop impures pour qu'on pût les rejeter dans les égouts. M. Filhol estime, en outre, qu'à mesure que la tinette se remplit, la réaction s'y fait d'une manière de moins en moins complète, et, pour ainsi dire, seulement le long des parois. Enfin, divers fabricants d'engrais, M. Rohart à Paris, M. Commandré à Bordeaux, etc., nous ont paru peu favorables à ce système.

Il est superflu d'ajouter que l'emploi des réactifs de MM. Blanchard et Château n'est pas restreint aux tinettes filtrantes. Ces industriels proposent de les appliquer d'une manière générale pour la « fixation de l'ammoniaque libre ou faiblement combinée, contenue « dans toutes les matières ammoniacales liquides, ou fluides, ou so- « lides, comme les matières fécales telles qu'elles se trouvent dans « les fosses, les usines, les eaux de gaz, les boues et immondices « des villes, les eaux du rouissage des matières textiles, les eaux « infectes des amidonniers, des fabricants de colle et de gélatine, « les fumiers de ferme, les engrais facilement putrescibles, etc., « etc.... » (*Extrait d'un Mémoire de MM. Blanchard et Château.*)

fecte l'atmosphère, abandonne des liquides éminemment putrescibles. L'établissement le plus considérable en ce genre est celui de Bondy, qui reçoit le contenu des tonneaux à vidange de tout Paris, soit près de 2.000 mètres cubes par jour. Les matières y parviennent à l'état fluide par l'intermédiaire d'un tube souterrain de 30 centimètres de diamètre, partant du dépotoir de la Villette, et dans lequel une machine à vapeur agit par voie de refoulement. Elles sont reçues dans sept bassins successifs, d'une superficie totale de 15 hectares et d'une contenance de 160.000 mètres cubes environ. Le séjour, dans chaque bassin, dure à peu près six mois, en sorte que les matières mettent trois ou quatre ans pour se convertir en poudrette. Elles n'arrivent à cet état final qu'après avoir perdu, non-seulement une grande quantité d'eau, mais encore une énorme proportion d'éléments fertilisants, qui s'échappent en empestant la contrée. Les liquides du dernier bassin, jugés suffisamment appauvris, sont lâchés à la Seine, au moyen d'un siphon, en aval de Saint-Denis. Le volume ainsi refoulé dépassait naguère 50.000 mètres cubes par an. Le progrès de ces derniers temps a consisté à exploiter ces eaux pour la fabrication des sels ammoniacaux et à évacuer conséquemment des liquides beaucoup moins chargés qu'auparavant. Une importante usine vient d'être fondée par la Compagnie Richer, sous la direction de M. Margueritte, qui est en voie d'introduire d'ingénieux perfectionnements dans cette industrie naissante. Les eaux sont distillées dans l'appareil connu vulgairement sous le nom de *chauffe-vin*. La vapeur qui barbotte sur les divers plateaux entraîne avec elle le carbonate d'ammoniaque, qu'on recueille dans un condenseur. On concentre la liqueur, on la traite par l'acide sulfurique, et l'on obtient le sulfate d'ammoniaque par voie de cristallisation. Quand nous avons vu l'usine, M. Margueritte se proposait de traiter par l'acide sulfurique la moitié seulement du carbonate et d'employer l'acide carbonique dégagé à

faire passer l'autre moitié à l'état de bicarbonate, qu'on ferait réagir ensuite sur du sel marin, de façon à avoir du bicarbonate de soude et du chlorhydrate d'ammoniaque. Peut-être même sera-t-on amené à traiter ainsi la totalité du carbonate, ce qui obligerait à avoir une source directe d'acide carbonique.

Les eaux-vannes du septième bassin, traitées comme il vient d'être dit, ont fourni en 1865, première année de la fabrication en grand, 318.000 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque, pour 33.000 mètres cubes de liquides. On comptait traiter prochainement 200.000 mètres cubes et opérer non-seulement sur les eaux épuisées, mais aussi sur les eaux d'arrivages, auxquelles on ferait subir une filtration sommaire en les faisant passer à travers des grilles. La question est de savoir si avec de pareils liquides les appareils ne seront pas trop souvent engorgés : ainsi, en mai et juin 1864, on a été obligé, pour cause d'engorgement d'interrompre les opérations qu'on pratiquait sur les urines. Quoi qu'il en soit, le traitement seul des eaux perdues constitue déjà un progrès hygiénique important.

Au-dessus de tous ces procédés, on doit mettre ceux qui ont en vue l'utilisation directe des matières pour l'agriculture, sans perte ni écoulement d'aucune sorte; malheureusement ils sont encore peu répandus. Sauf dans quelques départements du nord et de l'est et dans un petit nombre de villes de l'intérieur, les matières sont totalement perdues ou converties en poudrette (*). Il convient de dire que l'emploi sur les terres n'est pas exempt de difficultés : les liquides trop actifs nuisent aux plantes, et le séjour des excréments sur le sol engendre parfois des odeurs intolérables (**). Ce

(*) On doit applaudir aux efforts persévérants de M. Mille pour vulgariser en France l'usage des matières fécales à l'état naturel. Les expériences faites à la ferme de Vaujours resteront comme un utile enseignement.

(**) Nous avons pu en juger personnellement dans une maison de campagne aux environs de Bordeaux.

serait une précieuse étude de rechercher quelles sont les pratiques, compatibles avec l'intérêt agricole, qui pourraient sauvegarder la salubrité. On verrait ainsi si les matières peuvent être employées sans préparation, pour certaines cultures et à certaines époques de l'année, ou s'il faut les mélanger préalablement avec des substances absorbantes ou de la terre, ou même en fixer les éléments odorants à l'aide de quelque réactif.

Divers. — Il existe bien d'autres industries donnant lieu à des résidus infectants; mais les procédés ne diffèrent pas sensiblement de ceux que nous avons déjà décrits. Ainsi, l'arrosage des terres, ou l'utilisation des boues comme engrais, dont nous avons indiqué déjà plusieurs exemples, réussit dans bon nombre d'autres cas : tel est notamment le mode d'opérer à la fabrique de gélatine de M. Xardel, près Nancy, à la tannerie de M. Herrenschmidtt, près Strasbourg, dans diverses blanchisseries des environs de Paris, etc., etc. En ce qui concerne particulièrement les blanchisseries, le moyen ne réussit que dans certaines conditions, telles qu'une grande perméabilité du sol, une végétation très-active, et surtout une étendue considérable de terrain par rapport au volume des liquides à évacuer. Sans cela on est exposé à une obstruction très-rapide du sol, ainsi que cela avait lieu, par exemple, à Mérignac, près Bordeaux, avant qu'on eût ouvert un débouché suffisant aux eaux des nombreux lavoirs établis en ce point : les prairies basses où ces eaux se déversent étaient, selon l'expression du conseil d'hygiène, transformées en « marais savonneux. » Un autre moyen d'un usage également répandu, c'est la purification par la chaux. Aux industries que nous avons déjà eu occasion de citer, nous pourrions en ajouter plusieurs, entre autres les fabriques de garance d'Avignon, qui commencent à neutraliser les eaux chargées d'acide sulfurique qu'elles évacuent à la rivière. Enfin, une

méthode qui tend de plus en plus à se répandre et qui atteste le progrès industriel, c'est de tirer parti des résidus en les faisant concourir à quelque branche de fabrication. Les usines à gaz ont réalisé, sous ce rapport, des améliorations remarquables. On peut y joindre certaines fabriques de bougies qui recueillent les graisses avec grand soin, les manufactures de tabacs, qui se sont mises à utiliser le jus de macération des cigares, quelques blanchisseries qui ont tenté d'exploiter le savon contenu dans les eaux de lavage, etc., etc. Nous ne pousserons pas plus loin cette énumération qui nous entraînerait dans trop de détails.

2° *Moyens généraux.*

Puits absorbants. — Un premier moyen général, déplorable au point de vue de la salubrité du sol, consiste dans l'usage des puisards ou puits d'absorption. On sait à quelles conditions ces évacuateurs peuvent fonctionner sans inconvénients (*), mais elles se trouvent si rarement réunies dans un même lieu, et leur détermination exigerait une telle sagacité de la part des intéressés, qu'on doit s'attendre *à priori* à ce que tout puisard devienne, tôt ou tard, une

(*) Ces conditions ont été définies par M. Chevreul, de la manière suivante : « Les boit-tout, sorte de puits creusés dans le sol avec « l'intention d'y faire écouler les eaux qui sont à sa surface, n'ont « d'efficacité qu'à trois conditions :

« La première est que le liquide qu'on fera écouler dans les boit-« tout ne corrompent pas la nappe d'eau potable qui alimente les « puits et les sources d'eau servant aux usages économiques du « pays où les boit-tout seront creusés.

« La seconde est que les boit-tout aient leur fond dans une couche « parfaitement perméable ; autrement le terrain, bientôt saturé, ne « permettra plus au boit-tout d'absorber l'eau.

« La troisième est que la couche perméable où se rendra l'eau « qu'on veut évacuer de la superficie du sol, étant située au-des-« sous de la nappe d'eau qui alimente les puits du pays, cette « couche perméable ne conduira pas les eaux dans une nappe d'eau « servant à l'économie domestique d'un pays autre que celui où le boit-tout est creusé. »

cause permanente d'infection. C'est ce qu'on a vu dans le département du Nord, où, à une certaine époque, ce mode d'écoulement s'était tout à fait généralisé dans les établissements industriels, notamment dans les distilleries. Les nappes d'eau souterraine furent corrompues, le sol s'imprégna de résidus fermentescibles, et souvent même ces cavités naturelles s'obstruant graduellement, le terrain finit par rejeter les liquides qu'on avait voulu lui faire absorber. On cite à cet égard des faits vraiment curieux, qui montrent jusqu'où peuvent aller les inconvénients de cette fâcheuse pratique (Note *i*). Fort heureusement elle tend beaucoup à se restreindre, et la plupart des grandes villes l'ont entièrement abandonnée. Dans celles qui la conservent encore, on ne saurait douter que les progrès de la canalisation souterraine n'amènent bientôt un autre état de choses (*).

Procédés agricoles. — Leur emploi est encore à peu près nul. Nous ne connaissons que deux localités d'importance où l'on utilise les eaux d'égout, encore est-ce d'une manière fort imparfaite : Montpellier et Saint-Étienne. Dans l'une et l'autre de ces villes, les liquides d'égout sont enrichis par les matières fécales des maisons qui s'y déchargent régulièrement.

A Montpellier, un membre du conseil d'hygiène, agriculteur distingué, M. Marès, dont nous avons déjà parlé à l'occasion du chaulage des vinasses, a également pris

(*) On est surpris de voir Dijon, une des villes les plus éclairées de France, conserver une coutume aussi barbare. Même dans les rues pourvues d'égout, la plupart des maisons envoient leurs eaux ménagères dans des boit-tout de quelques mètres de profondeur, situés dans les cours. Un grand nombre de puits alimentaires ont été ainsi infectés. Les habitants s'en émeuvent peu, parce qu'ils ont une distribution d'eaux publiques; mais s'ils sont à l'abri de ce côté, ils n'en sont pas moins exposés à l'insalubrité qu'entraîne l'infection même du sol.

l'initiative d'employer sur ses terres les résidus de la ville. Le grand égout collecteur, qui reçoit un tiers des eaux de fontaines et des immondices de Montpellier, se décharge au Verdanson, dans la propriété même de M. Marès. Ce dernier a canalisé le lit du ruisseau, ou plutôt a installé latéralement une conduite à ciel ouvert de $0^m,40$ de large sur $0^m,50$ de profondeur, laquelle amène les liquides à 300 mètres plus loin, dans des bassins de 30 mètres de long sur 12 mètres de large, où leur cours se ralentit naturellement beaucoup. La plupart des matières solides ou pâteuses, excréments, poils, débris d'abattoirs, résidus des fabriques de tartre, etc., se déposent graduellement. Deux ou trois fois par semaine on extrait, au moyen d'une noria, la boue semi-fluide ainsi formée et on l'étend en couche mince sur des plates-formes où elle se dessèche au vent et au soleil en quelques heures. Dans les mois d'hiver où cette dessiccation ne marcherait pas assez promptement, on met la boue dans des réservoirs. Tout cela peut se faire sans répandre d'odeur, grâce à la sécheresse exceptionnelle du climat de Montpellier et à l'absence de fermentation des matières. Le débit du collecteur, relativement faible, par suite de la nature du climat et des habitudes de la population, varie de 250 à 500 mètres cubes par vingt-quatre heures. Le volume d'engrais sec obtenu est d'environ 10 mètres cubes par semaine, mais les eaux sont loin d'être épuisées, et M. Marès reconnaît qu'en donnant plus de développement aux bassins, on retirerait une proportion d'engrais beaucoup plus considérable. Les liquides, après avoir déposé, sont, selon la saison, restitués au Verdanson, ou utilisés pour la culture. Dans ce dernier cas, on les mélange, en proportion variable, à l'eau de puits à roue, construits pour l'arrosage des jardins maraîchers, et on les répand ensuite sur 3 hectares et demi de terrain, où ils produisent les meilleurs effets. Le sol n'est pas drainé, mais offre naturellement une grande perméabilité. Cette

irrigation se pratique pendant les mois de printemps et d'été.

A Saint-Étienne, les opérations sont beaucoup moins méthodiques, étant abandonnées à l'initiative d'une foule de petits cultivateurs qui agissent indépendamment les uns des autres; en revanche, elles portent sur la totalité des immondices de la ville. Tous les égouts, enrichis des matières fécales qui y tombent directement, se réunissent dans le Furens, petits cours d'eau qui traverse Saint-Étienne et qui sert de collecteur général. Sur tout son parcours, jusqu'à la Loire, ses eaux sont utilisées pour irriguer les prairies, en sorte qu'elles sont, en grande partie, purifiées quand elles arrivent au fleuve. Il suffit de parcourir la vallée du Furens, de Saint-Étienne à Andrezieux, pour être frappé des résultats qu'a donnés cette utile pratique : les prairies sont vraiment d'une végétation magnifique. Quant aux odeurs, elles sont à peu près nulles sur les points mêmes des irrigations. Elles ne se produisent qu'à la sortie de Saint-Étienne, là où le Furens cesse d'être couvert.

Divers. — Nous ne pouvons terminer ce sujet sans mentionner quelques-unes des propositions qu'a suggérées, dans ces derniers temps, la question de l'emploi des eaux d'égout, particulièrement à Paris. L'opinion publique est frappée, à bon droit, de l'énorme déperdition d'engrais à laquelle donne lieu l'écoulement en Seine des égouts de cette grande cité. Bien que ces égouts ne communiquent point avec les fosses d'aisances, ils ne laissent pas de charrier une proportion considérable de matières fertilisantes, non-seulement par les immondices qui leur arrivent de la rue et par les eaux ménagères des maisons, mais aussi par les eaux-vannes des fosses, qui tendent de plus en plus à s'y déverser. On peut même prévoir que si, comme on doit le souhaiter pour la salubrité publique, les fosses mobiles, à défaut d'un système plus parfait, finissent par prévaloir,

et parmi ces dernières, les appareils à filtre, les matières fécales passeront presque en totalité dans les égouts, et que les réceptacles, devenus purement nominatifs, n'arrêteront plus guère que les corps étrangers, tels que papiers, linge, débris, etc., etc... Dès lors, les égouts seront les véritables véhicules des déjections de Paris, ainsi que cela a déjà lieu pour la ville de Londres. L'utilisation de pareilles richesses est donc un problème qu'il n'est pas permis de négliger (*), et dont l'importance économique vient ajouter aux considérations déjà si graves, tirées de la salubrité.

Les solutions à l'ordre du jour sont de deux sortes : les unes *chimico-agricoles* et les autres exclusivement *agricoles*. Les premières, qui ne diffèrent entre elles que par la nature des agents chimiques employés, ont pour but commun de séparer, à l'aide d'un réactif, tout ou partie des principes fertilisants, et de fabriquer ainsi des engrais solides, tandis que les liquides plus ou moins purifiés retourneraient directement à la rivière. On n'est point fixé sur les détails matériels d'exécution, sur la disposition à donner aux bassins, sur le système de filtrage, etc... La discussion a porté principalement sur la nature de l'agent chimique. Nous ne donnerons pas la nomenclature de tous ceux qui ont été préconisés. Le dernier en date, et sur lequel l'attention semble en ce moment plus particulièrement appelée est le phosphate acide de magnésie, ou le mélange d'un phosphate avec un sel de magnésie, fournissant également le moyen de précipiter l'ammoniaque à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. Les appareils de MM. Blanchard et

(*) En Angleterre, où l'on a beaucoup cherché à chiffrer la valeur commerciale des divers engrais, les appréciations les plus modérées s'accordent à attribuer une valeur minimum de 10 francs par tête et par an, aux matières fertilisantes provenant des villes. A ce compte, pour la ville de Paris, ce serait une valeur annuelle de 20 millions de francs.

Château sont, on se le rappelle, fondés sur cette réaction, et ces inventeurs ont proposé d'en étendre le principe aux eaux d'égout. Mais on trouve la même idée généralisée et traitée avec une plus grande supériorité de vues dans une brochure anonyme, parue récemment, où il n'est pas difficile de reconnaître une plume exercée (*); aussi cet opuscule, malgré sa forme modeste, doit-il être considéré comme le manifeste d'une classe nombreuse de personnes qui s'occupent activement de la question des eaux d'égout de Paris.

Les solutions purement agricoles se résument dans l'em-

(*) *Note sur l'application de la magnésie à la fabrication des engrais*, 1865. On y lit, sous le titre *Engrais liquides* : « L'utilisation des engrais liquides, particulièrement des eaux d'égout, offre « de sérieuses difficultés ; il n'est pas partout possible de les appliquer aux irrigations, ou ce résultat ne pourrait être atteint, dans « beaucoup de cas, qu'au moyen de dépenses d'installation considérables. A Paris, en particulier, l'extrême morcellement de la « propriété, dans le voisinage immédiat de la ville, peut être encore une difficulté plus grande que le relief du sol. Il importe « donc, aussi bien dans l'intérêt de la salubrité publique que dans « celui de l'agriculture, de chercher une solution générale qui permette de condenser sous un petit volume la plus grande somme « possible des matières utiles disséminées dans les résidus liquides « des grandes villes, et de ne rejeter dans les cours d'eau que des « liquides désinfectés et clarifiés.

« Ce qui serait possible pour les eaux d'égout deviendrait facile « pour les eaux-vannes de vidanges.

« Ce double but paraît susceptible d'être atteint d'une manière « plus ou moins satisfaisante, suivant le degré de richesse des eaux « à traiter, au moyen d'une *défécation obtenue par la précipitation « dans le liquide, de matières gélatineuses propres à fixer l'ammoniaque sous la forme de phosphate ammoniaco-magnésien*....

« Si des essais qui se poursuivent actuellement pour la fabrication du phosphate neutre ou bibasique de soude au moyen des « coprolites et du sulfate de soude, réussissent industriellement, « comme il y a lieu de l'espérer, la défécation et la fixation de l'ammoniaque pourront être obtenues mieux encore par l'addition du « phosphate de soude et d'un sel de magnésie; l'intervention de la « chaux pourra être encore nécessaire pour constituer l'ammoniaque, et surtout pour neutraliser l'acide carbonique qui pourrait « retenir partiellement les phosphates terreux en dissolution. »

ploi des liquides naturels pour l'arrosage des terres cultivées. Le problème n'a été sérieusement étudié jusqu'ici que pour la ville de Paris. L'exposé le plus précis qu'on en ait est celui de M. l'ingénieur en chef Mille, qui a discuté avec son talent habituel les points principaux du débat et a condensé ses réflexions dans quelques pages saisissantes que nous reproduisons à la Note *k*. L'autorité qui s'attache au nom de M. Mille et la date récente de cette publication ne permettent pas de la considérer comme une œuvre purement spéculative, mais on doit y voir, au contraire, une pensée éminemment pratique qui ne sera pas sans influence sur les conseils de la ville de Paris. Une idée peu différente a été émise par M. Aristide Dumont, dans le projet de drainage et de refoulement mécanique des eaux d'égout, qu'il a étudié en 1862. Ce projet comporterait d'ailleurs l'abolition des fosses d'aisances et le déversement des matières fécales aux égouts (*).

Il est difficile de prévoir laquelle de ces solutions prévaudra. On doit souhaiter que ce soit celle des irrigations,

(*) « Les machines d'Asnières, dit cet ingénieur, enverraient les « eaux dans trois directions différentes. Un premier tuyau suivrait la « direction du chemin de fer du Nord pour se bifurquer ensuite au « delà de l'Oise, en deux branches, l'une allant aboutir dans les en- « virons de Montdidier et l'autre du côté de Gournay. Le second « tuyau suivrait la ligne de l'Est et se bifurquerait aussi en deux « branches, l'une allant sur les plateaux de la Brie, et l'autre du « côté de Villers-Coteretz. Le troisième tuyau, enfin, suivant la di- « rection du chemin de fer de l'Ouest, irait porter les eaux-vannes « d'un côté sur les plateaux de la Beauce et de l'autre côté vers « Dreux. Sur tout le parcours de ces tuyaux, il serait établi, de dis- « tance en distance, des prises d'eau ou des bureaux de vente d'en- « grais liquide; chaque tuyau serait terminé à son extrémité par un « réservoir dont le trop-plein se déverserait dans le cours d'eau le « plus voisin. »

A l'appui de l'intérêt agricole, M. Dumont fait observer que l'on économiserait ainsi les frais considérables de vidanges qu'entraîne le système actuel, et qui ne paraissent pas être moindres que 5 à 6 millions de francs par an.

car non-seulement on utilise mieux ainsi les matières fertilisantes, mais on sauvegarde bien davantage les intérêts de la salubrité publique. Ce n'est pas, en effet, une chose aisée que d'opérer le brassage de réactifs chimiques avec une aussi formidable quantité de liquide. Le curage des bassins offre de sérieux embarras et les boues développent des odeurs dangereuses, pour peu que leur séjour se prolonge. Or c'est une éventualité à laquelle on ne saurait échapper, quand on opère sur une si vaste échelle. Ces considérations ont paru tellement déterminantes en Angleterre, qu'à l'époque où l'on expérimenta la désinfection des eaux d'égouts de Londres, il fut déclaré par les savants commissaires préposés aux essais chimiques que des établissements ayant en vue de semblables opérations constituaient un voisinage des plus dangereux. Avec la méthode d'arrosage, ces difficultés disparaissent en grande partie, car l'épuration sommaire à laquelle on soumet les liquides, et qui consiste à en séparer les corps flottants et les sables, ne fournit point de résidus offrant le caractère putrescible des boues précipitées par un agent chimique. En outre, le curage est bien moins fréquent et l'on est dispensé de l'opération si compliquée du brassage. Enfin, les surfaces nécessitées pour l'épuration des liquides sont infiniment moins considérables que dans la méthode chimique, car, avec celle-ci, il faut des bassins de dépôt assez vastes pour que les éléments boueux perdent leur vitesse et se précipitent entièrement avant la sortie des eaux. On doit redouter, surtout en été, le nettoyage de semblables réservoirs. Tout se réunit donc pour faire préférer la méthode agricole, en tant du moins que son application peut être conciliée avec les circonstances naturelles dans lesquelles on se trouve placé (*).

(*) Le voyage que nous venons de faire en Angleterre, en cours de publication du présent rapport, nous a montré le problème résolu pour la ville de Londres. Les eaux d'égout de cette immense cité seront utilisées pour l'arrosage des terres.

V. Infection du sol.

Toutes les sources d'infection des eaux sont en même temps des sources d'infection du sol ; car, si les résidus ne sont pas emportés par des cours d'eau suffisamment rapides et abondants, ou si les parois des évacuateurs ne sont pas tout à fait étanches, le sol est souillé inévitablement. Par conséquent, tous les procédés de nature à purifier les résidus ou à en prévenir l'écoulement, sont aussi des moyens de préservation du sol. Mais, indépendamment des causes diverses d'infection que nous avons examinées au chapitre précédent, et sur lesquelles nous ne reviendrons pas, il en est d'autres, inséparables de la vie des cités, qui concourent plus puissamment encore à souiller leurs emplacements; ce sont :

Les infiltrations des eaux sales répandues à la surface, ou même coulant dans les égouts (*);

Celles des fosses d'aisances, des puisards et autres dépôts d'ordures;

Les fuites du gaz de l'éclairage;

Et, d'une manière générale, toutes les circonstances qui

(*) Les infiltrations dues aux vices de construction des égouts sont plus fréquentes qu'on ne le pense généralement. Il y a des villes, comme Montpellier, où le radier des égouts n'est pas maçonné. Presque partout, les galeries d'ancienne date sont fissurées sur les diverses faces. Ces défectuosités compromettent souvent, d'une manière grave la salubrité des maisons voisines. Ainsi, à Roubaix, où des aqueducs plus ou moins étanches sont établis sous le trottoir et tout à côté des murs de fondation des maisons, il est arrivé que l'eau s'est introduite dans les caves et a corrompu les puits alimentaires. On cite notamment une cave, dans la rue de l'Épaule, où l'eau s'est élevée à une hauteur de 50 centimètres et formait une sorte de mare infecte d'où se dégageaient en abondance des odeurs de suint et d'acide sulfhydrique, engendrées par les eaux de lavage des laines qui se déchargent dans l'aqueduc.

ont pour résultat d'amener la décomposition, dans le sol, de matières organiques loin d'une quantité suffisante d'oxygène.

Cette infection réagit, à son tour, sur l'atmosphère et sur les eaux potables souterraines, et devient ainsi doublement préjudiciable à la santé publique. Elle est, en outre, accompagnée d'une humidité qui, indépendamment des mauvaises odeurs, constitue par elle-même une cause grave d'insalubrité. Les fosses d'aisances y contribuent au premier chef. Celles mêmes qui sont établies dans les meilleurs conditions finissent toujours par livrer passage aux liquides qu'elles reçoivent. Les fouilles accomplies depuis quelques années à Paris et dans les principales villes, témoignent que le terrain est constamment souillé aux alentours des fosses d'aisances. Que ne doit-on pas redouter, quand on songe à ce que sont ces réceptacles dans la plupart des villes de province? Il n'y en a pas une où l'on applique régulièrement les mesures de précaution en vigueur à Paris. Souvent même les fosses n'ont pas de fond et ne sont en réalité que des puisards. A Dieppe, par exemple, les liquides s'écoulent incessamment dans la nappe souterraine qui communique avec la mer. A Rouen, bon nombre de puits reçoivent de tels apports de cette nature, que non-seulement l'eau est impropre à la boisson, mais qu'elle a pris l'odeur et la teinte des eaux-vannes. Des cités de premier ordre, telles que Bordeaux, n'échappent pas à ce genre d'inconvénients ; beaucoup de fosses y ont un fond perméable et la plupart des puits y sont infectés. Dans les villes de faible importance ou dans les faubourgs des grandes villes, les fosses d'aisances, en règle générale, ne sont pas maçonnées et se réduisent, le plus souvent, à de simples trous creusés dan le sol. Mais cela n'est rien à côté des localités qui n'ont pas même ces réceptacles élémentaires : là, les immondices sont entassés dans les arrière-cours, ou même étendus publiquement dans les rues, sur des couches de paille ou de

feuilles (*). On a ainsi tous les genres d'infection à la fois : du sol, par les infiltrations souterraines, des eaux par l'écoulement à la surface et de l'atmosphère par les miasmes qui se dégagent.

Les déplorables habitudes hygiéniques d'une grande partie de la population ont suggéré au gouvernement, il y a une quinzaine d'années, une excellente mesure qui a déjà porté ses fruits : nous voulons parler de l'institution des *commissions des logements insalubres*. Ces commissions, bien qu'ayant spécialement en vue les conditions d'installation

(*) Quiconque n'a pas visité certains départements du centre et du midi, ne peut se faire une idée de la malpropreté révoltante qui y règne. Il n'est pas rare de voir dans les rues des couches de 20 centimètres d'épaisseur de fumier, formé et exploité par les habitants. Dans les petites localités, avoisinant la montagne, où la paille manque, on la remplace par du buis, dont la décomposition nauséabonde ajoute encore aux odeurs des immondices. Le tout est arrosé par les eaux ménagères des maisons, et quelquefois même par des résidus industriels. M. Dumas, secrétaire du conseil d'hygiène de l'Hérault, nous assurait avoir vu jusqu'à 30 centimètres de fumier dans certaines localités des Basses-Alpes : on marchait sur un vrai cloaque. Il ne faut point croire que ces faits sont inconnus dans les autres parties de la France. Voici, par exemple ce que constatait récemment, à Pavilly, le conseil d'hygiène de la Seine-Inférieure : « Dans un espace resserré, une population agglo- » mérée de 7.000 habitants, ne sachant comment se débarrasser » des immondices et des débris de matières animales et végétales, « en compose des tas de fumier qu'elle arrose d'urines et d'eaux « savonneuses. Au centre et très rapprochées l'une de l'autre, se « trouvent cinq tueries qui ont encore plus de peine à faire écou- « ler les liquides et à cacher les intestins et les débris des animaux « qu'on y abat. »

Quant à la banlieue des grandes villes, nous n'en parlons pas. Chacun sait combien les moyens d'évacuation y sont imparfaits et les trous à ordures fréquents. Les cours et les rues secondaires y sont envahies par le fumier. Certains quartiers de la zone annexée de Paris ou des petites villes environnantes ne le cèdent en rien, sous ce rapport, aux derniers villages de France.

C'est là certainement une des choses qui attristent le plus le regard quand on vient d'Angleterre, où l'on perd l'habitude de voir du fumier autour des habitations.

de locaux, n'en ont pas moins eu pour résultat de faire disparaître bien des coutumes malsaines, en supprimant les circonstances qui y avaient donné naissance. C'est en fournissant aux habitants des moyens d'évacuation réguliers, qu'on leur ôte le prétexte et la tentation de conserver les ordures dans leurs demeures ou de les répandre sur la voie publique.

Fosses d'aisances. — On s'est préoccupé d'améliorer les réceptables des matières fécales. On peut marquer, dans l'ordre chronologique des recherches, trois états principaux qui correspondent à ces trois types différents d'appareils : les fosses fixes, les fosses mobiles et les fosses fixes ou mobiles à système diviseur.

Des fosses fixes proprement dites nous ne parlerons pas : les dispositions les plus perfectionnées se résument dans quelques ordonnances bien connues, qui sont pour ainsi dire le code de ce genre d'établissements. C'est à Paris que les prescriptions ont été le plus régulièrement observées. Dans les grandes villes on s'y conforme à des degrés divers, mais dans tout le reste de la France on peut dire que la mise en pratique de ces règles tutélaires est l'exception.

Les fosses mobiles ordinaires, c'est-à-dire renfermant à la fois les solides et les liquides, constituent un premier progrès au point de vue de la préservation même du sol ; mais elles entraînent des inconvénients d'un autre genre : elles donnent lieu à des manipulations fréquentes, s'imprégnent de mauvaises odeurs et laissent échapper les liquides quand elles ne sont pas construites avec le plus grand soin. Or il est rare que ces réceptacles ne soient pas défectueux. Quelquefois même, comme au Havre, ils se réduisent à de simples bacs, qu'on place sous les siéges des cabinets et qu'on enlève habituellement chaque semaine. C'est la Compagnie des vidanges qui fait le service ; elle remplace, séance tenante, le bac plein par un bac vide. Quand les latrines sont dans

l'intérieur des habitations, on comprend à quel point ces va-et-vient doivent être incommodes pour les habitants, sans parler de l'odeur permanente que ces réceptacles donnent aux cabinets eux-mêmes. Au reste, le système des fosses mobiles simples a reçu peu de perfectionnements : on le considère avec raison comme transitoire et destiné à disparaître devant les appareils diviseurs.

Ces derniers sont vraiment les seuls qui méritent de fixer l'attention. Nous ne reviendrons pas sur les diviseurs fixes, dont nous avons déjà parlé en traitant de l'infection des atmosphères limitées, mais nous donnerons quelques détails sur les diviseurs mobiles ou tinettes filtrantes, qui constituent le terme le plus avancé de ce genre de réceptacles. C'est à Paris que se trouvent les appareils les plus soignés, quoiqu'ils y soient encore beaucoup moins répandus que dans d'autres villes. Ce sont de petits tonneaux en tôle, avec filtre métallique, pourvus d'un robinet à la partie inférieure (Pl. IV, *fig.* 1). Ils sont placés dans les branchements d'égout et reçoivent directement le tuyau de chute des latrines qui s'engage à frottement dans le couvercle. Deux appareils semblables sont affectés à chaque maison, de façon à ce que celui qu'on enlève puisse être immédiatement remplacé par un autre. Le service est fait par la Compagnie Richer. La manutention s'opère exclusivement par les égouts, tantôt au moyen des galeries d'entrée, tantôt au moyen des puits de descente. Un tombereau fermé doit stationner près de l'ouverture de la trappe, tandis que les tinettes, bien lutées et sans odeur, sont remontées à l'aide d'une corde et chargées dans le chariot. Tout se passe discrètement, sans incommoder la rue et à plus forte raison les maisons. Une tinette peut fonctionner assez longtemps sans être changée : tout dépend des habitudes de la maison, c'est-à-dire de la quantité d'eau qu'on y emploie dans les cabinets. Lorsqu'on en use avec abondance, la plus grande partie des matières solides passe à l'état d'eau trouble à

travers le filtre et se rend directement à l'égout. Dans tous les cas la tinette ne conserve que des parties très-consistantes, à moitié desséchées, mêlées à des corps étrangers, et dont l'odeur est relativement faible. Avec ce système il est possible d'avoir des cabinets convenables. Toutefois, il ne faut pas se dissimuler que dans les habitations où l'on use peu d'eau, la tinette peut renvoyer des odeurs sensibles.

A Lyon, on emploie des appareils semblables, conjointement avec des diviseurs fixes. A Marseille, le système des tinettes est tout à fait général (*), mais trop souvent dans des conditions défectueuses. Ainsi, la plupart du temps, la tinette est dans un arrière-cour, au niveau du sol, en sorte que les liquides gagnent le ruisseau de la rue à ciel ouvert. Si la maison a été mieux installée et que la tinette ait été logée dans une cave, on établit une communication souterraine avec l'égout; mais cela n'a lieu que dans des constructions récentes (**). Une bonne précaution prise assez généralement dans les habitations qui reçoivent l'eau de la ville, c'est de disposer à la partie supérieure du tuyau de chute une bâche en communication avec les conduites de la distribution et qui envoie continuellement de l'eau dans le tuyau. Le mécanisme de la cuvette est alors combiné de façon à ce que chaque fois que la soupape joue l'eau cesse

(*) On a proscrit absolument les fosses fixes, et l'on paraît bien décidé à n'y pas revenir. D'abord, on tient à préserver les puits, dont l'eau fraîche et claire est très estimée pour la boisson; ensuite, on redoute avec raison les ennuis occasionnés par les charrettes de vidange, ennuis d'autant plus grands qu'à Marseille beaucoup de quartiers sont fort étroits, certains même inaccessibles aux véhicules, en sorte qu'il faudrait établir entre les chariots et les maisons des communications nécessairement assez difficiles.

(**) C'est précisément pour mettre fin à l'écoulement de ces liquides impurs dans les égouts et surtout dans les caniveaux des rues que la municipalité marseillaise se propose d'appliquer le système Blanchard et Château, dont nous avons déjà rendu compte.

momentanément de couler dans le tuyau et passe par le siége. A Nantes, on a essayé quelques applications d'un nouvel appareil filtrant, dû à MM. Legué et Danguy, et qui a été l'objet d'un rapport très-favorable du conseil d'hygiène du département. Cet appareil, dont la destination est de retenir une plus forte proportion de solides que les tinettes filtrantes ordinaires, se compose : 1° d'un réservoir articulé hermétiquement avec le tuyau de chute ; 2° d'un épurateur. Le réservoir est divisé en deux compartiments par un diaphragme vertical percé de trous. Les matières tombant dans un compartiment filtrent à travers le diaphragme, et les liquides se réunissent dans l'autre compartiment à la partie supérieure duquel ils rencontrent un déversoir. Un tuyau les verse près du fond de l'épurateur, sur une plaque de zinc ou de tôle, pour éviter l'agitation du dépôt. Puis ces liquides, pour remonter jusqu'au déversoir définitif, placé à la partie supérieure de l'épurateur, traversent trois filtres métalliques et se trouvent dès lors en état d'être épanchés au dehors. L'avantage de cet appareil est d'évacuer des eaux-vannes beaucoup plus limpides, qu'on admet même sans difficulté sur la voie publique. Mais on peut lui reprocher sa complication et les soins de nettoyage auxquels il donne lieu pour prévenir l'obstruction des filtres.

Conduites du gaz de l'éclairage. — Tout le monde connaît les fâcheux phénomènes d'infection auxquels donnent lieu les conduites du gaz de l'éclairage. D'une part, les plantations et les nappes d'eau souterraines sont gravement affectées ; d'autre part, l'ouverture de la chaussée, à chaque pose ou réparation des tuyaux, provoque le dégagement d'odeurs extrêmement incommodes. Cette cause d'infection, à laquelle on n'attribuait à l'origine qu'une influence très-bornée, s'est au contraire tout à fait généralisée, tant par la multiplicité des conduites que par la distance à laquelle s'étendent les infiltrations, au point qu'aujourd'hui le sol des grandes villes

est presque entièrement imprégné par ces sortes de résidus.

Le moyen le plus radical de prévenir ces inconvénients et d'éviter en même temps les dommages causés à la circulation, serait sans contredit de placer les conduites de gaz dans les égouts. On mettrait fin ainsi à un ordre de choses véritablement barbare. Mais, sur ce point, l'opinion publique est partagée, et jusqu'à présent, les ingénieurs des services municipaux ont été à peu près unanimes à repousser ce dangereux voisinage. Ils redoutent les explosions que pourraient engendrer les fuites, et les difficultés qui accompagneraient la pose des branchements. Cet argument emprunte même une sorte d'actualité au désastreux événement survenu l'année dernière au pont d'Austerlitz, par suite de la présence du gaz dans une galerie (*). Des

(*) Voici comment le *Moniteur* du 1er février 1865 rendait compte de cet accident :

« Une formidable explosion de gaz a eu lieu le 25 janvier, à neuf « heures un quart, dans la galerie d'amont du pont d'Austerlitz. La « voûte de cette galerie, en brique et mortier de ciment, a été com- « plétement détruite et bouleversée sur 160 mètres de longueur. « Elle est crevassée et devra être reconstruite sur le reste du pont.

« La conduite de gaz en tôle et bitume, de $0^m,50$, que la Compa- « gnie faisait poser, a été détruite presque entièrement. Celle de « $0^m,50$ en fonte, de refoulement des machines d'Austerlitz, n'a été « brisée que sur un point, et un jet d'eau énorme a traversé toute « la chaussée et renversé un candélabre sur l'autre trottoir ; l'eau « a été arrêtée immédiatement.

« Quatre ouvriers de la Compagnie, travaillant dans la tranchée « aux deux extrémités du pont, trois sur la rive droite, un sur la « rive gauche, ont été atteints. L'un d'eux a été tué, les trois autres « blessés plus ou moins grièvement.

« Un cinquième, qui se trouvait au milieu du pont, a été enlevé « par l'explosion au milieu des décombres ; il est retombé dans la « fouille, mais sans être blessé.

« Voici, d'après les renseignements qui ont été recueillis sur « place, dans quelles circonstances cet accident s'est produit :

« La Compagnie parisienne faisait remplacer une conduite en fonte « à joints, système Delperdange, par une conduite de $0^m,50$ en tôle « et bitume.

« Cette nouvelle artère était jonctionnée avec l'ancienne, sur la

faits de même nature, quoique moins graves, se sont produits dans d'autres villes. A Toulouse, par exemple, où quelques égouts, notamment celui du Pont de pierre, renferment les conduites, l'ingénieur, M. Hepp, nous disait avoir eu plusieurs accidents. Les compagnies du gaz elles-mêmes ne paraissent pas plus disposées que les services municipaux à opérer cette réunion. Aussi n'a-t-on donné aucune extension, jusqu'à présent, à l'expérience qui a été faite à Paris et qui a consisté à poser en galerie la conduite du Louvre depuis le guichet de Rohan jusqu'au guichet de Lesdiguières, ainsi qu'une autre artère faisant le tour de la place Napoléon et reliée à la précédente. Diverses explosions ont eu lieu, à ce qu'il paraît, dans cette région. Les adversaires du système font encore valoir d'autres considérations : « Comment, nous disait un éminent ingénieur, trouvera-t-on le joint fuyant dans une galerie d'égout? Lorsque la conduite est dans le sol, on arrive vite à localiser la fuite au moyen de sondages ; mais lorsque l'émanation remplira la galerie sur une certaine longueur, quel moyen emploiera-t-on pour constater l'endroit où se fait l'échappement? A peine, dans la plupart des cas, pourra-t-on y descendre. La difficulté ne sera pas moindre pour réparer la fuite, quand il s'agira de remplacer un tuyau ou de poser un manchon, parce que les conduites étant perpétuellement en charge, on ne pourra y introduire un ballon ou autre appareil isolateur sans dé-

« rive gauche, et la circulation du gaz était empêchée de ce côté par « une valve.

« Toute la traversée du pont était faite, et l'extrémité du dernier « tuyau sur la rive droite était béante dans la tranchée. Par surcroît « de précautions, on avait ménagé deux trous dans le tuyau voisin « de la valve, pour faire écouler à l'extérieur les fuites de gaz.

« On assure que le gaz avait déjà pénétré dans la galerie, il y a « quinze jours environ. Aucun accident ne paraissait possible dans « ces conditions ; aussi, depuis un mois, les ouvriers de la Compa- « gnie travaillaient sous la galerie en toute sécurité. Il est absolu- « ment impossible d'indiquer les causes de cet accident. »

terminer un écoulement de gaz qu'il est déjà difficile aux ouvriers de supporter en plein air et qui les asphyxiera dans un égout. Les branchements donneront lieu à des difficultés d'un autre genre. Outre le percement du tuyau qu'ils nécessitent, ils entraîneraient le percement de la voûte de l'égout pour la traversée du plomb destiné à porter le gaz chez l'abonné. C'est en vain qu'on invoquerait l'exemple des conduites d'eau ; il y a une distinction essentielle à faire : les fuites des unes sont sans danger, tandis que toute fuite des autres fait naître un péril. Enfin, que ne devrait-on pas redouter pour les habitations elles-mêmes au sein desquelles le gaz des égouts pourrait à chaque instant se faire jour ! » A cela les partisans du système répondent qu'on remédiera aux dangers des fuites par une bonne ventilation ; que les perfectionnements connus dans les appareils d'éclairage et de respiration permettront toujours de pénétrer dans les endroits dangereux, et que, quant à la pose des branchements sur les conduites, on doit arriver à l'effectuer *en pression*, comme pour les eaux ; que c'est là le problème à étudier, et non ailleurs. Aussi d'éminents suffrages, en tête desquels il faut mettre celui de M. Chevreul (*), restent-ils acquis au principe de l'admission du gaz dans les égouts.

C'est donc par d'autres moyens que les municipalités ont cherché jusqu'ici à se garantir de l'infection des con-

(*) *Mémoire sur plusieurs réactions chimiques qui intéressent l'hygiène des cités populeuses*, 1846. C'est là qu'on trouve émis, pour la première fois, l'idée de placer le gaz dans les égouts.

M. le Préfet de la Seine paraît personnellement favorable à ce système, car on lit dans son rapport de 1854 au conseil municipal : « Ajoutons, pour ne rien omettre de ce qui se rattache au projet « d'une large réforme de la canalisation de Paris, que les conduites « de gaz elles-mêmes, au moyen de certaines précautions dont la « science entrevoit dès aujourd'hui l'efficacité, pourraient égale- « ment circuler dans le réseau des égouts. » M. Mille pense également que c'est la solution de l'avenir et même d'un avenir peu éloigné.

duites. A Paris, M. Alphand, ingénieur en chef des promenades et plantations, a proposé le procédé suivant, qui a été rendu obligatoire pour tous les endroits plantés de la ville (*). Les conduites principales sont entourées de cailloux sur une épaisseur de 30 centimètres au moins, qu'on recouvre d'une sorte de toit en papier goudronné afin d'empêcher les sables et terres du dessus de s'infiltrer à travers les interstices. Les branchements sont enfermés dans des drains ordinaires qui débouchent, d'une part, dans la pierrée de la conduite principale, et d'autre part, communiquent avec l'atmosphère au moyen d'une petite ouverture ménagée dans le socle des candélabres ou dans le soubassement des édifices. L'objet de ce système est moins d'aérer le sol et d'offrir un libre échappement au gaz que de faciliter la reconnaissance des fuites au moyen de l'odeur caractéristique qui se répand au dehors. Un cinquième environ du réseau de Paris est ainsi disposé aujourd'hui : et le reste le sera au fur et à mesure des réparations. A l'origine on avait proposé de renfermer les tuyaux dans une enveloppe en ciment communiquant de distance en distance avec le dehors, mais la dépense de 6 millions que ce projet aurait entraînée en a fait écarter l'exécution (**). A Marseille, on a passé outre : la Compagnie du gaz est tenue par son traité, dans les terrains à plantations, de renfermer les conduites dans des canaux en béton, parfaitement étanches. Le vide compris entre les deux parois est mis en communication avec les candélabres, pourvus de petits regards. Ces précautions ont été prises notamment à la promenade du Prado, où les arbres sont magnifiques. A Lyon, sous les nouvelles plantations, au Parc, par exemple, les tuyaux sont enveloppés d'une conduite en poterie, avec

(*) Arrêté de M. le Préfet de la Seine en date du 8 avril 1856.

(**) Par exception, cette disposition a été adoptée, sur le conseil de M. Chevreul, dans le jardin du Palais-Royal, où elle a donné d'excellents résultats.

tubes d'évent. Dans trois ou quatre autres villes, on se propose d'adopter des dispositions analogues ; mais partout ailleurs rien n'a été fait.

Il convient de mentionner aussi, comme contribuant beaucoup à diminuer les fuites de gaz, le nouveau mode de jonction des conduites, dû à MM. Fortin-Hermann, et employé sur la plus grande partie du réseau de Paris. Le procédé de percement de ces industriels a pour résultat de supprimer l'emploi du burin et du marteau, et de prévenir, dès lors, la production des étincelles et souvent même la rupture des tuyaux. On y gagne aussi de pouvoir effectuer le branchement sans danger et d'avoir un joint beaucoup plus solide, qui devient moins souvent l'occasion d'une fuite de gaz (*).

Nettoiement de la voie publique. — La propreté des rues est un moyen si naturel de prévenir l'infection du sol qu'il peut sembler inutile de le mentionner. Toutefois un grand nombre de villes le pratiquent peu ou mal ; il n'est peut-être donc pas sans intérêt d'en dire quelques mots.

A ne considérer que l'enlèvement des boues et immondices

(*) « Le percement de la conduite, dit M. Trébuchet, s'effectue « au moyen d'une mèche circulaire, travaillant par bout et formée « d'une bande d'acier roulée et non soudée, en sorte qu'elle forme « ressort et retient ainsi le morceau de fonte à enlever, au centre « de la mèche. Cette dernière est, en outre, de forme conique extérieurement, afin de boucher le trou immédiatement à la suite du « percement, jusqu'à l'instant de la pose du branchement. Cette « mèche s'attelle à une machine à percer, très-simple, disposée pour « se fixer dans toutes les positions et sur tous les diamètres au moyen « d'une chaîne....

« Une fois la conduite percée, il ne reste plus qu'à exécuter le « branchement, qui n'est, dans le nouveau système, qu'une tubulure devant être fixée sur le tuyau, comme si cette tubulure « avait été fondue avec le tuyau même. Le branchement consiste « donc à prendre l'attache de la tubulure qui le compose, à l'intérieur du tuyau, au moyen d'un tube métallique évasé à la partie « supérieure de la tubulure et refoulé en forme. »

provenant de la rue, la ville de Paris est assurément sans rivale. Mais il n'en est pas de même de l'enlèvement des débris domestiques. Paris est sous ce rapport moins avancé que certaines villes de province, entre autres Lyon et Bordeaux. En effet, à Paris, les débris domestiques, que des tombereaux doivent emporter chaque matin, de six à huit heures en été et de sept à neuf heures en hiver, sont admis sur la voie publique dès la veille au soir (*). Le motif de cette coutume est de laisser à l'industrie du chiffonnage le moyen de s'exercer. On a agité, il y a quelques années, la question de savoir si l'on supprimerait cette industrie, mais des considérations étrangères à la salubrité publique ont fait écarter toute mesure radicale à cet égard (Note *l*), en sorte que le chiffonnage continue à s'exercer dans la plupart des quartiers de la ville. Les résidus domestiques restent donc exposés un long temps sur la voie publique. Diverses causes, le piétinement des chevaux, le roulement des voitures, la pluie et le vent, le chiffonnage lui-même tendent à disperser incessamment ces résidus et à les faire pénétrer dans les interstices du sol. A Lyon, ces inconvénients sont prévenus par suite des dernières mesures administratives. Aux termes des règlements en vigueur, « les « ordures, immondices, paille et résidus quelconques pro- « venant de l'intérieur des habitations ne devront jamais « être déposés sur le sol des rues, mais versés directement « par les habitants dans les tombereaux du nettoiement, « ou déposés par eux dans des seaux qui seront placés à « l'entrée des allées. Les seaux doivent être en métal, munis « d'une anse solide et d'une capacité de 50 litres au plus. « Ils devront être enlevés dans le délai d'un quart d'heure « après le passage des tombereaux. » A Bordeaux, pareillement, les immondices ne sont pas admis d'avance sur la voie publique; mais au moment du passage du tombereau une cloche avertit les habitants, qui descendent alors leurs baquets à ordures et les rentrent aussitôt après les avoir vidés. Dans les beaux quartiers, où l'on tient la main à la stricte exécution de la consigne, l'opération s'accomplit en quelques minutes et la rue demeure parfaitement nette.

(*) Réglementairement les résidus ne devraient être déposés sur la voie publique qu'à partir de quatre heures du matin; mais en fait, on les tolère beaucoup plus tôt, après la sortie des spectacles dans les grands quartiers, et dès dix heures du soir dans les autres.

A Paris, M. le préfet de la Seine avait en vue d'introduire une innovation qui n'a pas encore été réalisée, mais qui constituerait un très-grand perfectionnement, car elle supprimerait du même coup le séjour des résidus domestiques sur la voie publique et la circulation des voitures destinées à les emporter; elle consisterait à faire faire désormais le service par l'intermédiaire des égouts (*). Quoi qu'il en soit de l'avenir de ce projet, on doit souhaiter que provisoirement on applique du moins dans la capitale les mêmes mesures qu'à Lyon et à Bordeaux.

Divers. — Nous mentionnons pour mémoire deux autres moyens d'assainissement du sol, dont l'un a beaucoup perdu de son importance, et dont l'autre, au contraire, en acquiert chaque jour davantage : nous voulons parler des puits et des plantations. Les premiers, quand l'eau s'y renouvelle souvent, tendent à entretenir dans l'intérieur du terrain une

(*) Afin de mieux assurer la propreté et l'assainissement de la « ville, dit M. le Préfet dans son rapport au conseil municipal, ne « pourrait-on pas ouvrir, dans les cours des maisons, des trémies « par lesquelles toutes ces saletés seraient descendues dans les ga- « leries, où l'on recueillerait pour le transporter au loin, sans « offenser la vue et l'odorat du public, ce que les chasses d'eau ne « suffiraient pas à enlever? On ne rencontrerait plus alors ces tom- « bereaux sordides et infects qui s'arrêtent à chaque pas dans les « rues, interrompent la course des autres voitures, et répandent sur « leur route les débris sans nom qu'ils contiennent et les émana- « tions révoltantes qui s'en exhalent. »

circulation éminemment favorable au départ et à l'oxydation des matières organiques. Mais avec l'extension que prennent les eaux publiques, ce moyen, dans les grandes villes, tend à devenir illusoire. Il en est tout autrement des plantations que l'agrément a fait multiplier, et qui sont en même temps du plus heureux effet sur la salubrité publique, moins, comme on le pense généralement, en restituant par leurs feuilles à l'atmosphère l'oxygène qu'elle a perdu, qu'en appelant par leurs racines, comme l'a fait remarquer M. Chevreul, l'eau et les substances organiques contenues dans le sol, et déterminant dès lors dans son sein une circulation continue d'air atmosphérique. « En vertu de la « capillarité, dit ce savant, l'eau se porte des parties ter- « reuses les plus humides à celles qui le sont moins en « raison de leur contact avec les racines, et ces organes « deviennent ainsi la cause occasionnelle d'un mouvement « incessant de l'eau souterraine extrêmement favorable à la « salubrité publique. » Les conditions dans lesquelles se trouvent les arbres au sein des grandes villes, exigent d'ailleurs certaines précautions dont nous parlerons plus loin à propos du drainage.

Drainage.

Le moyen le plus puissant d'assainir le sol est le drainage.

Sous ce mot générique, on comprend deux opérations distinctes :

1° Celle qui a pour objet d'évacuer les liquides impurs et les matières solides susceptibles d'être entraînées par les eaux ;

2° Celle qui consiste à faire écouler les eaux ordinaires des surfaces découvertes et à débarrasser le sous-sol de l'excès d'humidité due aux sources naturelles et aux infiltrations des eaux pluviales.

Les Anglais les distinguent souvent par les dénominations de drainage *imperméable* et de drainage *perméable*, parce que l'un d'eux nécessite des canaux étanches, tandis que l'autre se pratique avec des conduites pénétrables, pareilles à celles de l'agriculture. La seconde de ces opérations, bien qu'étrangère au premier abord à l'infection du sol, n'en a pas moins une très-grande influence sur elle, car elle favorise dans le sein de la terre une aération active qui fournit aux matières infectantes l'oxygène nécessaire pour les brûler (*).

Si l'on compare les modes d'action de ces deux drainages, on peut dire que le premier est *préventif*, ou a pour but d'empêcher l'infection de se produire dans le sol, tandis que le second est *curatif*, ou tend à y remédier une fois qu'elle s'est produite. Ce second drainage peut être en certains cas le complément très-utile du premier, mais il ne saurait le suppléer, vu l'extrême lenteur de son action.

(*) Cette remarquable action du drainage perméable n'a été bien comprise que dans ces derniers temps. On la trouve indiquée pour la première fois dans un mémoire de M. Chevreul, lu à l'Académie des sciences en 1846, et relatif à « plusieurs réactions chi- « miques qui intéressent l'hygiène des cités populeuses. » Elle a été, depuis, formulée d'une manière plus directe par ce même savant dans une des séances de la *Société nationale et centrale d'agriculture*, ainsi que le constate l'extrait suivant du *Bulletin des séances* (1850 à 1851) :

« M. Chevreul fait observer qu'il y a dans la pratique du drai- « nage un fait digne d'attention, c'est le renouvellement de l'eau, « qui détermine toujours l'introduction d'une certaine quantité « d'air dans le sol, où cette circonstance exerce une grande in- « fluence sur le bon résultat de la végétation. L'eau privée d'air, « qui séjourne dans le sol, y cause toujours des effets nuisibles, ainsi « qu'on le remarque pour les arbres des boulevards de Paris, dont « le milieu terrestre se trouve souvent dans des conditions telles « que l'air qui peut y pénétrer a perdu son oxygène avant de pou- « voir être absorbé par les racines, l'oxygène s'étant porté sur les « matières organiques qui pénètrent dans le sol.

« M. Chevreul ne doute pas qu'un des grands avantages du drai- « nage ne tienne à cette circulation de l'air qu'il établit entre l'at- « mosphère et ce sol au moyen du mouvement de l'eau. »

1° *Drainage des eaux sales et des matières impures.*

Ce drainage comprend le système des canaux aboutissant des maisons aux égouts publics et ces égouts eux-mêmes avec leurs grands collecteurs et leurs émissaires. Les matières qu'ils reçoivent sont, d'une part celles qui proviennent de l'intérieur des habitations ou des établissements industriels, et d'autre part celles que les eaux pluviales ou autres entraînent avec elles en coulant sur les toits, les cours et allées, les rues, places et autres endroits affectés à la circulation.

Égouts publics. — Les égouts ne constituent pas par eux-mêmes un moyen nouveau d'assainissement. On en a seulement accru l'efficacité par l'extension et les perfectionnements qu'on leur a donnés dans ces dernières années. On s'est attaché à les rendre plus étanches, à en régulariser la pente et à leur assigner des profils plus favorables à l'écoulement des eaux. En même temps on a doublé peut-être la longueur de ces évacuateurs sur l'ensemble du territoire. Ce n'est pas à dire que l'on soit très-avancé sous ce rapport. Loin de là : ce qui reste à faire dépasse de beaucoup ce qui a été fait. Sauf Paris, où la canalisation souterraine, sous la direction de M. Belgrand, marche à pas de géant, les autres villes sont encore bien peu pourvues. A Lyon, Bordeaux, Marseille, Nantes, la proportion des rues drainées varie de la moitié à un tiers. Cette proportion s'abaisse graduellement dans les autres villes, à mesure que leur importance diminue. Déjà très-faible dans des cités de second ordre, comme Lille, Strasbourg, Toulouse, Nîmes, etc. (*), elle devient nulle ou à peu près pour la grande majorité des chefs-lieux de départements. A Rouen,

(*) Les exceptions qu'on rencontre dans quelques villes moins populeuses, telles que Montpellier, Nancy, etc., tiennent à des circonstances toutes particulières. Ces villes ont eu dans le passé une existence considérable : elles ont été assainies, selon les connaissances du temps, pendant que leurs voisines étaient négligées, et se sont ainsi trouvées de bonne heure en possession d'un réseau d'égouts assez imparfait quant à l'exécution, mais à peu près complet quant à l'étendue : c'est ce réseau ancien qui les dessert encore aujourd'hui.

la longueur des égouts est à peine le quinzième de celle des rues. Mulhouse, Rennes, Arras, Angers, Limoges, etc., sont peut-être dans des conditions pires encore. Quant aux petites localités, il n'en faut pas parler : les égouts y sont pour ainsi dire inconnus. La banlieue des grandes villes n'est pas moins déshéritée : les rues, les grandes voies de communication, les routes impériales même, dans leur traversée au sein des agglomérations, n'ont d'autre moyen d'écoulement que les fossés à découvert. C'est une des choses par lesquelles la France contraste le plus avec l'Angleterre, où l'on a mis tant de soins à assainir les environs des centres populeux. Il faut venir dans le département de la Seine, pour trouver quelques travaux de cette nature, et encore sont-ils bien incomplets : sur un territoire qui renferme des localités aussi industrielles que Puteaux, Saint-Denis, Vincennes, Pantin, Aubervilliers, etc., on ne comptait en 1864 que 60 kilomètres d'égouts.

Les détails d'exécution varient naturellement beaucoup, puisque la construction des égouts dépend exclusivement des administrations locales. Mais on paraît d'accord, aujourd'hui, sur ce principe, que les galeries doivent avoir au minimum des dimensions telles que les ouvriers puissent y pénétrer. L'exemple des conduites anciennes, souvent engorgées et d'un accès impossible, a détourné de s'en rapporter uniquement aux forces naturelles pour opérer le curage, et l'on n'a vu de garantie suffisante que dans l'intervention de l'homme. Les moindres dimensions des égouts récemment construits tombent donc rarement au-dessous de $1^m,50$ de haut sur 1 mètre de large. Dans ces grandeurs, le profil est généra-

lement ovoïde, et l'écoulement a lieu sur la pointe de l'ellipse. Le corps de l'égout est le plus souvent en maçonnerie, de 25 centimètres au moins d'épaisseur, et quelquefois en ciment d'une épaisseur moitié. Telles sont les conditions normales du type inférieur. Quant aux types supérieurs, on ne peut pour ainsi dire pas assigner de limites. Le maximum atteint, dans les grands travaux de Paris, ne saurait convenir à la généralité des villes; on se trouve en présence d'une exception gigantesque. Du reste, dans cette canalisation de Paris, tout est exception, ou pour mieux dire, tout est un modèle que les autres villes ne peuvent songer qu'à imiter de loin. Le service n'y est pas moins remarquable que l'installation. On en jugera par les détails qui vont suivre.

Le petit égout, l'égout courant de Paris, de forme ovoïde, a $2^{m},30$ de haut sur $1^{m},30$ de large (Pl. III, *fig.* 2 à 4). La maçonnerie a 30 centimètres d'épaisseur. Au-dessus de ce type unique, on rencontre cinq ou six types de collecteurs placés sous les artères principales (Note *m*). Les dimensions intérieures varient depuis $2^{m},75$ (*) sur 2 mètres jusqu'à $3^{m},70$ sur $2^{m},70$, et l'épaisseur de la maçonnerie depuis 35 jusqu'à 80 centimètres (Pl. IV, *fig.* 4 à 7). A ces collecteurs se rattache la grande galerie du boulevard de Sébastopol, qui décharge en Seine, pendant les averses, les eaux de la moitié des quartiers de la rive droite. Vient ensuite le collecteur général, ou émissaire, qui conduit en Seine, à Asnières, les liquides de toute la capitale (**). « C'est, dit avec un juste orgueil M. le préfet de la Seine, le plus grand ouvrage de ce genre qui existe

(*) Dans le chiffre de la hauteur, est comprise la profondeur de la cunette.

(**) Le projet définitif comprend un deuxième émissaire spécial à la rive gauche, qui traversera la Seine en siphon et tombera également à Asnières, à 1 mètre en contre-bas du précédent. La construction en a été entreprise dans les premiers mois de 1865.

au monde (*). » La largeur n'en est pas moindre de $5^{m},60$ et la hauteur de $4^{m},40$ (Pl. IV, *fig.* 2 et 3). L'épaisseur de la maçonnerie varie de 50 à 95 centimètres dans la portion construite en tranchée, et de 40 à 65 centimètres dans la portion en souterrain. Le profil des collecteurs reste ovoïde, mais la partie inférieure est garnie de manière à offrir une ou deux banquettes, en contre-bas desquelles l'eau coule dans une cunette arrondie, dont la largeur varie de 80 centimètres à $1^{m},30$. Quant à l'émissaire, il consiste à proprement parler en un vaste chenal de $3^{m},50$ de large et $1^{m},35$ de profondeur, recouvert par une voûte qui le déborde en laissant subsister des deux côtés une banquette de $0^{m},90$. Les galeries de toutes grandeurs communiquent avec la rue par des bouches de décharge toujours ouvertes, multipliées suivant les besoins de la surface, et par des trappes de regard ou puits de descente, ménagés de 50 en 50 mètres et pourvus d'une échelle en fer, pour que les égouttiers puissent remonter à toute heure, notamment quand ils sont surpris par la crue subite des eaux. Drains, collecteurs, émissaires, sont revêtus de ciment. Leurs parois lisses et brillantes, leurs profils adoucis, réfléchissent la lumière, propagent le son et laissent glisser les liquides sans retenir d'ordures. Le développement total de ce magnifique réseau, tant pour l'ancien que pour le nouveau Paris, atteindra près de 600 kilomètres; il est aujourd'hui construit aux deux tiers, et si l'on tient compte de ce que les travaux les plus coûteux sont déjà faits, on peut dire que la canalisation des rues de la capitale touche à son terme; il est probable que dans six ou huit ans elle sera un fait accompli.

Ce qui ne frappe pas moins que cette installation gran-

(*) *Rapport de M. le Préfet de la Seine au conseil municipal*, du 16 juillet 1858. « La Cloaca Maxima, grand égout collecteur de « Rome ancienne, ajoute M. le Préfet, qui subsiste encore aujourd'hui, a $5^{m},20$ de hauteur et $4^{m},10$ de large. C'était le plus vaste « qui eût jamais été bâti avant celui d'Asnières. »

diose, c'est la manière particulièment ingénieuse dont est organisé le service, et surtout le curage des collecteurs. Dans la cunette de l'émissaire est installé un bateau-vanne, qui se compose d'une coque ordinaire en tôle et d'une vanne mobile ayant le gabarit de la cunette et placée en avant du bateau. Des engrenages permettent à volonté d'immerger cette vanne ou de la rabattre sur le bateau qui, en ce cas, est maintenu dans l'axe de la cunette par deux guides mobiles. S'agit-il de procéder au nettoyage? On descend la vanne dans la cunette; l'eau s'accumule en arrière et forme un remous qui suffit, par la pression exercée sur cette pièce, pour mettre en mouvement tout l'appareil. Les immondices qui s'accumulent alors à l'aval formeraient bien vite un barrage impossible à franchir, si l'eau en s'échappant avec violence par les vides compris entre la vanne et les parois de la cunette, ainsi que par de petites ouvertures ménagées à cet effet dans la vanne elle-même, n'allongeait les sables et les vases en bancs de 60 à 200 mètres de longueur, et ne les faisait marcher devant le bateau, absolument comme le vent fait marcher le sable des dunes. Il faut à un seul bateau de huit à vingt jours pour parcourir la totalité du souterrain qui mesure un peu plus de 5 kilomètres. Du reste, on augmente la vitesse de l'opération en multipliant selon les besoins le nombre des embarcations. Une fois le bateau parvenu au terme de sa course, on a recours pour lui faire rebrousser chemin aux écluses ou barrages mobiles disposés de 600 en 600 mètres, et qu'un seul homme manœuvre à l'aide d'un treuil. On obtient ainsi facilement une hauteur d'eau qui permet au bateau de regagner son point de départ. Dans les collecteurs qui n'ont pas de bateau-vanne, un wagon roulant sur des rails en fer remplit l'office que nous venons de décrire.

L'éclairage et les signaux sont le complément indispensable d'une semblable organisation. A cet égard, le service de nuit des chemins de fer offrait des modèles qu'il suffisait d'imiter. On a donc pourvu le bateau ou le wagon d'un fanal convenablement approprié aux circonstances du lieu, et l'on a mis entre les mains des agents des lanternes à feu blanc, rouge et vert, semblables à celles des gardes-lignes, qui procurent la correspondance à 500 mètres de distance. Au delà, c'est le cornet de cuivre qui transmet les ordres ou les avertissements. « Ainsi, dit M. Mille, dans « l'égout d'Asnières, où l'on circule librement sur des « banquettes propres comme une dalle d'escalier, où l'on « est éclairé comme dans un atelier de manufacture, où « l'on est averti par des signaux transmis à 3.000 mètres « de distance, un ouvrier cure le canal rien qu'en manœu- « vrant une vanne et en laissant descendre son bateau au « fil de l'eau. Voilà le travail mécanique que visitent avec « étonnement les étrangers pour qui l'édilité est une fonc- « tion ou une étude. »

Pour compléter ce tableau, disons un mot des conduites d'eau. Elles sont toutes placées dans les galeries, afin de débarrasser la voie publique des remaniements incessants que nécessitent les moindres travaux de réparation. D'un diamètre variable de $0^m,10$ à $1^m,10$, elles reposent tantôt sur des colonnes en fonte, tantôt sur des cornières fixées dans la paroi. On a ainsi voulu isoler ces organes, « en vue, « dit M. le préfet de la Seine, de maintenir constante la « température de l'eau, condition bien précieuse pour la « conservation des joints des conduites, dont le phénomène « alternatif de dilatation et de rétraction du métal est l'en- « nemi le plus redoutable, mais condition bien autrement « précieuse encore pour l'hygiène publique. » La plupart des égouts comportent une double conduite afin de séparer les services, public et privé, qui seront faits, l'un avec les anciennes eaux d'Ourcq ou de Seine, l'autre avec les eaux de la nouvelle dérivation.

Après Paris, les autres villes offrent peu d'intérêt : les travaux n'y ont nulle part le même caractère de perfection

et de grandeur. Il est juste pourtant de signaler Lyon et Marseille, où d'importantes choses ont été faites dans ces dernières années (Pl. III, *fig.* 5 à 10). A Lyon, dont les services sont dirigés par M. l'ingénieur en chef Bonnet, on a construit un magnifique collecteur de ceinture de 4 mètres de large sur $2^{m},70$ de haut, avec deux banquettes, l'une de $1^{m},50$ et l'autre de $0^{m},50$. A Marseille, M. Gassend a mené à bonne fin le fameux problème de la désinfection du port en réunissant tous les égouts de la ville dans un collecteur central de 5 mètres de large, lequel évacue en pleine mer 1 mètre cube de liquides par seconde, au moyen d'un siphon jeté entre la Joliette et le bassin des Docks. Dans la généralité des villes de province, la canalisation laisse encore beaucoup à désirer. Par motif d'économie, on a respecté les anciens travaux et l'on a cherché à les relier aux nouveaux. De là, dans le système, un manque d'homogénéité, dont la conséquence la plus saillante et la plus fâcheuse est de nuire à l'écoulement général en même temps que d'entretenir sur plusieurs points du réseau des foyers d'infection qui réagissent sur tout le reste. Cette situation se traduit au dehors par une particularité caractéristique. Tandis qu'à Paris les bouches des rues sont, comme nous l'avons dit, toujours ouvertes, en province, au contraire, elles sont habituellement fermées, et là où elles ne le sont pas encore, les plaintes de la population y poussent énergiquement. La question des fermetures hermétiques, sans objet à Paris, présente donc un grand intérêt dans les départements; aussi y a-t-on étudié et essayé divers systèmes. Ceux qui paraissent être le plus en vogue sont les suivants: 1° une fermeture à bascule, dont la plus connue est celle de M. Millerat. Elle est employée à Montpellier, Saint-Étienne, Nancy, etc.; elle consiste en une plaque mobile en fonte, qu'un contre-poids appuie contre les parois de l'orifice de manière à le masquer, et qui s'écarte sous la pression des eaux venant du dehors; 2° un siphon hydraulique ou siphon renversé, contenant de l'eau qui sert à intercepter la communication entre l'intérieur des conduits souterrains et l'atmosphère. On en trouve des applications à Metz, Toulouse, Nîmes, etc.; 3° une cuvette hydraulique à compartiments, ou caisse en fonte dans laquelle un diaphragme descendant au-dessous du niveau de sortie plonge dans le liquide qui garnit le fond. C'est le plus usité des trois systèmes, il fonctionne notamment à Tours, Nantes, Lille, etc. Ces deux derniers modes de fermetures, beaucoup plus hermétiques, d'ailleurs, que le premier, ont l'inconvénient de n'être efficaces que dans le cas où les rues fournissent un écoulement d'eau renouvelé. Autrement il faut faire remplir les appareils à main d'homme, ce qui se pratique toujours fort irrégulièrement: la preuve en est dans le grand nombre de bouches qui infectent les rues, malgré les appareils hydrauliques dont elles sont pourvues.

Drainage privé. — Le drainage privé, ou drainage des habitations, constitue la partie véritablement neuve du système imperméable. Il ne faudrait pas remonter bien loin en arrière pour trouver des exemples de défense formelle de mettre les maisons en communication avec les égouts publics (*). Mais la répugnance des municipalités, motivée en général par la crainte des abus auxquels cette communication pourrait donner lieu et par le sentiment d'insuffi-

(*) « L'air vicié qui s'échappe en abondance par nos bouches « d'égout, dont les cuvettes fonctionnent mal, dit le rapporteur du « conseil d'hygiène du Nord de 1861, porte l'infection dans les mai- « sons voisines et engendre de nombreuses maladies. Dans une pa- « reille situation, *il faudrait bien se garder de faire arriver direc- « tement les eaux ménagères et autres dans les égouts par des « canaux souterrains, partant de chaque maison*, car ces derniers « faciliteraient bientôt le moyen de faire passer clandestinement « dans ceux-là le contenu des fosses d'aisances, aux époques de « l'année où les cultivateurs, retenus par les travaux de la cam- « pagne, ne peuvent en débarrasser complétement les habitants.

sance des moyens d'évacuation dont elles disposent, s'efface naturellement à mesure que la canalisation prend plus d'étendue. Les habitants, de leur côté, peu empressés d'abord à rompre de vieilles habitudes, commencent à comprendre que l'intérêt de la maison, non moins que celui de la voie publique, commande impérieusement l'écoulement souterrain des résidus domestiques. Le principe du drainage est donc admis à peu près partout. Malheureusement, les faits sont loin d'avoir répondu au progrès des idées. A Paris même où, aux termes de la loi, cette communication est obligatoire (*), un sixième à peine des maisons, environ 9.000 sur 56.000, s'évacuent directement aux égouts. En province, où sauf de rares exceptions, le drainage est facultatif, il a dû prendre encore bien moins d'extension. Deux circonstances y ont surtout mis obstacle : d'une part, nous l'avons dit, l'insuffisance de la canalisation publique, d'autre part la mise de fonds qu'entraîne une première installation (**) ; aussi le nombre des habitations drainées à ce jour est-il tout à fait insignifiant. Dans des cités de pre-

« Une pareille tolérance aggraverait sensiblement le mal que nous « venons de signaler, surtout dans une ville où il n'existe pas en- « core de distribution d'eau pour opérer un lavage complet des « ruisseaux et des égouts. »

(*) L'article 6 du décret du 26 mars 1852 sur la grande voirie de Paris, porte que toute construction nouvelle, dans une rue pourvue d'égout, doit être disposée de manière à y conduire les eaux pluviales et ménagères.

La même disposition doit être prise pour toute maison ancienne, en cas de grosses réparations et, en tout cas, avant dix ans.

(**) Nul ne doute que ce ne soit ce motif qui a suscité à Paris les difficultés dont le *Moniteur* du 9 janvier 1864 se plaignait en ces termes : « L'application de l'art. 6 du décret du 26 mars 1852, rela- « tif à l'écoulement souterrain des eaux pluviales et ménagères, a « donné et donne toujours lieu, dans Paris, à beaucoup de diffi- « cultés. Les propriétaires n'ont pas bien compris, tout d'abord, « qu'il s'agissait de résoudre une question de salubrité de premier « ordre, et c'est seulement sous la contrainte de l'administration

mier ordre, comme Lyon, Bordeaux, Marseille, on nomme les rues où ce perfectionnement existe : ce sont celles qui ont été bâties depuis peu sous l'influence de l'élan donné par les grands travaux de Paris (*). A Nantes, à Strasbourg, à Lille, etc., nous ne pensons pas qu'un seul quartier se trouve dans ce cas. Des villes de moindre importance ont des fortunes diverses : quelques-unes, en très-petit nombre, Nancy, Saint-Étienne, Metz, ont poursuivi le drainage privé avec un esprit d'initiative et d'ensemble qu'on ne se serait pas attendu à y rencontrer ; d'autres, comme les grandes villes que nous citions tout à l'heure, ont bâti quelques quartiers avec les recherches modernes ; le reste, c'est-à-dire la très-grande majorité, en est totalement dépourvu. Là, dans les rues les plus élégantes, les eaux ménagères pourrissent dans les ruisseaux en dégageant des odeurs pestilentielles et pénètrent lentement dans le sol à travers les joints des pavés. Les résidus solides qu'elles abandonnent en se desséchant, mêlés aux débris de la rue, forment souvent des barrages naturels derrière lesquels de nouvelles eaux s'accumulent en flaques impures et repoussantes. Cette situation s'aggrave encore singulièrement lorsque des établissements industriels envoient leurs liquides chauds et saturés d'agents chimiques (**).

« qu'ils se sont décidés, pour la plupart, à exécuter les travaux né- « cessaires. Cependant, depuis le 26 mars 1862, terme du délai de « dix ans passé lequel ces travaux sont devenus obligatoires, plu- « sieurs des rues principales ont été canalisées à peu près complé- « tement. »

(*) A Lyon, on établit aussi le drainage dans les maisons anciennes qui subissent de grosses réparations.

(**) A ces inconvénients, il faudrait joindre ceux que la gelée entraîne pour la circulation, ainsi que le faisait ressortir le *Moniteur* déjà cité du 9 janvier 1864, en vue de stimuler les propriétaires trop peu empressés de Paris. « Voici, dit la feuille officielle, ce qui « se passe en temps de gelée, comme chacun peut le constater au-

Malgré ces faits, avons-nous dit, le principe du drainage privé paraît aujourd'hui admis sans conteste. Mais si l'on est d'accord sur son opportunité, on ne l'est pas encore sur la nature exacte de sa fonction. Doit-on envoyer aux égouts seulement les eaux pluviales et ménagères, ou doit-on y envoyer aussi les matières fécales? Tel est le point sur lequel l'opinion se divise. Les uns, de beaucoup les plus nombreux, veulent que les matières fécales soient proscrites absolument. Leur admission compromettrait gravement, selon eux, la salubrité des galeries, et par suite celle de la surface par les exhalaisons méphitiques qui s'y feraient jour. En outre on priverait l'agriculture d'un précieux engrais, qui ne servirait plus qu'à grossir le flot des impuretés qui vont souiller les rivières. On répond à cela que la salubrité publique est bien plus intéressée encore à la suppression des fosses d'aisances, qui infectent à la fois le sol, les eaux et l'atmosphère, et dont la vidange est pour les habitants une source d'incommodités, de périls même.

« jourd'hui, dans le nombre malheureusement trop grand des rues « qui ne sont pas canalisées ou qui ne le sont qu'en partie.

« Le même filet d'eau sortant de chaque gargouille, s'accumule « dans le ruisseau en s'y congelant, de sorte qu'au bout de peu « de jours une zone de glace d'un mètre ou d'un mètre et demi de « largeur se développe le long de chaque trottoir. Si la gelée est « accompagnée de neige, cette neige fond sur les toits au moindre « rayon de soleil et vient s'ajouter aux eaux ménagères qui se con- « gèlent dans le ruisseau. Il n'est pas rare, en pareil cas, de voir « les rues entièrement couvertes de glace fondante, au grand dé- « triment de la circulation des voitures et des piétons. Tous les « efforts faits pour opérer le déglaçage sont impuissants pour ap- « porter un remède à cet état de choses.....

« ..... La glace brisée et enlevée se reproduit sous les pieds des « cantonniers. A peine a-t-on saupoudré de cendre le ruisseau glacé, « que le mince filet d'eau qui sort des maisons recouvre d'une « nappe glissante toutes les aspérités de cette poussière. Nous ne « parlons pas des gargouilles obstruées par la gelée, ni de l'éven- « tail de glace qui en sort, et que le piéton trouve à chaque pas sur « nos plus beaux trottoirs. »

D'ailleurs, l'assainissement des galeries n'est pas incompatible avec l'admission des matières fécales; pour en prévenir les fâcheux effets, il suffit d'un prompt écoulement et d'une distribution d'eau abondante, conditions que doivent réaliser les villes modernes. Quant à l'intérêt agricole, il est beaucoup moins en jeu qu'on ne le croit. Déjà, par les eaux-vannes, désinfectées ou non, la plus grande partie de la matière fertilisante s'en va à l'égout au moment de la vidange; le reste, par les désastreux procédés de la conversion en poudrette, conserve à peine le dixième de ses éléments actifs. Ainsi, c'est pour sauver un vingtième peut-être de l'engrais primitif qu'on se refuse à une mesure que commandent si impérieusement les règles de l'hygiène, les convenances de la voie publique et l'agrément de l'habitation. Telles sont les considérations que font justement valoir les partisans de l'admission directe des matières fécales aux égouts. A côté de cette opinion s'en est formée une troisième qui, au fond, n'en diffère guère, et qui a réuni des adhésions importantes : c'est celle qui a en vue de faire parvenir les matières aux égouts par l'intermédiaire d'un appareil filtrant qui retient les parties trop consistantes pour passer à travers le filtre. On admet, d'ailleurs, que par le progrès des mœurs et l'usage de plus en plus répandu de l'eau dans les cabinets, ces appareils finiront par laisser passer à peu près toutes les matières, en sorte que leur office se réduira réellement à retenir les corps étrangers, papiers, chiffons, etc., et surtout à enlever aux déjections leur forme naturelle. C'est une concession, sinon à la salubrité, du moins à la convenance des galeries. L'intention est excellente, mais est-ce bien la peine d'introduire une complication qui compromet nécessairement, dans une certaine mesure, le but principal qu'on veut atteindre? Sans doute, dans les maisons qui emploient l'eau abondamment, la quantité de matières arrêtées par le filtre sera très-faible: elle suffira pourtant à entretenir au bas du tuyau un foyer d'infection,

qui enverra des odeurs dans les cabinets. Et dans les maisons, malheureusement en trop grand nombre, où de longtemps encore l'eau ne sera pas employée avec abondance, les odeurs conserveront une grande intensité. D'ailleurs, si l'on tient absolument à déformer les matières et si l'on ne s'en fie pas pour cela aux évolutions qu'elles subissent dans les conduites, il y a bien d'autres manières d'obtenir ce résultat sans annexer un réceptacle au tuyau de chute. Cette troisième opinion, quelque considérable qu'elle soit par le nom des hommes qui la partagent, nous semble donc destinée à servir uniquement de transition et à céder tôt ou tard la place à celle qui réclame l'admission pure et simple des matières fécales dans les égouts, sauf à utiliser alors le flot fertilisant roulé par ces derniers (*).

Les trois systèmes que nous venons d'analyser sont représentés à des degrés divers dans la pratique. La communication directe est pratiquée systématiquement dans trois villes de second ordre, et, chose remarquable, dans trois villes qui ne font en cela que perpétuer d'anciennes coutumes; ainsi, l'idée moderne est un retour vers le passé. Ces villes sont : Montpellier, Nancy et Saint-Étienne (**). Les appareils filtrants se rencontrent dans les trois premières cités de l'empire, à Paris, Lyon et Marseille. A Paris, mille maisons environ en sont pourvues, et nul doute que

(*) Cette préoccupation gagne de plus en plus les esprits. Naguère encore la Société impériale de Lyon mettait au concours la question suivante: « Comparer, sous les rapports hygiénique et économique, « le système des fosses d'aisances closes de toutes parts et assujet- « ties à une vidange périodique, avec le système dans lequel les « matières sont déversées dans les égouts et par ceux-ci dans les « fleuves. Déterminer lequel de ces deux systèmes mérite la préfé- « rence, formuler les précautions à prendre pour en atténuer ou « en neutraliser les inconvénients. »

(**) La même pratique se rencontre bien çà et là dans d'autres villes : mais elle n'y existe qu'à l'état de tolérance ou plutôt d'abus, et seulement dans certains quartiers. Nulle part elle n'est érigée en système, comme dans les trois endroits que nous citons.

le nombre en augmenterait rapidement si les incertitudes qui planent encore sur la solution définitive à donner au problème de l'utilisation des engrais de la capitale ne paralysait, dans une certaine mesure, les efforts de l'administration municipale. Dans tout le reste de la France, l'introduction des matières fécales dans les égouts est formellement interdite.

Disons maintenant quelques mots des détails d'exécution du drainage privé.

On distingue deux types principaux de branchements : l'un en maçonnerie, qui affecte ordinairement le profil et les dimensions du petit égout de la rue; l'autre en poterie, qui est formé d'une série de tuyaux emboîtés les uns dans les autres d'une façon hermétique. A Paris, où l'on trouve la meilleure étude du premier type, le branchement est identique à l'égout courant, et mesure $2^{m},50$ sur $1^{m},30$. Il avance, sous le maximum de pente disponible, jusqu'à l'aplomb du mur de façade de la maison et se raccorde avec l'égout à $0^{m},15$ au moins, en contre-haut du radier de ce dernier. Il peut aussi, à la volonté du propriétaire, être prolongé sous la maison, mais en ce cas une grille en fer est établie sous l'aplomb du mur de façade, afin d'intercepter la communication avec l'égout public. Les conduites des eaux ménagères sont en tuyaux de fonte mince, assemblés à emboîtement et bien mastiqués ou cimentés. Elles débouchent bien horizontalement au-dessus du radier dans une cuvette en maçonnerie ou en fonte, formant fermeture hydraulique. La conduite de descente des eaux pluviales est toute pareille. Elle est complétement isolée de la précédente et débouche dans la même cuvette. Les tuyaux de descente éloignés du branchement peuvent être prolongés sous le trottoir à sa rencontre, pourvu qu'ils aient une pente d'au moins 20 centimètres par mètre. La fosse mobile à filtre, dans les maisons qui en sont pourvues, trouve place dans le branchement, de la manière que nous avons

déjà eu occasion d'indiquer. Enfin, pour clore la liste de ces organes, une cheminée d'appel de 3 décimètres quarrés au moins, destinée à assurer la ventilation, s'ouvre à l'intrados de la voûte et débouche au-dessus des combles. Dans ces dernières années, l'administration municipale a poussé vivement à la construction de ces branchements, dont le développement dépasse aujourd'hui 80 kilomètres.

Le deuxième type, le branchement en poterie, a été adopté par la ville de Lyon. Les conduites ont $0^m,25$ de diamètre intérieur, lorsqu'elles ne reçoivent pas d'aboutissants sur leur parcours, et $0^m,30$ dans le cas où elles ont des aboutissants. Elles sont formées de tuyaux à emboîtures, vernissés à l'intérieur (Pl. III, *fig*, 11 à 13). Les tuyaux de $0^m,25$ ont 16 millimètres d'épaisseur, et ceux de $0^m,30$ ont 2 centimètres. Les uns et les autres ont leurs joints lutés au ciment et ils sont entourés de $0^m,10$ d'épaisseur de béton hydraulique. La décharge dans l'égout public a lieu à 30 centimètres au moins en contre-haut du radier de celui-ci, et au niveau de la banquette dans les galeries qui en sont pourvues. La conduite reçoit, à l'aplomb du mur de façade, le tuyau de descente des eaux pluviales, qu'elle sert également à convoyer. Aucune fermeture hydraulique n'est disposée au débouché des tuyaux. Quant aux appareils diviseurs, ils s'évacuent par un canal *ad hoc*, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment.

Les autres villes ont adopté des systèmes plus ou moins voisins de ceux-là. Ainsi, à Toulouse, on est en train d'installer des drains en poterie semblables à ceux de Lyon; mais l'évacuation y est mal combinée, car les eaux, au lieu de tomber directement dans la conduite, s'écoulent dans une cour où elles rencontrent une bouche grillée ouverte sur le drain. Au Havre, les branchements sont constitués par des tuyaux en fonte de 15 à 20 centimètres de diamètre. A Saint-Étienne et à Montpellier, les branchements sont en maçonnerie, mais inaccessibles aux ouvriers : la section en est quadrangulaire, de 30 centimètres de large sur 40 centimètres de haut; le plafond est perméable et formé de dalles en pierre juxtaposées. A Nancy, le branchement est plus spacieux; les tuyaux de descente sont reçus dans une caisse en pierre à deux compartiments, formant fermeture hydraulique. Au total, en province, les dispositions sont assez imparfaites, et s'éloignent beaucoup, sous ce rapport, de celles de la capitale.

2° *Drainage des eaux ordinaires.*

L'extension aux villes d'une opération conçue surtout au point de vue agricole est d'une date très-récente. Ce n'est guère que depuis une douzaine d'années qu'on a reconnu utile de drainer, en certains cas, d'une manière méthodique : 1° les maisons, les rues et autres surfaces couvertes ou pavées; 2° les jardins, les parcs et autres lieux plantés, ainsi que les emplacements des cimetières; 3° les terres entourant immédiatement les villes et formant ce qu'on nomme la zone suburbaine, y compris les routes, fossés, etc. Ce deuxième ordre de drainage a été, jusqu'ici, beaucoup moins pratiqué que l'autre. Il est, d'ailleurs, appliqué très-inégalement aux diverses catégories de lieux que nous venons d'énumérer.

Drainage des surfaces couvertes ou pavées. — Il n'a eu lieu nulle part avec ensemble. On a cherché, en général, à se préserver de l'humidité dans les habitations, par les soins donnés à la maçonnerie et surtout en élevant les rez-de-chaussée sur des caves dont le sol soit bien cimenté. Telle est la pratique suivie notamment à Paris, et nul doute que l'exemple de la capitale n'ait été d'un grand effet sur la province pour retarder l'application du drainage (*). On

(*) Paris se trouve, il est vrai, dans une situation exceptionnelle au point de vue de l'entraînement naturel des eaux souterraines. La belle carte hydrographique de M. l'ingénieur en chef des mines

relève cependant plusieurs faits intéressants dans quelques départements du nord et de l'est, ainsi qu'en Sologne. Dans cette dernière contrée, on a réussi par le drainage à améliorer d'une façon très-notable l'état sanitaire de localités que désolaient auparavant des maladies endémiques. Les travaux étaient d'ailleurs très-simples : un seul drain en poterie, semblable à ceux dont on se sert en agriculture, était placé

Delesse montre que la nappe d'infiltration, alimentée par les eaux météoriques d'un bassin généralement perméable, et non par les filtrations de la rivière, comme on serait disposé à le croire, descend continuellement à la vallée, avec une vitesse variable selon la nature des couches qu'elle traverse. La Seine fait appel, comme un immense collecteur, sur les eaux souterraines.

Nonobstant ces conditions favorables, un grand nombre de quartiers ne pourraient que gagner à être drainés. C'est cette conviction, basée sur un examen attentif des lieux, qui inspirait, il y a quelques années, à la commission des logements insalubres de Paris, le langage suivant :

« L'humidité excessive qui rend inhabitables une grande partie « des rez-de-chaussées de la ville de Paris doit-être principalement « attribuée au défaut de drainage du sol. Il existe encore un grand « nombre de rues sans égouts, ou bien, si elles en possèdent, ces « ouvrages sont construits en maçonnerie à peu près imperméable, « et sans barbacanes, de sorte que les eaux souterraines ne peuvent « pas s'y introduire.

« Dans les quartiers non drainés, le sol est généralement imprégné « d'un mélange d'eau de pluie, d'eaux ménagères et de liquides « provenant des fosses d'aisances. Ces eaux pénètrent souvent dans « les murs de fondation des maisons, et s'élèvent ensuite, soit par « la capillarité, soit même par voie de siphonnement, jusqu'au rez-« de-chaussée, où elles apportent une humidité quelquefois accom-« pagnée d'émanations désagréables et malfaisantes.

« Si l'on tient compte, en outre, des inondations souterraines qui « viennent de temps en temps remplir les caves des quartiers nord « de la ville, inondations qui sont également dues à l'absence de « drainages suffisants, on comprendra que la salubrité publique « soit fortement intéressée à l'exécution des travaux nécessaires « pour l'assainissement du sol. Aussi la commission des logements « insalubres est-elle unanime pour recommander cet objet impor-« tant à la sollicitude éclairée de l'administration municipale.

« Suivant nous, Monsieur le Préfet, l'exemple donné en Angle-« terre par un grand nombre de villes, telles que Londres, Edim-

dans chaque rue, à une profondeur de 1m,80, de manière à permettre l'établissement de caves jusqu'alors impossibles dans le pays. Quelques particuliers amorçaient sur ces lignes des drains transversaux situés sous les cours, quand celui de la rue paraissait ne pas devoir suffire par suite de l'éloignement. Son action s'étendait à une douzaine de mètres des deux côtés et souvent davantage. Un des premiers effets de l'opération était d'abaisser le plan d'eau souterrain, d'où une modification nécessaire dans les conditions de la localité. M. Delacroix, ingénieur des ponts et chaussées, qui a dirigé le travail à la Motte-Beuvron et à la

---

« bourg, Glasgow, etc., devrait être imité par la ville de Paris. Il en « ressort trois préceptes principaux, savoir :

« 1° Distribution d'eau très-abondante dans toutes les maisons, « afin de rendre les lavages très-efficaces;

« 2° Suppression des fosses d'aisances;

« 3° Drainage complet des maisons et des rues.

« Votre administration s'est déjà préoccupée des moyens d'aug-« menter le volume des eaux dont dispose la ville ; mais en atten-« dant la réalisation de cette bienfaisante mesure, on peut et l'on « doit, suivant nous, traiter la question du drainage des maisons et « des rues, question qu'il faudrait toujours résoudre avant celles de « la suppression des fosses et de la distribution des eaux abondantes « à domicile.

« En conséquence, Monsieur le Préfet, la commission des loge-« ments insalubres émet le vœu suivant :

« Il est à désirer que l'on pratique dans les pieds-droits ou les « voûtes des égouts existants un nombre suffisant de barbacanes « pour recevoir les tuyaux de fuite des eaux provenant des maisons-« riveraines, et que, dans les rues dépourvues d'égouts, l'adminis-« tration municipale fasse établir un drain collecteur d'au moins « 0m,30 de diamètre, pour recevoir les mêmes eaux et les verser « dans l'un des égouts du voisinage. »

Depuis lors de grands travaux ont été faits sous la voie publique, mais nous ne croyons pas que nulle part on les ait rattachés au drainage des eaux souterraines. On s'est exclusivement préoccupé de l'évacuation des liquides impurs par des conduits imperméables. Il est juste de dire que l'extension de cette dernière pratique, jointe aux facilités d'écoulement offertes partout aux eaux superficielles, ont sensiblement diminué les inconvénients signalés par la commission.

Ferté-Saint-Aubin, nous signale un autre effet non moins remarquable : c'est que l'eau de divers puits, précédemment verdâtre, s'est trouvée tout d'un coup décolorée et assainie. M. Delacroix l'attribue à l'abaissement du plan d'eau. Sans doute aussi l'aération du sol n'y est pas étrangère.

Dans Seine-et-Marne, des drainages partiels ont été exécutés sur beaucoup de points ; c'est même, pensons-nous, le département où ils se sont le plus multipliés. M. Mangeon, ex-architecte du département, en a dirigé un grand nombre, entre autres celui qui dessert le groupe du palais de justice, de la gendarmerie et de la maison d'arrêt de Melun. Un drain de ceinture, formé d'un conduit dont la voûte en pierres sèches est très-perméable, enveloppe l'îlot de toutes parts et l'isole des terres environnantes. Plusieurs drains latéraux, venant des bâtiments et particulièrement des cours, aboutissent à ce conduit et y amènent les eaux fournies par la zone qu'il entoure. Telle est la disposition généralement adoptée par M. Mangeon. Un autre entrepreneur de drainage, M. Caillaux, qui travaille aussi beaucoup dans le même département, insiste sur l'utilité des drains transversaux, qu'il multiplie sous les bâtiments et même sous les caves, à 40 ou 50 centimètres de profondeur. Il les protége en les recouvrant d'une couche de pierres, surmontée d'une couche de sable de rivière. Diverses maisons d'Antony, les châteaux de Ménorant, du Mé, de Damme-Marie-les-Lys, etc., ont été drainés dans ces conditions.

Dans quelques villes, comme Saint-Étienne, les égouts sont à double fin : le fond en est étanche, pour contenir les liquides impurs, et la voûte perméable, pour aspirer les eaux du sol. Ils se comportent donc à la manière des tuyaux de drainage. Toutefois, cette pratique tend plutôt à se restreindre qu'à s'étendre, et l'on doit s'en applaudir; car lorsque de semblables canaux s'obstruent ou sont envahis par de grands abats d'eau, il y a nécessairement des infiltrations infectantes dans le sol.

Drainage des surfaces plantées et des cimetières. — Il a pris une certaine extension depuis quelques années. Le besoin de plus en plus senti d'entretenir de la végétation au sein des villes et la difficulté de la faire prospérer dans un sol compacte et mal aéré, ont rendu nécessaire l'intervention du drainage. A Paris, on n'en fait point usage pour les promenades et les squares, dont le sol est généralement perméable et dont les eaux superficielles s'écoulent aux bouches d'égouts disposées le long des allées principales (*) ; mais on l'applique sur une large échelle aux plantations des voies publiques, placées dans des conditions particulièrement défavorables. La disposition adoptée par M. l'ingénieur en chef Alphand est la suivante : devant la file des arbres règne un collecteur qui débouche à l'égout ; chaque arbre est entouré d'un rectangle de drains, dont un côté n'est autre que le collecteur lui-même, et dont les trois autres sont formés de tuyaux ordinaires. Ce système sert non-seulement à assécher et à aérer le sol, mais il facilite encore l'arrosage. En effet, au moment où l'on répand l'eau à la lance autour des arbres, on a soin de fermer un clapet situé à l'embouchure du collecteur, dans l'égout; de la sorte, les eaux se rassemblent dans les tuyaux et pénètrent les diverses parties du terrain. A Marseille, on a drainé les magnifiques platanes du Prado au moyen d'un égout longitudinal pourvu d'orifices dans la maçonnerie. A Nîmes, on a drainé de même les deux rangées de platanes de la nouvelle esplanade, mais avec cette particularité que les orifices de l'aqueduc servent en même temps à arroser les arbres souterrainement. A cet effet, l'aqueduc, à forte pente, est muni de barrages transversaux qui maintiennent l'eau à 80 centimètres en amont de chaque barrage et

(*) Ces bouches d'égout manquent dans le Luxembourg et les Tuileries qui ne sont pas du ressort de l'administration municipale. Les eaux de ces promenades vont à des puisards qui ne fonctionnent pas toujours très-bien. Un drainage n'y serait pas de trop, surtout aux Tuileries.

à 20 centimètres en aval. Les orifices sont distribués sur les parois, à des hauteurs variables au-dessus du radier, depuis 20 centimètres jusqu'à la voûte. L'aqueduc est d'ailleurs incessamment parcouru par les eaux pures des fontaines de l'esplanade, auxquelles il sert exclusivement d'évacuateur. Lorsque le terrain est sec, ce qui arrive souvent à Nîmes, l'eau remonte par les orifices en vertu de la capillarité : aussi les racines des arbres recherchent-elles ce voisinage et commencent-elles même à menacer la maçonnerie. A Bordeaux, on a assaini la belle promenade du Jardin Public au moyen d'un vaste réseau de drains, lequel a eu en même temps pour résultat d'améliorer les quartiers avoisinants, entre autres, la rue d'Aviau, très-exposée jusque-là aux inondations souterraines.

Plusieurs cimetières ont été drainés. Les municipalités se montrent de jour en jour plus favorables à une mesure qui contribue si puissamment à la salubrité du sol, en même temps qu'elle assure une plus prompte décomposition des matières cadavériques. Ce dernier objet est celui qu'on a eu plus particulièrement en vue en procédant à cette opération. Deux systèmes ont été employés : l'un consiste à placer des drains, non-seulement sous les allées, mais aussi sous l'emplacement des tombes; l'autre se réduit à placer les drains sous les allées seulement, mais à une plus grande profondeur, de manière à étendre le cercle de leur action.

Le cimetière de Versailles offre un bon type du premier système. Le terrain était tellement envahi par les eaux, qu'on était dans l'impossibilité d'ouvrir les fosses à plus de $1^m,75$ de profondeur, et sur certains points à plus de $1^m,20$. La rotation quinquennale était inapplicable; car après dix ans, on retrouvait encore des corps tout entiers, et les cercueils des caveaux pourrissaient dans l'eau (*). On a

(*) « Je fus vivement impressionné, dit M. Richard de Jou-
« vence, auteur du projet de drainage de ce cimetière, en voyant
« la fosse commune, creusée à moins de $1^m,20$, contenir sur une
« hauteur de 12 centimètres, une nappe d'eau bleuâtre, infecte, à

remédié à cette déplorable situation par les dispositions suivantes. Des drains, agissant à la fois comme assécheurs et comme collecteurs, ont été placés à $2^m,20$ de profondeur dans l'axe des grandes allées, et envoient leurs eaux dans une conduite en poterie, continuée par un tuyau en tôle et bitume aboutissant à l'égout public. Ces drains ont été assis sur un fond d'argile damée de 3 centimètres d'épaisseur et ont été recouverts : 1° d'une couche de cailloux roulés de 30 à 50 centimètres d'épaisseur, selon l'importance du drain; 2° de 10 centimètres de sable de rivière. Cette précaution a été prise à cause des racines de platanes qui bordent les allées. Des drains ordinaires ont été placés à $2^m,10$ de profondeur sous les cantons réservés aux sépultures, au fur et à mesure qu'ils devenaient libres par suite de la rotation; on n'a pas jugé utile de les protéger, comme les autres, par des pierres et du sable superposés. Le développement total des tuyaux est d'environ 700 mètres par hectare, ce qui, en les supposant distribués en lignes parallèles, représenterait un écartement moyen d'un peu plus de 14 mètres.

Le cimetière de la Chartreuse, à Bordeaux, a été drainé sous les allées seulement. On termine à peine ce travail, qui a eu son importance, vu les grandes dimensions de l'emplacement. Le terrain est divisé par des allées plantées en rectangles de 70 à 90 mètres de large, dont le centre forme le champ commun, tandis que les bordures sont occupées par les caveaux de famille. L'abondance des eaux était telle sur certains points, que des caveaux étaient inondés sur une hauteur de 70 centimètres (*). Les drains ont

« cause de la quantité de matières organiques dont elle s'était
« chargée en filtrant à travers les corps en putréfaction, inhumés
« dans les terrains supérieurs ... »

(*) « Vers l'extrémité sud-ouest de l'ancien cimetière, dans le
« caveau n° 79, dit le rapporteur du conseil d'hygiène de 1861, il
« fut impossible, il y a un mois, de procéder à une inhumation,
« tant la quantité d'eau était considérable : elle avait alors atteint
« plus d'*un mètre de hauteur*. »

été placés dans l'axe des allées, à des profondeurs variables suivant le terrain et atteignant 4 mètres au maximum. Ils aboutissent à deux collecteurs de $0^m,30$ de diamètre, qui évacuent les eaux à la Devèze, chacun par l'intermédiaire d'une chambre d'épuration. Cette chambre, ou *épurateur*, comme on la nomme, consiste en une galerie en maçonnerie étanche, fondée sur béton, ayant dans l'œuvre $3^m,90$ de long, 0,60 de large et $1^m,33$ de haut, et remplie de gravier. Le collecteur la traverse dans sa longueur et est fermé à l'extrémité. Sur tout son parcours dans la chambre, il est percé de trous qui permettent aux eaux de s'échapper. Celles-ci remontent en filtrant dans le gravier et s'écoulent définitivement par un orifice ménagé à la partie supérieure de l'épurateur.

Aujourd'hui diverses villes, Angers, Rennes, Melun, etc., possèdent des cimetières drainés. On s'est généralement borné à pratiquer le travail sous les allées. Partout les résultats ont été excellents; aussi cette amélioration tend-elle à se généraliser. La question de l'infection du sol par les sépultures a, du reste, préoccupé l'opinion publique dans ces dernières années. Pour les grandes villes, pour Paris notamment, on s'est demandé s'il ne conviendrait pas de placer les cimetières à de grandes distances. Divers projets ont été mis au jour à cette occasion. L'un de ceux qui présentent le plus d'originalité, et que recommandent d'ailleurs les noms des deux savants qui l'ont élaboré, se résumerait essentiellement à prévenir toute putréfaction cadavérique en injectant les corps avec du coaltar, préalablement à l'inhumation, et à incinérer ensuite les corps ainsi conservés, lorsque le délai légal de la rotation serait expiré. Nous reproduisons à la Note *n* l'exposé de ce projet, tel qu'il a été donné par ses auteurs.

Drainage des zones suburbaines. — Cette opération, bien que reconnue utile en principe, au moins dans certains cas

déterminés, n'a pour ainsi dire pas été pratiquée. A peine pourrait-on citer quelques bouts de routes ou d'avenues qui aient été drainés. Quant aux jardins et autres lieux cultivés, où le drainage a été introduit, c'est à la convenance des particuliers et par des considérations tout à fait étrangères à la salubrité publique.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Les observations contenues dans ce rapport se résument de la manière suivante :

Opérations insalubres pour les ouvriers. — En général, la salubrité intérieure laisse beaucoup à désirer. Néanmoins, depuis une quinzaine d'années, on constate, surtout chez les grands industriels, de louables tendances qui, dans plusieurs établissements, se sont traduites par des perfectionnements hygiéniques dignes d'intérêt.

Les moyens employés dans ce but consistent principalement :

1° Dans une modification aux procédés antérieurs, laquelle a eu pour résultat de changer le caractère et quelquefois la nature de l'industrie. Exemples : la céruse à l'huile, la substitution du blanc de zinc au blanc de plomb, l'argenture des glaces, les amorces de Paris, le phosphore amorphe, la vulcanisation mécanique du caoutchouc, le nettoyage des boyaux sans fermentation, le moulage à la fécule, etc.;

2° Dans la substitution de la voie humide à la voie sèche, pour les opérations donnant lieu à des dégagements de poussières. Exemples : l'écaillage des lames de plomb car-

bonnetées, le broyage des émaux et autres corps durs, le polissage de la porcelaine, le repassage des outils et des aiguilles, le lavage des chiffons, etc.;

3° Dans la ventilation artificielle, exercée soit dans les ateliers, soit directement dans les appareils où se produisent les dégagements nuisibles. Exemples : le blutage de la céruse, la torréfaction des tabacs, le sécrétage et l'arçonnage des peaux, la fermentation de la bière, la préparation des matières textiles, etc.;

4° Dans l'usage d'appareils respiratoires destinés, à préserver des poussières et même des gaz. Exemples : les appareils de MM. Paris, Poirel, Galibert, etc., servant à assainir le piquage des meules, l'émaillage, le service des égouts, l'extinction des incendies, etc.

De ces procédés on doit surtout encourager les premiers, qui ont l'immense avantage d'être indépendants des hommes et des lieux, en sorte qu'une fois admis dans une industrie, ils en réalisent l'assainissement, aussi bien dans les plus humbles ateliers que dans les plus vastes établissements. Leur étude montre que, presque toujours, le progrès sanitaire est en même temps un progrès industriel.

2° *Infection de l'atmosphère générale.* — L'autorité publique intervient très-activement, à un point de vue préventif, pour protéger l'atmosphère contre les dégagements nuisibles. La réglementation est parfois portée très-loin, et les arrêtés d'autorisation contiennent fréquemment des clauses qui fixent le mode d'assainissement, ou même le procédé industriel de fabrication. Par contre, la surveillance est généralement insuffisante, sauf dans des cas d'une particulière gravité; aussi la majorité des établissements laisse-t-elle plus ou moins à désirer. Toutefois, on rencontre dans la grande industrie, des améliorations dues à l'initiative des patrons, lesquelles vont souvent bien au delà des prescriptions mêmes de l'autorité.

Les effets des dégagements nuisibles, dans les industries s'exerçant sur des substances organiques ou minérales, ont été combattus avec succès par les moyens suivants :

1° Dispersion des gaz dans l'atmosphère, par des cheminées convenablement élevées, de façon à ce que les vapeurs délétères n'arrivent à la rencontre des objets terrestres que mêlées à une suffisante quantité d'air. Ce moyen convient à presque toutes les industries, mais il est insuffisant pour plusieurs d'entre elles.

2° Condensation dans l'eau. Exemples : les vapeurs nitreuses, l'acide chlorhydrique, l'ammoniaque; les vapeurs provenant de la distillation des bois, de l'ébullition des matières grasses, etc. La fabrication de la soude, notamment, a été transformée par l'usage des condenseurs. Parmi les systèmes en vigueur dans cette industrie, le plus efficace sans contredit, et qui tend à se répandre, est celui des grandes tours en maçonnerie garnies de coke.

3° Combustion dans des foyers. Exemples : les vapeurs d'huiles minérales, de graisses industrielles, de vernis; celles de la calcination des matières animales, de la distillation des bois, l'hydrogène sulfuré, etc... D'une manière générale, on peut dire que ce moyen ou le précédent conviennent à presque toutes les opérations qui s'exercent sur les substances du règne organique, et à bon nombre de celles qui s'exercent sur les substances du règne minéral.

4° Diverses réactions chimiques, consistant à combiner le produit dégagé avec des corps qui en neutralisent les propriétés nuisibles ou qui l'approprient à des usages ultérieurs. Exemples : l'absorption des vapeurs sulfo-nitreuses dans l'appareil Gay-Lussac, la distillation des eaux ammoniacales du gaz sur de la chaux, l'utilisation de l'acide sulfureux pour fabriquer l'acide sulfurique, la condensation des vapeurs ammoniacales dans l'acide muriatique, etc.

Ce dernier ordre de moyens est le plus digne d'intérêt, puisqu'il aboutit à transformer une chose nuisible en une

chose utile. On ne saurait trop engager les industriels à diriger leurs recherches dans cette voie.

La question de la fumivorité a pris une nouvelle importance par suite de la promulgation du décret qui prescrit de brûler la fumée des chaudières à vapeur. Quant aux appareils spéciaux, proposés dans ce but, ils s'écartent peu de ceux déjà connus. Du reste, on paraît convaincu aujourd'hui que la solution du problème n'appartient exclusivement à aucun système, mais qu'on peut la réaliser avec tous les foyers, pourvu qu'ils aient de bonnes dimensions, qu'on admette de l'air en excès dans la zone de combustion, et pourvu surtout qu'ils soient aux mains d'un chauffeur soigneux et intelligent.

3° *Infection des atmosphères limitées.* — L'assainissement des galeries d'égout a fait peu de progrès, si ce n'est à Paris, où on l'a réalisé par la seule ventilation naturelle, conséquence d'un plan largement conçu, d'une pente soutenue, d'un écoulement abondant et d'ouvertures multipliées. Les cheminées d'appel, ménagées le long des maisons, n'ont pas produit tout l'effet qu'on en attendait. En province on a obtenu des améliorations partielles dans les galeries récemment construites, mais l'ensemble se ressent fâcheusement des dispositions antérieures avec lesquelles il fallait relier les nouveaux travaux. On a fait quelquefois usage de désinfectants chimiques, et là où les circonstances l'ont permis, de lavages ou de chasses d'eau périodiques.

Les fosses d'aisances ont été fréquemment aérées par des tuyaux débouchant au-dessus des toits; mais ici, comme pour les égouts, on a rencontré des déceptions. De tels tuyaux n'ont d'efficacité que si l'on y exerce une ventilation artificielle; on l'a produite quelquefois, en mettant le tuyau d'aérage en communication avec une cheminée, ou en y entretenant un feu lent de tourbe, etc. Un moyen plus

puissant d'assainir les fosses, c'est d'y opérer la séparation des solides et des liquides à la faveur d'une des dispositions connues sous le nom de système diviseur. Un autre moyen, qui n'assainit pas les fosses, mais qui dispense les ouvriers d'y pénétrer pour le curage, c'est d'en opérer la vidange à l'aide des appareils dits hydrobarométriques, qui fonctionnent avec succès dans quelques villes du Midi.

Pour un grand nombre de locaux fermés, tels qu'hospices, salles de spectacles, ateliers, etc., le procédé général consiste dans la ventilation, soit naturelle, soit artificielle, réalisée tantôt par la seule multiplicité des ouvertures et tantôt par des appareils spéciaux de chauffage ou mécaniques.

Parmi les désinfectants chimiques, il en est deux sûr lesquels l'attention s'est plus particulièrement portée dans ces derniers temps : le phosphate acide de magnésie et l'acide phénique. Des expériences faites sur les matières fécales et sur le fumier d'écurie tendraient à prouver que l'emploi de ces réactifs peut, non-seulement empêcher la formation des odeurs, mais même augmenter la valeur de l'engrais en prévenant la déperdition des matières volatiles.

4° *Infection des eaux.* — Les cours d'eau ont été jusqu'ici fort incomplétement protégés. Les moyens employés sont de deux sortes, partiels et généraux : partiels, quand ils s'adressent séparément à chaque nature de résidus; généraux, quand ils s'adressent aux liquides d'égouts, qui sont le réceptacle commun des diverses impuretés. Les premiers, qui jouent encore le plus grand rôle, peuvent se grouper sous trois chefs principaux :

1° Traitement par la chaux, dans le but soit de neutraliser des acides, soit de précipiter des substances en dissolution ou en suspension dans les liqueurs. Exemples : les matières colorantes, les eaux de lavage et de collage des papeteries, les vinasses des distilleries, les résidus de la fa-

brication du chlore, les eaux provenant du traitement de matières animales, etc.

2° Emploi en agriculture, soit pour la nourriture du bétail, soit comme engrais ou en irrigations. Exemples : les grains épuisés des brasseries, les résidus des distilleries agricoles, des amidonneries, des féculeries, des tanneries, les eaux des fabriques de colle et de gélatine, celles du lavage des laines, du dévidage des cocons, etc.

3° Réactions chimiques consistant à dénaturer les résidus en vue d'en utiliser les éléments nuisibles. Exemples : l'extraction de la potasse des mélasses et des eaux de suint, le traitement des eaux grasses et savonneuses des laines, l'extraction du soufre contenu dans les marcs de soude, la régénération de l'arsenic entrant dans les résidus d'aniline, l'extraction de l'ammoniaque des eaux-vannes, etc. Tout porte à croire que c'est dans cette voie qu'on doit chercher les meilleurs procédés de désinfection : les intérêts de l'industrie y trouvent leur compte en même temps que ceux de la salubrité.

La question du rouissage, sujet de préoccupations pour tant de contrées, n'a pas encore reçu sa solution définitive. Il y a eu toutefois deux grands progrès : l'un consistant dans le rouissage à l'eau chaude, qui atténue dans une certaine mesure les inconvénients du rouissage ordinaire; l'autre, qui les fait disparaître entièrement pour certaines catégories de chanvre et qui paraît pouvoir les diminuer pour toutes les autres, consistant dans la nouvelle méthode de teillage mécanique inaugurée aux environs de Paris.

Les moyens généraux sont beaucoup moins avancés. On ne peut signaler que pour le réprouver l'usage des puits absorbants, encore à l'état de système sur plusieurs points. Dans deux villes seulement on utilise partiellement les liquides d'égout pour l'irrigation des prairies. Partout ailleurs ils vont souiller les rivières. A Paris, le problème est étudié sérieusement, mais la solution ne peut être encore

pressentie. Deux systèmes sont en présence : l'un ayant pour objet de désinfecter les liquides à l'aide d'un traitement chimique, l'autre se proposant de les employer directement à l'arrosage des terres.

5° *Infection du sol.* — Le moyen le plus puissant d'assainir le sol est le drainage. Sous ce terme, on comprend deux opérations bien distinctes : l'une ayant pour but d'évacuer les liquides impurs par des canaux étanches, l'autre d'assécher et d'aérer le sol par des conduites perméables, analogues à celles de l'agriculture. Cette dernière opération a été pratiquée jusqu'ici sous un petit nombre de maisons et de rues : elle l'a été davantage dans les cimetières et elle commence à se généraliser sous les plantations de la voie publique des grandes villes. La première opération a reçu beaucoup plus d'extension. Elle est loin toutefois d'avoir pris tout le développement que réclame l'hygiène. Sauf Paris, où l'œuvre de la canalisation souterraine marche à pas de géant, et les principales cités de l'Empire, où elle est plus ou moins avancée, la plupart des autres villes sont encore à peu près dépourvues d'égouts.

On est partagé sur la nature des services que doivent rendre les égouts. Selon les uns, il faut se borner à y écouler les liquides des rues, ainsi que les eaux industrielles et les eaux ménagères et pluviales des maisons; selon les autres, il faudrait y envoyer également les matières fécales et réaliser ainsi dans son ensemble le système de circulation continue. Cette dernière pratique, dont la conséquence serait la suppression de tout dépôt d'ordures au sein des habitations, existe dans trois villes, Nancy, Montpellier et Saint-Étienne, qui, en la conservant, ne font que perpétuer d'anciennes traditions; l'idée moderne est donc un retour vers le passé. Entre ces deux opinions opposées s'en est formée une troisième, déjà entrée dans le domaine des faits, laquelle a en vue de filtrer les matières, de manière surtout à les défor-

mer, avant de les admettre aux égouts publics : Paris, Lyon et Marseille se montrent favorables à ce système, qui facilitera sans doute la transition à une admission directe.

Les appareils filtrants, surtout ceux des fosses mobiles, remédient à l'infection spéciale due aux fosses d'aisances ordinaires. Une autre cause d'infection, également très-répandue, réside dans les conduites du gaz de l'éclairage. Sur quelques points on les a renfermées dans des canaux étanches en maçonnerie. On a proposé de les placer dans les galeries d'égout, mais les services municipaux ont résisté jusqu'à présent à cette solution radicale.

Divers moyens, l'extension des plantations *intra muros*, les soins donnés au nettoiement des rues, etc., contribuent puissamment à la salubrité du sol ; ils ont reçu depuis quelques années des perfectionnements sensibles dans les principales cités de l'Empire. Toutefois, on trouve encore dans les populations de la province une trop grande indifférence à faire disparaître les causes qui peuvent amener l'infection du sol. A défaut de drainage souterrain, on n'assure pas l'écoulement superficiel des liquides impurs, ni le prompt enlèvement des débris putrescibles, ni la bonne construction des divers réceptacles d'ordures. Sous ce rapport, il reste d'immenses améliorations à introduire dans l'ensemble du territoire.

En résumé, l'assainissement des industries a fait des progrès, mais ces progrès sont restreints jusqu'ici à de grands établissements : la généralité des fabriques laisse plus ou moins à désirer. Dans l'ordre du progrès, on doit signaler deux heureuses tendances : remplacer les anciens procédés de fabrication par d'autres moins insalubres ; utiliser dans des opérations ultérieures les résidus susceptibles de produire l'infection ; en d'autres termes, résoudre le problème sanitaire par le progrès industriel. A défaut de cette solution directe, les moyens simples, tels que la ventilation, la condensation dans l'eau, la combustion dans les foyers, l'arrosage des terres, sont ceux qui ont donné les meilleurs résultats.

L'assainissement des villes offre des contrastes frappants. En regard d'une capitale magnifiquement drainée et de quelques grandes cités qui s'efforcent à des degrés divers de suivre son exemple, la plupart des villes de province restent dans des conditions de propreté fâcheuses. Le drainage des eaux ordinaires, de date toute récente, est encore peu répandu. Il a reçu, toutefois, d'utiles applications dans les cimetières et sous les plantations des grandes villes. Deux des questions qui préoccupent le plus en ce moment l'opinion publique sont la suppression des fosses d'aisances et l'utilisation des liquides d'égout pour l'arrosage des terres cultivées.

NOTES A L'APPUI.

Note *a*.

Le décret du 15 octobre 1810 ne paraît avoir eu en vue que la salubrité extérieure. C'est du moins ce qui ressort des expressions qui y sont employées. Ainsi, les considérants sont tirés des « plaintes portées par différents particuliers; » le classement est basé uniquement sur les rapports des manufactures avec « les habitations des tiers » ; les inconvénients prévus sont tous relatifs à « la salubrité publique, la culture, ou l'intérêt général. » Le même langage se retrouve dans les instructions ministérielles ainsi que dans divers actes postérieurs concernant le même objet. Dans l'ordonnance royale du 9 février 1825, par exemple, comme dans la circulaire explicative du 25 mai suivant, il est question des « ateliers et établissements qui, à raison de l'insalubrité, ou de l'incommodité, ou des dangers qui en résultent pour le voisinage, ne peuvent être formés sans autorisation. » La salubrité des ateliers n'est jamais mentionnée, ce qui serait peu explicable, eu égard à la grandeur de l'objet, si les actes dont nous parlons avaient dû s'y rapporter. Aussi, quand la Belgique, qui possédait notre législation, a voulu protéger efficacement cette branche de la santé publique, elle a jugé à propos d'insérer dans ses codes les dispositions suivantes :

Art. 2.... « Elles (les demandes d'autorisation) font connaître, de plus, les mesures projetées en vue de prévenir ou d'atténuer les inconvénients auxquels l'établissement pourrait donner lieu, *tant pour les ouvriers attachés à l'exploitation* que pour les voisins et pour le public. »

Art. 6. « Les autorisations sont subordonnées aux réserves et « conditions qui sont jugées nécessaires dans l'intérêt de la sûreté « et de la salubrité publiques, *ainsi que dans l'intérêt des ouvriers « attachés à l'établissement.* »

(Arrêté royal du 29 janvier 1863.)

Note *b*.

M. Simon Boucher a exposé son système dans la notice ci-après, qu'il a bien voulu nous remettre :

« La filature de lin, d'étoupe et de chanvre, depuis qu'elle est « établie sur une grande échelle, emploie l'eau chaude pour pro- « duire la détrempe de la mèche. Cette eau, dont la température « est souvent portée à 50 et même à 70 degrés Réaumur, suivant la « nature des matières à filer, est renfermée dans un bac que la « mèche traverse avant d'arriver aux cylindres lamineurs. Ce pro- « cédé offre plusieurs inconvénients que je me suis attaché à faire « disparaître, et j'ai été assez heureux pour découvrir un système « qui apporte de notables améliorations à l'ancien mode de travail.

« Parmi les défauts du mode qui a été jusqu'ici en usage, il suf- « fira d'indiquer l'imperfection de la détrempe des lins, étoupes et « chanvres durs, dont les mèches passent trop rapidement dans le « bac pour que la décomposition soit régulière; c'est de là que ré- « sultent la plupart des imperfections du fil, telles que coupures « plus ou moins prononcées, ruptures à la sortie du cylindre lami- « neur, vrilles ou tire-bouchons. On peut quelquefois aussi attribuer « ces défauts à un chauffage irrégulier.

« En effet, comment veut-on qu'une matière soit parfaitement « détrempée et dégagée de la substance gommo-résineuse qu'elle « renferme, la mèche restant à peine de 30 à 40 secondes dans « un bac au parcours de 45 à 50 centimètres? On doit comprendre « alors que le laminage est en souffrance; on attribue assez sou- « vent aux rouleaux ou à la mauvaise cannelure les défauts précités, « tandis qu'on devrait les attribuer à une détrempe insuffisante. « Un exemple : les lins de 1861 étaient généralement durs; qu'en « est-il résulté? qu'une grande partie des fabricants se sont plaints « de la difficulté de les filer; c'était encore, dans ce cas, le « manque de décomposition; on voit par là la nécessité d'avoir « une détrempe supérieure.

« Pénétré de cette vérité, j'ai cherché longtemps à obtenir une « détrempe complète, et j'y suis parvenu en n'employant que l'eau « froide. Les avantages qu'offre mon système sont la suppression de « la vapeur dans les bacs, ce qui donne une économie notable de « combustible, de rouleaux, de courroies, de détérioration du maté- « riel, des bâtiments et divers objets de consommation d'une filature.

« Je dois aussi appeler l'attention sur un point capital, c'est

« l'hygiène. En effet, les ouvrières doivent rester environ 12 à « 13 heures par jour dans une salle, dont la température est élevée « de 22 à 25 degrés Réaumur, ce qui leur donne une transpiration « continue et altère leur santé, qui doit devenir insensiblement « débile. Que l'on ajoute à cela, la transition du chaud au froid à « leur sortie des ateliers, et l'on aura les causes qui les exposent à « de graves maladies.

« Mon système change complétement cet état de choses, vu que « la température des salles sera celle que la saison exigera pour le « bien-être des ouvrières; de plus, une grande surface d'eau froide « renouvelée par un jet continu contribuera à rendre les salles « encore plus hygiéniques.

« Une conséquence de cette amélioration sera une plus grande « facilité pour les industriels de se procurer des ouvrières qui n'é- « prouveront plus désormais de répugnance à travailler dans les « filatures de lin.

« Ma filature, qui est composée de 6.000 broches, marche entière- « ment d'après le système que je viens d'exposer, et ses produits « ne le cèdent en rien à ceux qui étaient antérieurement obtenus. »

De son côté M. Lepercq, qui a étudié la question avec beaucoup de soin, nous déclare qu'il ne lui a pas été possible de continuer à marcher d'après le procédé Boucher, « parce que, dit-il, ce procédé « se base sur une détrempe prolongée du lin dans l'eau, détrempe « qui, tout en modifiant la substance gommo-résineuse qui fait adhé- « rer entre elles les fibres du lin, altère la nature du lin et lui fait « subir une décoloration. Cette décoloration variant suivant le sé- « jour plus ou moins prolongé dans l'eau, et ce séjour étant néces- « sairement irrégulier, puisqu'on opère à l'aide de bobines dont la « première couche est filée un jour et parfois un jour et demi « avant la dernière, il s'ensuit que l'on obtient par le procédé Bou- « cher des fils multicolores, variant du gris au roux, tout à fait « impropres à la fabrication des toiles écrues. » A cet inconvénient majeur, M. Lepercq en ajoute quelques autres de détail : ainsi, les fils s'étirent moins bien, et il se produit une plus grande quantité de renflements, ce qui augmente nécessairement le déchet; enfin, il faut accroître la force motrice à cause du refroidissement des ateliers et du frottement qui en résulte dans tous les rouages. Mais le premier motif suffit, selon lui, pour empêcher les industriels d'appliquer jamais une semblable méthode.

On doit souhaiter que de nouvelles études arrivent à concilier, s'il est possible, ces termes opposés, car la suppression du mouillage à chaud serait pour la classe ouvrière un immense bienfait.

NOTE *c*.

Les arrêtés d'autorisation fixent souvent le mode d'assainissement à employer par l'industriel. On peut même dire qu'il est très-rare qu'on lui en laisse le choix. Cependant il peut très-bien arriver que le procédé réputé le meilleur auprès du conseil d'hygiène local, ne le soit pas effectivement : ainsi, quand il s'agit de détruire des vapeurs odorantes telles que celles qui s'exhalent, par exemple, de la cuisson des matières organiques, on prescrit le plus souvent de les envoyer dans une haute cheminée ou de les faire passer à travers un foyer en ignition. Le premier moyen peut être tout à fait insuffisant, et quant au second, il est, en certain cas, beaucoup moins bon que celui qui consiste à condenser les vapeurs dans l'eau ou à les combiner avec quelque substance d'un emploi économique. Ne vaudrait-il pas mieux imposer simplement au fabricant l'obligation de détruire ses vapeurs, tout en le laissant libre de rechercher sous sa responsabilité les meilleures voies pour y arriver?

Nous connaissons un exemple récent, qui se rattache à une affaire de grande importance, et qui montre bien le danger d'entrer dans cet ordre de considérations. Il s'agit de la fabrique de produits chimiques de Dieuze, laquelle, à force d'infecter le pays par des torrents d'acide chlorhydrique et par des évacuations liquides provenant des marcs de soude, avait fini par soulever contre elle toute la population du voisinage. M. le préfet de la Meurthe s'y rendit en personne, et, le 17 mars 1864, une commission composée de trois des membres les plus distingués du conseil d'hygiène procéda à la visite des lieux. Cette commission produisit, à la date du 4 juin, un rapport, d'ailleurs très-remarquable au point de vue scientifique, dans lequel on lit les considérations suivantes : « On se fait donc « facilement une idée de la quantité d'acide chlorhydrique qui « se développe dans cette circonstance, et l'on comprend l'impor- « tance qu'il y aurait à employer des appareils suffisamment « étanches pour la complète absorption de cet acide si délétère. « Plusieurs moyens sont employés pour cela, dans les différents « centres manufacturiers; le seul qui, jusqu'ici, ait conduit au but « et qui puisse être recommandé, sinon prescrit, est celui des tours « à condensation, depuis longtemps exigées par la loi belge et « employées dans tous les établissements importants, non-seule- « ment de l'Angleterre, mais encore de la France..... » Ces consi-

dérants aboutissent à cette conclusion adoptée par le conseil dans sa séance du 4 juin 1864, à savoir que dans le cas où la Compagnie des salines ne prendrait pas au plus tôt les mesures nécessaires « pour rendre inoffensives les causes d'infection qui siégent dans ses salines, » il y aurait lieu « d'exiger d'elle d'annexer des tours à condensation à ses fours à sulfate. » Sans nous arrêter à quelques erreurs de détail contenues dans les considérants (car il n'est point exact que la loi belge impose des tours de condensation ni que les principaux établissements de France en soient pourvus), il est certain que la conclusion, si elle eût été adoptée par l'autorité préfectorale, aurait, le cas échéant, placé l'administration dans un grand embarras. En effet, il aurait très-bien pu se faire que l'usine ayant érigé ces tours, eût continué, néanmoins, son émission d'acide; car cette émission ne tient pas seulement à l'absence d'un semblable condenseur, elle tient aussi et surtout à ce que les fours à sulfate de Dieuze ne sont pas à double mouffle et à ce que l'acide provenant de la calcination est mélangé aux flammes du foyer. Or il est sans exemple que dans de telles conditions la condensation puisse être satisfaisante même avec des tours élevées, tandis qu'il y a des usines qui condensent très-convenablement, avec de simples bonbonnes, quand elles ont, d'ailleurs, des fours à double mouffle (*). Si un conseil d'hygiène aussi éclairé que celui de la Meurthe a pu risquer de compromettre l'administration, que penser des inconvénients que doit offrir le même mode de réglementation, dans la plupart des départements de l'Empire, où les notions de chimie industrielle sont certainement bien moins avancées?

Souvent aussi, avons-nous dit, les arrêtés d'autorisation fixent le procédé industriel de fabrication, ce qui peut avoir des inconvénients de plus d'un genre. Voici, par exemple, un fait assez caractéristique, qui s'est produit dans deux départements considérables. Ayant eu à réglementer des fonderies de suif, les conseils d'hygiène de ces deux départements ont fixé le procédé industriel de fabrication, et chacun d'eux a rendu obligatoire le procédé proscrit par l'autre. Le conseil de la Loire-Inférieure dit : « Dans le cas où les « graisses sont fondues dans l'établissement, le *seul* procédé auto- « risé est celui dit *aux acides*, qui consiste à opérer la fusion dans « un bain d'eau chaude, additionné de 3 p. 100 d'acide sulfu-

(*) Ayant eu occasion de visiter l'établissement de Dieuze peu après le dépôt du rapport à la préfecture, nous présentâmes officieusement des observations dans le sens qui précède. Nous avons appris depuis que l'affaire avait été soumise à une nouvelle instruction.

« rique. » (Rapport de 1856, p. 6.) D'un autre côté le conseil du Bas-Rhin formule la condition suivante : « Le sieur Richert em- « ploiera exclusivement pour la fonte des suifs le procédé *à la* « *soude et à la potasse*, et exclura tout autre procédé, notamment « ceux qui consistent à chauffer la matière à feu nu et *à faire usage* « *d'acides*... » (Séance du 15 août 1851.) Ce dernier conseil fut du reste obligé, l'année suivante, de revenir sur sa décision à la suite de la réclamation du sieur Richert qui déclarait que « les condi- « tions imposées entraînaient une trop grande infériorité dans ses « produits. »

Enfin, non-seulement les arrêtés prescrivent le mode d'assainissement et même le procédé de fabrication, mais il leur arrive fréquemment de fixer les dimensions des appareils. Pour ne pas multiplier les exemples, nous nous bornerons à en citer un, pris au hasard dans la collection des rapports d'un des conseils les plus éclairés de France, celui du département du Nord (année 1864).

On lit à propos du traitement des eaux de lavage des laines de MM. Seydoux et Cie : « A la partie supérieure du toit sera établi « une hotte continue communiquant à une cheminée d'appel en « bois de $0^m,30$ sur $0^m,30$ de section... Les fenêtres seront fer- « mées par des châssis dormants. La toiture de l'appentis se ter- « minera par une hotte communiquant avec la cheminée des gé- « nérateurs, par un conduit de $0^m,25$ sur $0^m,25$ de section... » Et, à propos d'eaux résiduaires de brasseries : « Les eaux prove- « nant... seront reçues dans un bassin en maçonnerie, bien ci- « menté et étanche, de 10 mètres cubes au moins... Dans un des « murs du bassin, on établira une ouverture verticale de $0^m,20$ de « large, qui sera fermée par un madrier de chêne fixe; ce madrier « sera percé, de 10 en 10 centimètres, d'ouvertures circulaires « qui seront fermées par des chevilles de bois : c'est par ces ori- « fices, successivement ouverts de haut en bas, au-dessus du dé- « pôt, que les eaux clarifiées seront décantées... »

Quelques conseils d'hygiène commencent cependant à réagir contre cette tendance à une réglementation exagérée, et l'on remarquera cet exposé de principes, présenté en 1859, à M. le préfet des Bouches-du-Rhône, par le conseil de son département :

« Vous aviez manifesté le désir que le conseil ne se bornât point « à formuler un avis pur et simple sur l'autorisation ou le refus ; « qu'en cas d'adhésion au projet il fît connaître les conditions dé- « taillées en vertu desquelles il y avait lieu d'autoriser.

« Il est certainement des cas où, pour rendre moins pénible à « l'administration la tâche que lui impose sa haute sollicitude pour

« le bien public, il lui est facile d'en agir ainsi. Cela dépend du « degré de confiance que l'expérience lui a fourni sur l'efficacité de « ces conditions, et de ce que, en dehors d'elles, il n'y pas à tenir « compte de la conduite des ouvriers pendant l'évolution des pro- « cédés industriels qu'ils ont à mettre en œuvre, conduite qui peut « compromettre le succès de ces conditions. Sans cette certitude, « et pour renfermer sa mission dans les limites de ses attributions, « le conseil d'hygiène n'étant ni un comité d'arts et manufactures « ni un conseil de fabrique, ne peut se permettre que de signaler la « cause d'insalubrité d'une exploitation industrielle et d'accepter « sous toutes réserves les améliorations proposées aux fabricants ou « indiquées par la science. En agissant autrement, en voulant en- « trer à cet égard dans les détails qui donneraient aux conditions « à imposer le caractère d'infaillibilité qui ne peut être dans sa « pensée, il aurait à craindre d'engager par trop sa responsabilité « morale dans le conflit des divers intérêts qui peuvent être plus « tard mis en cause par suite de l'insuccès de ces conditions. »

Ajoutons qu'au sein du Comité consultatif des Arts et Manufactures, mieux placé que tout autre pour apprécier le régime des fabriques, la question a été récemment agitée de savoir s'il ne conviendrait pas de simplifier la réglementation industrielle, et si, par exemple, il ne serait pas possible de supprimer en certains cas les arrêtés spéciaux d'autorisation, en procédant par voie d'ordonnances générales déterminant une fois pour toutes, pour chaque nature d'établissements, les conditions uniformes sous lesquelles ils pourraient spontanément se former sur toute l'étendue de l'Empire, ainsi que cela a eu lieu récemment pour les appareils à vapeur par le décret du 25 janvier 1865.

Note *d*.

Le manque de surveillance administrative a pour résultat que, d'une part, beaucoup d'établissements fonctionnent sans être autorisés, et que, d'autre part, parmi ceux qui ont été autorisés, le plus grand nombre ne se conforment pas aux conditions des arrêtés. Pour donner une idée de cet état de choses, nous rapporterons les résultats de la statistique dressée en 1859, dans le département de l'Hérault, résultats d'autant plus significatifs que le conseil d'hygiène de ce département a fait les plus louables efforts pour régulariser la position des établissements insalubres.

Voici ce qu'on trouve au compte rendu officiel :

« Sur le chiffre total des établissements insalubres du dépar- « tement, 277 auraient une existence antérieure au décret du « 15 novembre 1810 (*), tandis que 1.931 dateraient d'une époque « postérieure. Sur ce nombre, 1.342 fonctionnent sans autorisa- « tion et 589 seulement sont autorisés.

« Sur les 589 usines pourvues d'autorisation, 54 le sont sans con- « dition, tandis que les 535 restantes devaient, aux termes de « l'arrêté d'autorisation, remplir certaines conditions, qui l'ont été « par 122 usiniers seulement. Par contre, 413 les ont éludées. »

Ainsi, en 1859, sur l'ensemble des usines sujettes à autorisation, on en comptait 70 p. 100, ou plus des deux tiers qui n'étaient pas autorisées, et parmi celles qui l'étaient, 70 p. 100 qui ne satisfaisaient pas aux conditions de leur arrêté : en sorte que, finalement, un douzième à peine des établissements postérieurs au décret du 15 octobre 1810 avaient obéi au vœu de la loi. Depuis lors, nous a dit M. le professeur Dumas, secrétaire du conseil, cette situation n'a guère changé. Aussi, le conseil d'hygiène, « prenant la proposition de son secré- « taire en sérieuse considération, et pensant que l'exécution des « prescriptions sanitaires dans le département de l'Hérault exige « une surveillance générale, active et éclairée; qu'il en est de « même des établissements incommodes ou insalubres, qui ont, « jusqu'à ce jour, échappé à tout contrôle ; émet le vœu que l'ad- « ministration veuille bien prendre les mesures nécessaires pour « établir un service spécial d'inspection sanitaire dans le dépar- « tement. »

Déjà le conseil d'hygiène du Nord avait fait entendre un langage non moins énergique.

« Les prescriptions destinées à protéger les intérêts des voisins « et les droits du public, lit-on dans un de ses rapports annuels, « ne sont que trop souvent laissées dans l'oubli, et le conseil a pu « constater par lui-même et vous signaler que les établissements « protégés ou tolérés par l'apparence de restrictions illusoires « étaient souvent la cause de dangers et de dommages dont avait à « souffrir toute la population d'une commune.

« Déjà plusieurs conseils du département, et surtout le conseil « central, ont formulé depuis plusieurs années des vœux tendant « à obtenir une surveillance spéciale et continuelle sur les usines « autorisées moyennant certaines conditions restrictives. Le besoin « devient de plus en plus pressant à mesure que le mouvement in-

(*) C'est le 15 *octobre* qu'on a voulu dire.

« dustriel tend à se développer. L'hygiène publique aurait à subir « de graves atteintes si un semblable abus, d'une part, et son im- « punité, de l'autre, devenaient un état habituel. Il serait utile, « monsieur le préfet, de mettre un terme à la négligence que les « commissaires de police cantonaux apportent à faire exécuter les « décisions de l'autorité, en leur rappelant que cette surveillance « rentre de droit dans leurs attributions. »

Nous ne pousserons pas plus loin ces citations; nous nous bornerons à dire que tous les conseils font entendre les mêmes doléances. Tous ceux de leurs membres avec lesquels nous avons été en rapport nous ont paru également pénétrés de l'insuffisance de la surveillance ordinaire.

Note *e*.

Voici le compte rendu de cette enquête, tel qu'il figure au rapport des travaux du conseil d'hygiène du Rhône :

« Une circonstance s'est présentée dans laquelle les effets de la fumée des fours à chaux sur le vin ont dû être et ont été étudiés avec soin. C'est à l'occasion d'un procès intenté à un chaufournier par des propriétaires de vignobles, situés non loin de Lyon, à Virieu-le-Grand, dont les vins avaient subi l'action délétère d'un four à chaux. Une expertise fut ordonnée. Elle fut faite par M. Ferrand, pharmacien, récemment nommé membre du conseil. Citer le nom de cet habile chimiste, c'est garantir d'avance les résultats de son expertise, la certitude de ses conclusions..... On lira certainement avec intérêt l'extrait suivant d'une note publiée par M. Ferrand à ce sujet en 1859 :

« Les vins ont été subodorés et goûtés par des dégustateurs qui « nous ont été adjoints, personnes compétentes et honorables, nées « dans le pays.

« Il fut reconnu que le goût désagréable de ces vins n'était pas « un goût de terroir, car le goût de terroir commun à tous les vins « du pays dont il s'agit, provenant de vignes exposées ou à l'abri « des fours était, dans ces derniers surtout, parfaitement distinct, « et ce goût de terroir n'est point mauvais; il a été reconnu, en « outre, que le goût désagréable dont il s'agit n'est pas un goût « de grêle, car ce dernier, qui se traduit surtout par la saveur, « offre plutôt une sapidité acerbe qu'un arome quelconque, fait « que nous avons constaté sur d'autres vins de la localité grêlés, « loin des fours.

« Puis il est demeuré bien évident que les caractères communs

« à ces vins, caractères dus naturellement au terroir, à la grêle et, « d'autre part, aux engrais, qui sont les mêmes pour tous, à la sai- « son enfin, ne pouvaient être confondus avec les caractères que « présente en outre, et en propre, dans le même pays, les vins « dont les raisins ont subi l'influence des fours.

En effet, ces vins, altérés par le goût dit de four à chaux, ont « tous un arrière-goût de fumée ou de suie plus ou moins pro- « noncé, et d'autant plus sensible que les ceps qui les ont produits « sont plus rapprochés des fours. Cette influence fâcheuse, enfin, « plus évidente dans les vins purs que dans les vins mélangés, est « encore manifeste sur les vins des vignes situées surtout dans la « direction habituelle des vents, à 6 ou 800 mètres des fours.

« Or c'est à cette fumée de houille qu'il faut rapporter l'origine « du mauvais goût constaté dans les vins : en effet, lorsque j'ai « soumis ces vins à la distillation dans une cornue de verre, j'ai « obtenu une eau-de-vie très-chargée du mauvais goût de fumée; « cette eau-de-vie recohobée m'a donné à la condensation un « liquide à la fois plus alcoolique et plus odorant, alors que les vi- « nasses et deuxièmes résidus de distillation étaient à peu près « inodores. Le dernier liquide alcoolique, abandonné à l'évaporation « spontanée à 20°, m'a laissé un résidu aqueux, débarrassé de sa « senteur spiritueuse, et dans lequel se trouvait condensée une « matière pour ainsi dire impondérable, se colorant à l'air et ayant « l'odeur de fumée.

« Il ne reste pas moins établi que les vins objet de notre examen, « d'après ce qui vient d'être dit de leurs propriétés organoleptiques « et de celles de leur eau-de-vie par nous retirée, ont subi de la « part des fumées de fours à chaux une influence fâcheuse. »

« Le tribunal a adopté cette conclusion. En conséquence, il a condamné le chaufournier à des indemnités envers quarante propriétaires. »

Note *f*.

Le rapport de M. Combes est du 5 juillet 1859. Il a été revu par l'auteur en 1863 : on peut donc le considérer comme l'expression de l'état des choses à cette dernière date. Depuis lors, il n'y a pas eu de fait saillant à enregistrer (*).

(*) Sauf peut-être l'application de l'appareil Palazot, auquel nous avons consacré quelques développements au cours de notre rapport.

Après l'exposé le plus complet des diverses inventions fumivores, M. Combes est amené aux conclusions suivantes, qui, bien que formulées pour le seul département de la Seine, s'appliquent en réalité à la France entière, car il n'y a pas un seul appareil, digne d'attention, qui n'ait quelque représentant à Paris.

« En résumé, si la fumée émise par les fourneaux de chaudières « à vapeur et autres fourneaux appliqués à des fabrications di- « verses, à la cuisson des aliments en grand, et même aux usages « domestiques, existants dans la ville de Paris et les environs, a di- « minué notablement depuis l'ordonnance de police du 11 no- « vembre 1854, cela est dû surtout à l'usage de plus en plus ré- « pandu des houilles maigres ou demi-grasses, provenant, pour la « plus grande partie, de quelques mines de houille des environs « de Charleroi et du centre de la Belgique.

« Un grand nombre de fourneaux ou d'appareils fumivores ont » été proposés; fort peu d'applications en ont été faites, et la plu- « part ont été presque aussitôt abandonnées, comme étant ineffi- « caces, occasionnant une augmentation plutôt qu'une économie « de combustible, exigeant trop de soins du chauffeur dans la con- « duite du feu.

« Cependant les essais suivis avec beaucoup de soin par des « ingénieurs du corps impérial des mines, et par des ingénieurs « libres, ont démontré que plusieurs de ces appareils adaptés à des « fourneaux bien construits et pourvus de cheminées suffisamment « larges et hautes pour donner un bon tirage, font complétement « disparaître la fumée, sans que leur emploi entraîne une aug- « mentation de dépense de combustible. Des appareils fumivores « continuent à être employés, à la satisfaction des directeurs ou « exploitants, dans plusieurs établissements publics ou privés, où « quelques-uns sont placés depuis plus d'une année (les grilles « Taillefer, à la manufacture impériale des tabacs; la grille Know- « elden, à la pompe à feu du quai d'Austerlitz; la grille Raymon- « dière, à l'imprimerie impériale; des fourneaux Dumery, dans les « ateliers de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, au Mu- « séum du Jardin des Plantes, dans quelques établissements de « restaurateurs et maisons particulières; un appareil Vuitton, « à la boulangerie centrale, place Scipion; la porte Grado, sur « quelques bateaux à vapeur de la Compagnie Piau; des appa- « reils de M. Foucou, chez M. Dugdale, à Courcelles, au four- « neau du journal *La Patrie*, dans la savonnerie de M. Arlot, à la « Villette).

« Nonobstant l'emploi (*) plus fréquent des houilles maigres ou « demi-grasses, il existe encore, dans la ville de Paris et dans les « environs, un grand nombre de fabriques produisant une fumée « abondante, opaque, accompagnée, dans quelques cas, de vapeurs « acides ou infectes; cet état de choses est une cause grave d'in- « commodité et d'insalubrité pour les propriétaires et les habitants « du voisinage. Les observations qui vous ont été adressées à ce « sujet par M. le préfet de la Seine et les réclamations formées par « divers particuliers sont bien fondées.

« Avec des houilles maigres ou demi-grasses brûlées dans des « fourneaux, dont les grilles, les carneaux et la section intérieure « de la cheminée en briques dépasse en hauteur le faîte des mai- « sons voisines, les soins d'un chauffeur intelligent suffisent en gé- « néral pour prévenir une émission de fumée nuisible ou incom- « mode, tandis qu'avec les mêmes houilles et, à plus forte raison, « avec des houilles grasses et fumeuses, un fourneau mal construit, « surtout si le feu est mal dirigé, produit une fumée opaque, ex- « trêmement nuisible et incommode. Les fourneaux munis de che- « minées en tôle sont, pour la plupart, dans ce cas; presque toutes « ces cheminées ont une hauteur et un diamètre insuffisants. La « conductibilité du métal contribue probablement aussi à augmen- « ter la fumée, parce que le refroidissement diminue le tirage, « hâte l'extinction de la flamme et ne peut que favoriser la sépa- « ration du carbone sous forme de suie ou de noir de fumée. Une « bonne construction des fourneaux, des dimensions suffisantes des « grilles, des carneaux et de la section intérieure des cheminées, « l'élévation des cheminées, qui peuvent être rétrécies avec avan- « tage à leur orifice supérieur, sont les conditions indispensables « auxquelles il doit être satisfait dans tous les cas pour toute es- « pèce de fourneaux, qu'ils soient appliqués au chauffage des chau- « dières à vapeur ou à tout autre usage. Ces conditions suffiront, « en effet, souvent avec les soins d'un bon chauffeur, et moyen- « nant l'emploi exclusif des houilles maigres ou demi-grasses, dont « le marché de Paris est abondamment approvisionné, pour pré- « venir l'émission d'une fumée incommode. Leur absence rend au « contraire la combustion de la fumée impossible ou très-difficile, « même avec le secours des meilleurs appareils fumivores connus.

(*) « Aujourd'hui, on pourrait citer un grand nombre d'exemples de l'appli- « cation de divers appareils fumivores; voyez les notes précédentes relatives « aux appareils Thierry fils, à la grille inclinée de M. Tembrinke, aux fours « Siemens. » (Note de M. Combes, du 10 décembre 1863.)

« Peut-être est-il impossible d'obtenir une combustion complète « de la fumée produite par des houilles grasses et menues, même « dans les fourneaux bien conduits, munis de bons appareils et pla- « cés sous la direction d'un chauffeur soigneux, mais il est incontes- « tablement possible et même aisé d'en diminuer considérablement « l'intensité. L'administration ne saurait donc tolérer plus long- « temps l'émission des torrents de fumée noire que vomissent dans « l'atmosphère les cheminées de beaucoup d'usines et de quelques « bateaux à vapeur naviguant sur la Seine, dans l'intérieur de Paris.

« Un des grands obstacles à l'adoption par les manufacturiers « d'appareils fumivores, sera vraisemblablement, après la construc- « tion défectueuse de beaucoup de fourneaux qui seront à modi- « fier et le défaut d'emplacement convenable, l'exagération des « prospectus distribués par les inventeurs réels ou prétendus tels « des appareils de ce genre, qui, sans exception aucune, annon- « cent une économie plus ou moins considérable de combustible « comme devant résulter, en même temps que l'absence de fumée, « de l'application des appareils qu'ils offrent au public. Ces pro- « messes n'ont été réalisées presque dans aucun cas. Nous tenons « même pour certain, d'après les faits observés, que si la fumivo- « rité peut être obtenue sans augmentation de dépense, et même « généralement avec une petite économie de combustible, celle-ci « sera peut-être compensée par l'accroissement des frais d'en- « tretien du fourneau et de l'appareil fumivore (*). Mais alors « même qu'il devrait en résulter pour les manufacturiers une lé- « gère augmentation de dépense, et quelque gêne, nous ne saurions « voir là un motif de laisser subsister plus longtemps un état de « choses compromettant pour la salubrité publique, et qui cause « à des tiers désintéressés des dommages et une incommodité « considérables, hors de toute comparaison avec les soins et le petit « excès de dépense qu'auront à faire les exploitants d'usines, pour « supprimer les inconvénients dont la population toute entière a « à souffrir.

« Nous estimons, en conséquence, qu'il y a lieu de remettre en « vigueur l'ordonnance du 11 novembre 1854, en l'étendant, ainsi « que le demande M. le préfet de la Seine, à toutes les manufac- « tures, fabriques et ateliers quelconques où la houille est con- « sommée en grand, ou plutôt de rendre une nouvelle ordonnance « qui viserait celle de 1854 et dont l'article 1er serait ainsi conçu :

(*) « Il faut excepter les fours Siemens. » (Note du 10 décembre 1863.)

« Art. 1er. Dans le délai de trois mois, à dater de la publication « de la présente ordonnance, tout propriétaire ou exploitant d'u- « sine, renfermant des fourneaux servant au chauffage de chau- « dières à vapeur ou à tout autre usage, tout propriétaire ou ex- « ploitant de bateaux à vapeur stationnant ou naviguant sur la « Seine, sera tenu de construire ou de modifier ses fourneaux, de « manière à faire cesser toutes émissions de fumée ou de cendres « nuisibles aux propriétés, ou incommodes pour les habitants du « voisinage. »

Ces conclusions ont été adoptées par l'autorité souveraine, en ce qui concerne les foyers des appareils à vapeur fixes. Pour les autres sortes de fourneaux, la question est réservée.

Note *g*.

Les lignes qui suivent sont empruntées au compte rendu des travaux de la commission des logements insalubres de Lille pendant l'année 1864,

« Les habitations qui semblaient les premières devoir appeler « l'attention de la commission étaient les caves. Elles se trouvent « en très-grand nombre dans des rues étroites, obscures, où s'en- « tasse une population nombreuse et malpropre, et où l'air ne peut « se renouveler facilement. Leur entrée, à fleur de sol, reçoit l'eau « des pluies, soit directement, soit par le débordement des ruis- « seaux : cette eau descend sur les marches, jusque sur le sol, et y « entretient une humidité constante.

« En hiver, en automne et pendant une bonne partie du prin- « temps, il y règne un froid humide, combattu par les habitants « au moyen de petits foyers alimentés par de la braise ou du coke; « et comme bon nombre de ces caves n'ont pas de cheminée, il s'y « dégage des gaz délétères, qui accroissent encore l'impureté de « l'air qu'on y respire.

« En été, l'humidité incessante de ces lieux et la concentration de « l'air, dont le renouvellement est impossible, en rend le séjour « tout aussi funeste. Presque toutes sont creusées à une profon- « deur qui dépasse souvent deux mètres. Les fenêtres, quand il « en existe (il en est qui n'ont pas d'autre communication exté- « rieure que l'ouverture d'entrée), sont d'étroites lucarnes, pla- « cées souvent à côté de l'entrée et toujours insuffisantes pour le « renouvellement de l'air ; elles ne laissent accès qu'à une très- « faible lumière, et, dans bon nombre, le soleil ne pénètre jamais.

« Les murailles et les voûtes, détériorées par le temps, fournis-
« sent aussi leur contingent d'humidité. Plusieurs, situées au voi-
« sinage des égouts ou des cours d'eau, présentent à leurs parois
« un suintement fétide.

« La malpropreté et l'incurie des habitants viennent concourir
« aussi pour leur part à accroître les conditions funestes de pareils
« séjours.

« C'est là que la Commission a rencontré parfois les misères les
« plus profondes et la malpropreté dans une mesure extrême : des
« ouvriers ne gagnant qu'un très-modique salaire, chargés d'enfants
« et devant se loger au plus bas prix possible.

« Plusieurs caves sont occupées par de petits marchands de lé-
« gumes et de fruits dont les débris, subissant un commencement
« de putréfaction, ajoutent encore leurs miasmes délétères à l'air
« déjà vicié par la concentration.

« Mais à côté de ces caves d'une insalubrité si flagrante, il en est
« d'autres dont les conditions sont un peu moins défavorables.
« Celles-ci sont situées dans des rues plus larges et mieux aérées;
« l'ouverture d'entrée est moins étroite, les marches sont moins
« rapides, de véritables fenêtres souvent vitrées les garantissent
« contre les eaux du ciel et permettent l'accès d'un peu de lumière,
« le soleil peut même parfois y hasarder un rayon ; dans quelques-
« unes se rencontre une cheminée. Mais là aussi l'atmosphère,
« altérée par la concentration, présente également des conditions
« incessamment nuisibles à la santé des habitants.

« Enfin il en est quelques-unes qui, par un privilége exceptionnel,
« sont pourvues, à l'extrémité opposée à l'ouverture d'entrée, de
« lucarnes ou même de fenêtres qui permettraient d'établir, au
« moyen de courants, un renouvellement fréquent de l'atmosphère
« souterraine. Pour celles-ci encore, les conditions de salubrité
« sont loin d'être satisfaisantes. La Commission en a rencontré
« quelques-unes qui présentent au fond de véritables fenêtres,
« s'ouvrant dans des cours parfaitement aérées, et elle n'a pas hé-
« sité à les maintenir, provisoirement du moins, comme habitations.

« Mais à côté de celles-ci, fort rares d'ailleurs, elle en a visité un
« grand nombre dont les ouvertures opposées à l'entrée communi-
« quent avec des cours étroites, souvent malpropres et infectées
« par des latrines en très-mauvais état. Ici l'air nouveau, loin de
« concourir à la salubrité de la demeure souterraine, devient, au
« contraire, une nouvelle cause d'infection, et, dans de pareilles
« conditions, les ouvertures, presque toujours d'ailleurs tenues
« fermées par les habitants, doivent être considérées comme inexis-

« tantes; et bien qu'il soit arrivé souvent que les propriétaires se
« soient prévalus de leur présence pour témoigner de la possibi-
« lité d'une aération suffisante, la Commission n'a pas cru devoir
« accepter comme fondés de pareils motifs, mais a dû n'envisager
« que les considérations de la santé, toujours gravement compro-
« mise dans de pareils lieux.

« Une dernière remarque à propos des caves habitées doit, ce
« semble, trouver ici sa place.

« La Commission a eu l'occasion de visiter, dans les communes
« annexées, un certain nombre de demeures d'ouvriers, et elle a vu
« avec un extrême regret, dans des cités de construction récente,
« des caves disposées dans le but évident d'être louées à titre d'ha-
« bitations.

« Bien que présentant des conditions moins fâcheuses que celles
« de l'ancien Lille, bien que creusées moins profondément dans le
« sol et pourvues de fenêtres relativement assez larges pour per-
« mettre, dans une certaine mesure, l'accès du jour et de la lumière
« solaire, elles partagent néanmoins tous les vices inhérents aux
« demeures souterraines : humidité habituelle des murailles, des
« voûtes et surtout du sol, impossibilité du renouvellement com-
« plet de l'air par l'absence d'ouvertures à des points opposés; elles
« présentent en outre une exiguïté telle que, fussent-elles dans
« d'autres conditions, ces pièces n'offrent pas un cubage suffisant
« pour y permettre la résidence continue d'une famille, et, par ce
« seul motif, elles devraient encore être interdites comme habi-
« tations.

« Tel est donc l'état des caves occupées, à Lille, à titre de de-
« meures. »

Un peu plus loin, la Commission ajoute qu'une nouvelle et puissante cause d'insalubrité, qui vient s'ajouter à toutes les autres, c'est l'encombrement. « Pour en citer, dit-elle, un exemple entre
« plusieurs, que la Commission a constaté il y a quelques jours,
« elle a vu, dans un cabaret, une cave de 90 mètres cubes et ren-
« fermant 11 lits occupés chaque nuit par 22 individus. Il y avait
« donc là, pour la respiration de chacun d'eux, pendant 8 ou 9 heu-
« res, 4 mètres cubes d'air. Il doit paraître superflu d'ajouter que
« la Commission, d'un avis unanime, a proposé l'interdiction im-
« médiate de cette cave à titre d'habitation. »

Note *h*.

Le projet de vidanges souterraines de Paris, se trouve exposé dans les extraits suivants du rapport de M. le Préfet de la Seine au Conseil municipal, en date du 16 juillet 1858.

« Depuis 1854, la recherche du meilleur système de vidange a « été poursuivie par l'administration, comme par la science et l'in- « dustrie, et de grands pas ont été faits vers une bonne solution. « L'une des combinaisons indiquées alors consistait dans la sup- « pression des fosses et la mise en communication directe, des « tuyaux de descente, avec des conduites spéciales posées dans les « égouts. Des pompes à vapeur, agissant par aspiration sur l'en- « semble de ces conduites, devaient refouler les matières débitées « par elles dans des réservoirs éloignés, pour qu'elles y fussent « traitées et offertes à l'agriculture.

« Deux objections s'élevaient :

« La première était la dépense, supposée très-considérable, des « conduites spéciales à poser ; mais les ingénieurs savent aujour- « d'hui pratiquer sous la banquette des égouts, dans l'épaisseur « même de la maçonnerie, des tubes en ciment d'un assez grand « diamètre, très-solides, imperméables, et dont les frais, ajoutés à « ceux qu'entraîne la construction de l'égout même, sont très-peu « élevés.

« La seconde objection était la quantité d'eau jetée dans les « fosses, quantité déjà très-grande qui le sera bien plus encore, « lorsque chaque maison et chaque étage seront approvisionnés « avec abondance par les nouvelles eaux de distribution. Les vi- « danges, disait-on, en seront trop étendues pour être transfor- « mées en engrais utile et productif. Or, les expériences faites au « nom d'une Compagnie que la ville a subventionnée, dans la ferme « de Vaujours, sur l'usage de l'engrais liquide, par M. l'ingénieur « en chef Mille, et par M. Moll, professeur au Conservatoire des « Arts et Métiers, ont constaté que, pour féconder le sol, cette « sorte d'engrais doit être très-largement étendu d'eau ; qu'em- « ployé sans cette précaution, il brûle en quelque sorte les récoltes ; « qu'un arrosage fréquent, abondant, à la lance, comme celui « qu'on emploie pour l'eau pure au bois de Boulogne, constitue le « procédé le plus efficace en même temps que le moins incommode.

« S'il en est ainsi, plus la propriété domestique mêlera d'eau aux « vidanges, plus la préparation de l'engrais sera économique et « rapide. Dans un rayon assez prolongé autour de Paris, les agri-

« culteurs comprendront bien vite le parti qu'ils peuvent tirer de « ce guano, beaucoup moins cher et tout aussi précieux que celui « qu'on va chercher à travers l'Océan, et le problème sera bien « près d'être résolu.

« Mais une sérieuse difficulté subsiste encore : on doute que « l'emploi des engrais liquides que débiteront quotidiennement les « tuyaux d'évacuation des fosses de Paris puisse avoir lieu avec une « certaine régularité ; on craint que les intermittences de l'arro- « sage des prés et des champs, forcément suspendu pendant les « froids et pendant les récoltes, ne rendent nécessaire la construc- « tion de bassins de réserve, bien autrement grands et tout aussi « désagréables pour le voisinage que ceux de Bondy. . . . . .

« En l'état des études, il importe de disposer les égouts pour l'un « ou l'autre système, et cela peut se faire presque sans dépense.

« Dans l'épaisseur de l'un des pieds droits ou sous l'une des ban- « quettes, des conduites en ciment seront partout établies. Les « fosses d'aisance des maisons riveraines communiqueront, d'une « part, avec ces conduites au moyen de tuyaux ; d'autre part, avec « la galerie d'égout, par l'embranchement exécuté conformément « au décret de 1852.

« Ainsi, les galeries d'égout seront appropriées à toutes les hy- « pothèses.

« Si le système de l'emploi direct par l'agriculture des matières « étendues d'eau est un jour adopté, les conduites spéciales seront « préparées et n'attendront plus que l'action des machines.

Note *i*.

Voici, entre plusieurs, un fait récent, caractéristique, dont nous empruntons le récit aux comptes rendus du Conseil d'hygiène du Nord. Il se rapporte aux évacuations de la distillerie de jus de betteraves de Cantimpré. « Dix petits puits ayant chacun $0^m,10$ de diamètre, « avaient été disséminés dans une pièce de terre attenant à l'u- « sine, pour recevoir, à leur sortie des bassins d'épuration, les ré- « sidus de la fabrication. Ces puits, descendus dans la craie et la « pierre calcaire à une profondeur uniforme de 22 mètres, attei- « gnaient une nappe d'eau souterraine qui paraissait suffisante « pour enlever, dans son cours, toutes les vinasses sortant de l'é- « tablissement. Mais le faible orifice des trous absorbants avait fait « craindre leur prompt engorgement, et pour éviter la stagna- « tion des vinasses à la surface du sol, MM. Dehollain et Cie,

« avaient consenti, d'après les avis du Conseil d'hygiène, à percer « un puits nouveau de grande ouverture, afin de parer aux dangers « de l'obstruction. Ce puits, ayant un mètre de diamètre, a été « creusé jusqu'à 20 mètres de profondeur ; il a été en outre pro- « longé par un nouveau forage sur $0^m,35$ de diamètre, jusqu'à une « nappe d'eau placée à près de 30 mètres en contre-bas du sol.

« Ces moyens d'évacuation ont parfaitement réussi, pour la cam- « pagne de 1857. Ils avaient convenablement fonctionné dès le « commencement de l'année 1858; mais depuis quelque temps, « des odeurs infectes se sont manifestées, des exhalaisons pestilen- « tielles se sont répandues dans la ville et les environs de la fa- « brique, et ont soulevé un grand nombre de récriminations et de « plaintes devant lesquelles le Conseil ne pouvait rester indif- « férent.

« Bien que tous les puits soient encore en activité, ils paraissent « actuellement se saturer très-promptement, et ils rejettent avec « une violence extrême et en très-peu de temps, les liquides qu'ils « ont été contraints d'absorber.

« Ainsi, après avoir reçu pendant un ou deux jours, d'une ma- « nière lente et régulière, une certaine quantité de vinasses, un « petit puits se met tout à coup en mouvement, l'eau bouillonne à « la surface de l'orifice, et bientôt on entend dans le sol des bruits « sourds qui annoncent une éruption de liquide. Aussitôt, en effet, « on voit s'élever une gerbe de vinasses qui monte jusqu'à dix ou « douze mètres de hauteur, et qui dure environ une demi-heure. « Les liquides ainsi projetés retombent en mousse très-épaisse sur « le terrain, et le gaz sulfhydrique qui se dégage en très-grande « abondance du puits, est emporté par le vent et vient se répandre « dans la ville.

« Des odeurs fétides atteignent les quartiers les plus reculés, pé- « nètrent dans les appartements dont elles rendent le séjour in- « supportable, vicient l'air, et soulèvent des plaintes dont la péti- « tion ci-jointe et la lettre de M. le Principal du collége ne sont « que l'expression affaiblie.

« Le Conseil d'hygiène a cru devoir se transporter sur les lieux « pour tâcher de trouver un remède à de si graves inconvénients. « Il lui a paru évident que le terrain dans lequel se perdent les vi- « nasses se trouve complétement saturé ; que les liquides ainsi en- « voyés dans le sous-sol, renfermant beaucoup de matières fermen- « tescibles, donnent naissance à une grande quantité de gaz, parmi « lesquels domine l'acide sulfhydrique, et qu'à un certain moment, « la pression de ces gaz devient tellement considérable, qu'elle pro-

« jette le liquide superposé, et engendre le phénomène dont nous « avons donné plus haut la description.

« Le Conseil a constaté cependant que MM. Dehollain et C^ie^ s'é- « taient rigoureusement soumis à toutes les prescriptions qui leur « ont été imposées. »

Note *k*.

Nous extrayons les passages suivants du rapport de M. Mille à M. le préfet de la Seine, sur les irrigations et les prairies à marcites du Milanais (1862).

« Il reste la question la plus importante. Les résultats obtenus « en Lombardie peuvent-ils se répéter en France? Les environs de « Paris peuvent-ils, comme la banlieue de Milan, avoir des mar- « cites, des prairies d'hiver à végétation constante? Oui, pourvu « qu'il y ait ici la même volonté, la même persévérance.

« Mais, dira-t-on, le soleil d'Italie nous manque et sans lui l'on « ne réussira pas. Il est curieux de remarquer que la seconde ap- « plication en grand des eaux d'égout ait eu lieu à Édimbourg ; elle « y a produit des prairies qu'on coupe quatre et cinq fois par an, « et où l'herbe, abondante et précoce, est payée cher par les nour- « risseurs. Notre climat de France vaut bien celui d'Écosse ; ainsi « nous pouvons poursuivre.

« A Paris, la Vettabia, c'est l'égout d'Asnières, qui roule 1^{m3} à la « seconde, et aura plus tard 2^{m3} à verser dans la rivière. Les li- « quides, déjà clarifiés par les opérations qui précèdent l'émission « en Seine, la récolte des fumiers flottants et le dragage des sables, « les liquides sont plus troubles que ceux de Milan ; il faudrait « ajouter deux ou trois volumes d'eau pure pour les ramener à la « limpidité du modèle. La limite agricole de la dilution n'est donc « pas atteinte, et la difficulté toute mécanique consiste encore à « soulever de grandes masses d'eau à bas prix.

« Qu'on jette les yeux sur la carte hydrographique du bassin de « la Seine, on remarquera qu'entre les confluents de la Marne et de « l'Oise, la rivière se promène, en longs serpents, dans une érosion « du calcaire grossier. L'ancien lit d'inondation, large d'environ « 10 kilomètres, a été rempli en cailloux et en gravier, alluvions « si maigres et si peu fertiles qu'elles ne portent guère qu'une vé- « gétation forestière. Le bois de Boulogne, le bois du Vésinet, la « forêt de Saint-Germain couvrent successivement ces langues « d'atterrissement. Si les champs de Gennevilliers font exception,

« c'est qu'à proximité des quartiers peuplés, ils ont été fertilisés « au moyen des boues et des fumiers de la ville.

« Au-dessus des grèves de la Seine, au nord, et sur le calcaire « grossier, s'étend la plaine de l'Ile-de-France. Elle a été, entre « Montmorency, Saint-Denis, Noisy-le-Sec, entièrement prise par « la culture maraîchère, qui fait ici de gros légumes pour la halle, « grâce aux engrais de Paris. Plus loin, sur les mêmes terrains, « on ne rencontre que des céréales. Au sud-est de Meaux, à Cor- « beil, commence la Brie, plateau argileux qui, comme la Flandre, « se livre à la culture industrielle; tandis qu'au sud-ouest, au delà « de Versailles, la Beauce continue le plateau de Trappes et montre « encore un grenier à céréales.

« Or, que faut-il à la Brie et à la Beauce, sinon de l'engrais fla- « mand, des liquides concentrés susceptibles d'enrichir les fumiers « de la ferme? Aux champs maraîchers de l'Ile-de-France, ce qui « convient au contraire, c'est un arrosage avec des eaux tièdes « d'égout permettant d'échauffer le sol de bonne heure ou de lutter « contre la sécheresse en été. Quant aux grèves de la Seine, elles « vont, si l'on y fait passer un courant d'eau trouble, se colmater « et devenir un vrai fond de marcites.

« Mais à première vue l'exécution paraît impossible. L'égout d'As- « nières débouche à la cote 25 mètres, les grèves sont 10 mètres « plus haut, à la cote 35 mètres; la plaine de Montmorency, Saint- « Denis et Noisy, ou le réservoir qui l'alimenterait, doit se prendre à « la cote 75 mètres, à 50 mètres au-dessus de la rivière; tandis que « la Brie, à la cote 100 mètres, et la Beauce, à la cote 175 mètres, « donnent à franchir des différences de niveau de 75 et 150 mètres; « comment vaincre ici les obstacles?

« A la rigueur on en viendrait à bout avec la machine à vapeur; « mais quand il s'agit de remuer 200.000 mètres cubes par jour, « on entre dans la création d'un matériel gigantesque et dans une « consommation de charbon presque illimitée. Heureusement une « solution meilleure est à portée.

« La Seine, malgré ses longues inflexions, garde une pente forte « de 1 mètre par myriamètre; il en résulte une vitesse qui gêne la « navigation à la remonte et qui rend les barrages indispensables. « Il y en aura prochainement trois entre la sortie de Paris et « Poissy : le premier à Suresnes, le second à Marly et Besons, le « troisième à Andresy. Réglés à 3 mètres et 2m,40 de chute, rete- « nant un fleuve de 75 mètres cubes à l'étiage sur les deux pre- « miers points et de 120 mètres cubes environ après le confluent, « de l'Oise, les barrages créent des forces motrices de 2.400 che- « vaux à Suresnes, comme à Marly et Besons, de 3.600 chevaux à « Andresy : 1 ou 2 mètres cubes d'eau par seconde ne peuvent « être difficiles à soulever par de pareilles puissances.

« En effet, les ingénieurs de Louis XIV, en construisant les ma- « chines de Marly, ont résolu le problème que nous rencontrons « devant nous aujourd'hui. Le vieil attirail de roues, de balanciers « et pompes dont la complication et le bruit ne répondaient qu'à « un effet utile insignifiant, a été remplacé par un système fort « simple et très-énergique. Six roues de 12 mètres de diamètre « mènent chacune quatre pompes horizontales qui puisent l'eau « en rivière et la refoulent d'un jet au sommet de la montagne. « Chaque roue prenant 200 chevaux de force travaillant sous une « charge manométrique de 180 mètres, chasse 2.500 mètres cubes « par jour à 150 mètres de hauteur!

« Donc, chaque roue peut envoyer au plateau de la Beauce, et à « plus forte raison en Brie, 2.000 mètres cubes par jour, c'est-à- « dire tout ce que Paris produit de liquides de vidanges, en les « supposant isolés et partout rassemblés. Si l'on considère les « eaux d'égout et qu'il suffise de les refouler, non à 150 mètres « de hauteur mais à 50 mètres pour les envoyer au réservoir « qui les dispersera dans l'Ile-de-France, il faut tripler le ré- « sultat et compter sur 6.000 mètres cubes en 24 heures. Si l'on « descend encore d'altitude et qu'on veuille répandre les eaux « sur les grèves de la Seine où il n'y a que 10 mètres à fran- « chir, au lieu de 50 mètres, le chiffre doit être quintuplé; « chaque roue puisera 30.000 mètres cubes à l'égout et les ver- « sera à la surface des alluvions de gravier pour les transfor- « mer bientôt en prairies et en herbages. Avec six roues ab- « sorbant 1200 chevaux, avec le système actuel de la machine « de Marly, on aurait raison des 200.000 mètres cubes que ver- « sera l'émissaire.

« Si donc le barrage que l'on doit construire à Suresnes était des- « cendu 7 kilomètres plus bas et porté à Asnières; si l'on dotait « ainsi l'embouchure en Seine d'une force motrice de 2.400 che- « vaux, on peut affirmer que la solution économique serait com- « plète. La puissance de la chute mènerait les appareils de dragage « et de filtrage des solides d'égout, et enverrait les liquides dans « la campagne, partout où la consommation agricole le deman- « derait.

« Cette consommation se fera-t-elle? L'éducation d'une popula- « tion de cultivateurs est lente, il faut en convenir : elle exige du « temps, des efforts d'instruction, des sacrifices d'exemple; mais

« ici, les éléments de succès existent. Le maraîcher de la banlieue « de Paris est un travailleur ardent et assidu, comme le Flamand « et le Lombard; depuis les chemins de fer, il se sent attaqué par « la concurrence de rivaux plus favorisés du ciel, les maraîchers « d'Angers, de Bordeaux, d'Avignon et de Perpignan; il saisira vite « des procédés d'arrosage qui lui donneront les moyens de faire des « primeurs ou de doubler ses récoltes. Quant aux prairies irri- « guées, il y aura pour les appeler les besoins d'une nourriture « verte réclamée par les vaches laitières ou par les bœufs qui ap- « provisionnent le marché de Paris.

« *Conclusions.* — Amener une force motrice de 1.400 chevaux à « la bouche de l'égout d'Asnières, ou conduire l'émissaire jusqu'à « l'une de ces puissances gigantesques créées par les barrages de « la navigation et à peine utilisées; construire dans la campagne « un système de réservoirs, de canaux, de rigoles de distribution « et de fossés d'assainissement; transformer, élever la production « maraîchère de la banlieue par l'emploi habilement pratiqué des « eaux riches et tièdes que l'on ne sait encore que perdre dans la « Seine; voilà un programme qui n'est ni simple ni facile, mais « qui est digne d'attirer l'attention des hommes soucieux de l'avenir.

« En définitive, l'œuvre des Visconti et des Sforza, de saint « Bernard et de Léonard de Vinci n'était pas plus aisée, et nous la « trouvons aujourd'hui tellement vivante, tellement imprimée à la « surface comme au fond du pays, qu'elle nous semble venir de la « nature même.

« N'ayons donc pas peur, lorsqu'un grand intérêt nous conseille « d'entreprendre ce qui est difficile; il n'y a que cela de durable. »

Note *l*.

Les inconvénients du chiffonnage frappent tous les esprits; aussi a-t-on songé, à diverses reprises, à le faire disparaître. En 1862, la commission administrative de la ville de Paris, prit à cet égard les conclusions suivantes:

« 1° Rapporter l'article 11 de l'ordonnance de police du 1er sep- « tembre 1853, qui autorise le dépôt sur la voie publique des or- « dures et résidus de ménage, et revenir à l'arrêté du préfet de « police, du 5 novembre 1846, qui, par l'article 10, défend de rien « déposer sur la voie publique, et enjoint l'apport direct des or- « dures ménagères des maisons aux voitures de nettoiement.

« 2° Permettre le dépôt des ordures ménagères versées dans des « récipients indiqués par l'administration municipale et placés à « l'entrée des portes, allées, passages et cours privées; ces réci- « pients seraient enlevés et replacés où ils auraient été pris, par « les ouvriers du service de l'enlèvement.

« 3° Autoriser, par tolérance et pendant cinq ans, dans la division « suburbaine, le dépôt des ordures ménagères sur la voie publique, « tel qu'il se pratique aujourd'hui.

« 4° Interdire le chiffonnage à toute personne non-autorisée par « la possession nominative de la médaille.

« 5° Obtenir de M. le préfet de police, qu'à l'avenir il ne soit plus « délivré de nouvelles médailles, et que les anciennes soient reti- « rées à mesure des extinctions.

« 6° L'apport des ordures ménagères aux tombereaux, et l'enlè- « vement à domicile suppriment le chiffonnage dans la rue, exercé « par 6.500 chiffonniers environ, et tous les inconvénients de ces « fouilles sur le pavé de notre ville disparaîtront; mais, en suppri- « mant le chiffonnage dans la rue, on ne supprimera pas l'in- « dustrie, car elle s'exercera aussi bien, si ce n'est mieux, dans les « dépôts.

« Cette industrie dont le mode est repoussant, doit être encou- « ragée à cause des produits utiles qu'elle donne à la fabrication du « papier, du carton, du noir animal; le revenu de cette industrie « peut être évalué sans crainte d'erreur à 1.500.000 fr. (*) et de « première main. La ville doit pour une partie profiter de ce re- « venu, par l'exonération des frais qu'occasionne le service de l'en- « lèvement.

« 9° Les dépôts destinés à recevoir les produits de l'enlèvement « qui s'élèvent à 1.070 mètres cubes, par jour, et par an, à 385.000 « mètres cubes, devront être au nombre de 4, établis à 2.000 mè- « tres des fortifications, entourés de murs, et disposés selon les « prescriptions de la préfecture de police, qui en aura la surveil- « lance comme établissement de première classe. »

Ces conclusions n'ont pas été mises en pratique; d'une part l'établissement d'un ou plusieurs dépôts centraux ne laisse pas de présenter des difficultés de divers genres, tant au point de vue de l'installation matérielle et de la salubrité, qu'au point de vue de

(*) Des évaluations récentes portent à 10.000 francs par jour, soit à plus de 3 millions et demi par an, la valeur brute des débris de tous genres récoltés par les chiffonniers tant dans l'ancien que dans le nouveau Paris. (Note de l'auteur.)

la surveillance du personnel spécial appelé à y exercer l'industrie, d'autre part, il ne faut pas se dissimuler que si une telle transformation respecte le chiffonnage, en principe, elle en modifie profondément les conditions et supprimerait de fait une grande partie des chiffonniers actuels. Or, les mœurs et les habitudes des chiffonniers sont telles, que leur enlever leur industrie actuelle c'est les mettre dans l'impossibilité de gagner leur vie. Des considérations d'humanité ont donc fait écarter toute mesure radicale et l'on a préféré laisser cette classe singulière de travailleurs disparaître naturellement au fur et à mesure des extinctions. Tels sont, si nous sommes bien informé, les motifs qui perpétuent dans Paris une pratique dont tout le monde reconnaît d'ailleurs les inconvénients.

Note *m*.

Il n'est peut-être pas sans intérêt de rappeler les grands traits de la canalisation souterraine de Paris.

Pour établir le réseau des égouts, le sol de la capitale a été divisé en cinq bassins, dont trois sur la rive droite et deux sur la rive gauche de la Seine.

Sur la rive droite, le premier de ces bassins embrasse Charonne, Belleville et Montmartre; le second, tout à fait central, comprend les quartiers Saint-Antoine, du Temple, Saint-Martin, Saint-Denis, du Palais-Royal et des Tuileries; et le troisième se compose des hauteurs de Chaillot, du Roule, de Monceaux et du faubourg Saint-Honoré. Sur la rive gauche, l'un des bassins embrasse la butte des Deux-Moulins et la vallée de la Bièvre, et l'autre les quartiers du Luxembourg, de Saint-Germain-des-Prés et du Gros-Caillou.

Six grandes galeries principales, coupant la ville à peu près à angles droits et ayant pour affluents quinze galeries secondaires sur lesquelles s'embranchent une foule d'autres galeries de moindre type, constituent les artères principales du réseau. Des six maîtresses galeries, trois sont sur la rive droite : la première, celle des quais, a 4.000 mètres de parcours; la seconde, qui descend le boulevard Sébastopol et rejoint la précédente à la place du Châtelet, a 1.850 mètres; enfin, la troisième va de la place de la Bastille à celle de la Concorde, en descendant la rue Saint-Antoine et celle de Rivoli.

Outre ces galeries de construction moderne, il y a encore sur la rive droite un collecteur qui n'est autre que l'ancien grand égout

de ceinture, formé par le ruisseau de Ménilmontant, lequel coula à ciel ouvert jusqu'à l'époque où le prévôt des marchands, Turgot, entreprit de le faire couvrir en 1740.

Cet égout part de la rue des Coutures-Saint-Gervais, suit la vieille rue du Temple et des Filles-du-Calvaire, franchit les boulevards, suit la rue des Fossés-du-Temple, traverse le boulevard du Prince-Eugène à son extrémité inférieure, poursuit son cours par les rues du Château-d'Eau, des Petites-Écuries, Richer, de Provence et de Saint-Nicolas-d'Antin, et se jette dans le collecteur général d'Asnières, sous le boulevard Malesherbes. Autrefois, il allait déboucher dans la Seine, au bas de Chaillot.

Des maîtresses galeries de la rive gauche, la première comprend la ligne des quais, depuis le pont d'Austerlitz, jusqu'à celui d'Iéna; son parcours est de 6.400 mètres.

La deuxième suit le boulevard Sébastopol, rive gauche, depuis la place de l'Observatoire jusqu'au pont Saint-Michel; et la troisième est ce vaste canal souterrain, destiné à recevoir la Bièvre.

Les égouts de la rive gauche vont, comme ceux de la rive droite, se jeter dans le collecteur d'Asnières sous la place de la Concorde. Ils passent la Seine au moyen d'un siphon en fer battu de 1 mètre de diamètre et de 200 mètres de long, qui est immergé dans ce fleuve, un peu en amont du pont de la Concorde, et à 2 mètres au-dessous des basses eaux. Ils seront desservis par le deuxième émissaire en construction, aussitôt que celui-ci sera terminé.

Note *n*.

Les noms des deux savants qui ont élaboré ce projet, M. le docteur Lemaire et M. Gratiolet, le regretté professeur du Muséum, méritent qu'on l'examine avec intérêt. Aussi, croyons-nous devoir reproduire les passages principaux de l'exposé qu'en a fait récemment M. Lemaire.

« En France, dans les cimetières des grandes villes, il existe trois « catégories de tombes : 1° celles des pauvres, où plusieurs rangées « de cadavres ont été pendant longtemps superposées (*) dans de « grandes fosses (dites communes); 2° les fosses temporaires, dont « la concession est faite pour cinq ans, et où chaque corps occupe,

(*) Par une disposition récente, dans les fosses communes, les bières sont seulement juxtaposées.

« dans la terre, 2 mètres de terrain sur 1 de large ; 3° enfin, les tom-
« beaux en maçonnerie. Dans les deux premières catégories les
« corps subissent la putréfaction assez promptement.

« Tous ceux qui ont visité les cimetières en été ont pu constater
« l'odeur putride qui se dégage fréquemment des fosses communes.
« Mais là n'est pas le seul danger. Les eaux pluviales, en filtrant à
« travers la terre, charrient ces matières putrides et empoisonnent
« le sol à de très-grandes distances. Les sources et les puits de-
« viennent fréquemment fétides. M. Chevreul a savamment établi
« ces faits et a fait connaître les métamorphoses qui en résultent.

« Les tombes en maçonnerie, malgré tout le soin apporté à leur
« construction, finissent par subir l'infiltration des eaux et don-
« nent lieu aux mêmes phénomènes, seulement ils se produisent
« avec beaucoup plus de lenteur que dans les deux premières caté-
« gories. Cette lenteur de la putréfaction fait que l'air des caveaux
« est souvent infect pendant très-longtemps. A tous ces inconvé-
« nients graves, que je viens de rapporter, il faut en ajouter encore
« un autre qui ne l'est pas moins. L'expérience a appris qu'après un
« temps variable, selon la nature du sol et le rapport de la masse
« de terre avec celles des cadavres inhumés, les cimetières de-
« viennent impropres à détruire les corps par la fermentation pu-
« tride. On est alors forcé de les abandonner.

« La question des cimetières de Paris préoccupe beaucoup l'au-
« torité. Plusieurs projets ont été examinés. Si je suis bien rensei-
« gné, il serait question de les placer à de grandes distances de
« Paris.....

« Des expériences que nous avons faites au Muséum de Paris, et
« d'autres que nous poursuivons avec M. Gratiolet, nous ont fait
« concevoir un projet d'inhumation et de crémation, qui remédie-
« rait à l'insalubrité des cimetières et qui ne blesserait en rien les
« sentiments de respect dû aux morts. Nous nous proposons de le
« soumettre à M. le préfet de la Seine, lorsque des expériences en
« cours d'exécution auront la consécration du temps.

« Voici d'après quels faits seraient basées les nouvelles mesures
« que nous proposons pour l'assainissement des cimetières. C'est
« sur la propriété désinfectante et antiputride du coaltar et de l'a-
« cide phénique. Des centaines d'expériences ont mis hors de doute
« ces propriétés. Mais, pour le cas particulier dont je m'occupe, il
« est bon de rappeler quelques-unes de ces expériences pour en
« faire juger la grande importance.

« Des animaux entiers en état de putréfaction avancée ont été
« injectés par les artères avec la teinture de coaltar. Leur désinfec-

« tion immédiate en a été la conséquence, et leurs cadavres aban-
« donnés à l'air libre se sont promptement desséchés; les moisis-
« sures qu'ils présentaient ont été détruites, et les plumes et les
« poils qui commençaient à tomber se sont raffermis. D'autres ex-
« périences furent faites avec l'eau phéniquée concentrée et don-
« nèrent à peu près les mêmes résultats; seulement, avec cette
« eau, la conservation n'est que temporaire. Aujourd'hui, plus de
« quatre ans se sont écoulés et les animaux qui ont été injectés
« avec la teinture de coaltar, malgré leur exposition à l'air, ne pré-
« sentent pas de signes d'altération putride, mais les dermestes les
« ont envahis. Tant que les cadavres ont contenu des principes vo-
« latils du goudron (acide phénique, benzine), les plumes et les
« poils ont été respectés. Il serait facile, par un moyen bien simple,
« de prévenir l'envahissement des téguments par les insectes.

« Ces expériences établissent que la putréfaction des cadavres
« peut être détruite, lorsqu'elle existe, et être empêchée de se
« reproduire, même à l'air libre, par une seule injection, par les
« artères, des substances que je viens de nommer.

« Nous proposons donc d'avoir recours à ce moyen pour empê-
« cher la putréfaction des cadavres. Cette injection antiputride
« permet de réunir dans un même terrain une quantité considérable
« de corps, puisque le danger de putréfaction n'est plus à craindre.
« Économie de terrain, salubrité des cimetières et du sol des com-
« munes, conservation des corps à la piété des familles, tels
« seraient les avantages que présenterait cet embaumement gé-
« néral.

« Dans tous les pays civilisés, la loi protége la vie de l'individu.
« La science permettrait de lui continuer cette protection après la
« mort, en empêchant la décomposition de son cadavre. Les pa-
« rents seraient heureux de savoir que les restes des êtres qu'ils
« ont aimés ne sont pas voués à la pourriture.

« Mais on pourra dire qu'en empêchant la décomposition des
« corps, si nous assainissons les cimetières, nous encombrons leur
« terrain. Cela est vrai, et je vais de suite donner le moyen d'y
« remédier.

« Nous avons vu qu'après cinq ans d'inhumation, la loi au-
« torise à reprendre le terrain pour y mettre de nouveaux corps.
« J'ai aussi dit que ce délai de cinq ans avait pour but de per-
« mettre à la fermentation putride de détruire complétement le
« cadavre.

« Eh bien, je le demande, ne serait-il pas plus noble de deman-
« der à la crémation, à l'expiration de ces cinq années, ce que l'on

« demande aujourd'hui à la pourriture ? La crémation faite dans « ces conditions n'a plus rien de répugnant. Je suis persuadé que « tout le monde l'accepterait, et une grande question d'hygiène « publique serait résolue. . . . . .

« Nous nous sommes assurés au Muséum, par des expériences « variées, que l'acide phénique et les phénates employés en injec- « tions ne conservent que temporairement les corps. Cela tient à la « volatilité très-grande de l'acide phénique. On sait que les phénates « perdent très-facilement leur acide à l'air libre. A cet inconvénient « grave vient s'ajouter l'action décomposante de la potasse ou de la « soude sur les tissus. Le coaltar n'a pas les mêmes inconvénients. « C'est à lui que nous donnons la préférence. M. le docteur Bonamy « conserve depuis sept ans un cadavre injecté avec le coaltar.

« Le maniement difficile de cette substance nous a fait rechercher « un moyen économique de la fluidifier sans nuire à ses propriétés.

« Nous faisons un mélange d'une partie de coaltar avec trois « parties d'huile lourde de houille et nous injectons ce liquide par « les artères. L'intérieur de la bière est enduit de coaltar. Indépen- « damment de leurs propriétés antiputrides, ces substances offrent « celle d'être très-combustibles. Elles faciliteraient donc l'incinéra- « tion des corps lorsqu'on voudrait reprendre les terrains.

« Des animaux préparés d'après notre méthode sont enterrés. « Nous attendrons le résultat de nos expériences avant de les pro- « poser définitivement.

« L'huile lourde de houille coûte 10 centimes le kilogramme, le « coaltar cinq centimes. Pour injecter le corps d'un adulte de « taille moyenne, il faut de cinq à six litres de liquide. En tenant « compte des enfants, la quantité moyenne de liquide à employer, « serait de 3 à 4 litres par individu, soit environ 40 centimes « d'huile lourde et de coaltar. En ajoutant 5 centimes pour le coal- « tar employé pour enduire l'intérieur de la bière, on arrive à une « dépense de 45 centimes par embaumement.

« Aujourd'hui, à Paris, les vérifications des décès se font, dans « chaque arrondissement, par quatre docteurs en médecine. Leur « nombre est si peu considérable en temps ordinaire, que ces « docteurs pourraient très-facilement être chargés de surveiller « cette opération, qui ne demanderait pas une demi-heure (*). Un

(*) Dans les amphithéâtres d'anatomie, ce sont des domestiques qui injectent les cadavres. Ils deviennent très-rapidement habiles dans cette opération.

« homme serait attaché à chaque mairie, pour faire ces injections. « Dans les villages et dans les villes, le bedeau, qui est ordinaire- « ment le fossoyeur, pourrait faire l'injection conservatrice.

« Les instruments consisteraient en un scalpel, pour mettre l'ar- « tère à découvert, une aiguille courbe, une canule en cuivre à « deux tubulures, un tube en plomb et une pompe à main. Le tout « coûterait environ 10 francs. »

RAPPORT

SUR LES INCONVÉNIENTS DES FREINS ORDINAIRES ET SUR L'EMPLOI RÉGULIER DE LA CONTRE-VAPEUR POUR MODÉRER LA VITESSE OU PRODUIRE L'ARRÊT DES TRAINS.

Par M. RICOUR, ingénieur des ponts et chaussées,
Ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer du Nord de l'Espagne.

Renseignements sur le profil du chemin de fer du Nord de l'Espagne. — Le profil du chemin de fer du Nord de l'Espagne présente des pentes qui dépassent 10 millimètres sur de grandes longueurs dans les traversées du Guadarrama et des Pyrénées : dans le Guadarrama la différence de niveau rachetée depuis le tunnel de la Cañada, est sur le versant sud de 340 mètres sur 31 kilomètres jusque près de Robledo, et sur le versant nord de 238 mètres sur 18 kilomètres jusque près d'Avila; dans les Pyrénées, il y a des pentes continues de près de 15 millimètres sur environ 40 kilomètres.

Emploi de freins à vis avec sabots en bois pour régler la vitesse. — A la descente de ces longues pentes, la vitesse est réglée à l'aide de freins à vis avec sabots en bois manœuvrés par des gardes-freins conformément aux signaux d'appel donnés par le mécanicien.

Dépenses du personnel des gardes-freins. — Il faut un garde-frein par groupe de cinq wagons : le personnel attaché spécialement à ce service est d'environ 126 hommes et donne lieu à une dépense de 635.000 réaux par an.

Usure rapide du matériel, bandages. — Le matériel de la

voie et le matériel roulant s'usent rapidement par l'emploi des freins : les bandages se couvrent de facettes planes qu'il faut enlever par de fréquents retournages. Ainsi les bandages de tenders ayant 0m,060 d'épaisseur doivent être retournés après des parcours de 8 à 12.000 kilomètres et renouvelés après des parcours de 50 à 60.000 kilomètres entre Madrid et Avila; c'est à peine le tiers de la durée normale.

Insuffisance des résultats obtenus au point de vue, 1° de la régularité de marche; 2° au point de vue de la sécurité. —Malgré cette dépense de personnel et l'usure du matériel, les résultats obtenus au point de vue de la régularité de la marche des trains ne sont pas satisfaisants : la surveillance des gardes-freins est difficile, leur exactitude à obéir aux signaux d'appel est fréquemment en défaut; les trains de marchandises, dont la composition s'élève jusqu'à 40 wagons chargés parcourent alors les pentes avec des vitesses qui deviennent dangereuses dans les courbes, à cause des efforts latéraux sur la voie, et qui sont désastreuses pour les lourdes machines à 8 roues, à cause du jeu, des dislocations et des chocs qui se produisent dans les pièces du mouvement.

Le danger augmente encore lorsque le train est emporté au delà d'une gare dans laquelle un croisement doit avoir lieu. La ligne n'ayant qu'une voie, une rencontre devient imminente : le train emporté au delà de la gare doit s'arrêter en pleine voie, une fois arrêté il ne peut rétrograder, parce que la machine est impuissante pour le refouler. De là, nécessité de couvrir le train et complication dans le service. Plusieurs trains de marchandises ont ainsi dépassé les gares de las Navas dans le Guadarrama et de Zumarraga dans les Pyrénées.

Emploi exceptionnel de la contre-vapeur. — Lorsque, malgré des appels répétés aux freins, le mécanicien ne parvient pas à maîtriser la vitesse, il serre à fond le frein du

tender, et si la résistance ainsi développée est encore insuffisante, il a recours au dernier moyen dont il dispose, il bat contre-vapeur; la manœuvre est très-simple, l'effet est très-énergique et le train peut généralement être arrêté.

Inconvénients qui en résultent. — Les inconvénients qui résultent du renversement de la marche sont les suivants:

1° *Élévation de pression dans la chaudière.* —D'un côté, l'air chaud et les gaz de la combustion qui remplissent la cheminée, aspirés par les cylindres et refoulés dans la chaudière font monter rapidement la pression, d'une manière d'autant plus dangereuse, que les soupapes de sûreté sont insuffisantes et que les limites des indications des manomètres sont dépassées;

2° *Élévation de température des cylindres et tiroirs.* — D'un autre côté, ces mêmes gaz emprisonnés dans les cylindres et soumis à des compressions brusques au moment de l'ouverture des lumières d'admission atteignent des températures très-élevées qu'ils communiquent aux cylindres et aux tiroirs; les frottements deviennent très-durs, les garnitures des tiges des tiroirs et des pistons sont promptement carbonisées et des grippements sont à craindre.

La répugnance avec laquelle les mécaniciens ont recours au renversement de la marche est donc parfaitement motivée; cependant la puissance dont on peut ainsi disposer est tellement grande qu'il serait important de l'utiliser d'une manière normale en écartant les dangers et les inconvénients que son emploi présente.

Dans une lettre du 18 juillet 1865, M. l'ingénieur en chef Lechatelier, en exprimant la conviction que l'on remédierait facilement aux inconvénients de la contre-vapeur dès qu'on voudrait bien étudier à fond cette question, traçait le programme des essais qu'il recommandait de faire.

Les résultats auxquels nous sommes parvenus sont ainsi dus d'abord à l'intervention de M. Lechatelier, qui a demandé que l'on procédât à des essais. Ils sont dus aussi pour une bonne partie au programme qu'il avait donné pour servir de base à ces essais, et aux indications qu'il a ajoutées à mesure de la marche des expériences. (Voir note A.)

Ce mémoire a pour objet d'exposer et d'apprécier dans ses conséquences la solution à laquelle les essais nous ont conduit.

Circulation inverse de la vapeur allant de la cheminée à la chaudière. — Si au lieu d'aspirer de l'air et des gaz chauds dans les cylindres, nous remplaçons cet air et ces gaz exclusivement par de la vapeur prise sur la chaudière par un tube spécial, le refoulement de cette même vapeur dans la chaudière ne produira pas l'élévation brusque de pression due à des gaz non liquéfiables ; si nous parvenons en outre à faire entraîner par cette vapeur une quantité convenable d'eau en suspension, la vaporisation de cette eau empêchera l'élévation brusque de température dans les cylindres au moment de l'ouverture des lumières d'admission ; l'échauffement des pièces frottantes et la destruction des garnitures se trouveront ainsi complétement évités, bien que le refoulement ait lieu sous la pleine pression de la chaudière.

Machine transformant le travail en chaleur. — La vapeur et l'eau prélevées sur la chaudière reviennent à leur point de départ en parcourant un circuit fermé, et nous verrons que par cette disposition la machine locomotive, qui dans la marche ordinaire utilise la chaleur pour donner au train qu'elle remorque la puissance vive qui correspond à la vitesse de marche, et pour vaincre, outre les autres résistances, la composante de la pesanteur sur les rampes, devient une sorte de machine inverse transformant en chaleur, d'une part, le travail de la pesanteur sur les pentes, et,

d'autre part, la puissance vive du train quand on veut l'arrêter complétement, soit dans les gares en service régulier, soit sur un point quelconque de la voie en cas de danger.

Tube d'inversion. — Nous désignerons sous le nom de *tube d'inversion*, le tube qui conduit la vapeur de la chaudière dans les conduits de l'échappement, et qui complète ainsi le circuit inverse permettant de transformer d'une manière pratique la locomotive en une sorte de générateur de chaleur.

Volumes de vapeur aspirés par les cylindres. — Examinons en détail les diverses phases d'aspiration et de compression qui se produisent dans les cylindres pendant un quart de tour de roue, et commençons par déterminer les volumes de vapeur absorbés par quart de tour de roue pour les différentes positions qu'on peut donner au levier de changement de marche. Nous supposons que l'écoulement de vapeur par le tube d'inversion est suffisant pour maintenir constamment un excès de vapeur dans les conduits de l'échappement.

Renseignements sur la distribution des machines à 6 roues couplées. — Nous prendrons pour exemple nos machines à 6 roues couplées.

La course des pistons est de $0^{m},600$, la section des cylindres est de $0^{m},150$.

Le volume de l'espace nuisible est d'environ 4 litres. La pression réglementaire est de 8 atmosphères.

La distribution est donnée par le tableau suivant :

NUMÉROS des crans du secteur.		PARCOURS DU PISTON EN MILLIMÈTRES. Admission.	Détente avant l'ouverture de la lumière de l'échappement	Avance à l'échappement.	Compression.
Marche avant.	12	461	96	33	42
	9	408	138	54	72
	6	303	204	93	114
	3	186	258	156	198
	0	74	268	258	300
Marche arrière.	3	162	291	147	216
	6	294	172	134	156
	9	387	93	120	135
	12	469	42	99	111

Premier cylindre : période de l'avance à l'échappement, écoulement dans la cheminée. — Considérons un piston à fond de course (*fig.* 1, Pl. V), et pour fixer les idées, supposons que le levier soit au neuvième cran de la marche en arrière : la roue motrice tourne en avant, le piston se déplace d'abord lentement, mais avec une vitesse croissante, jusqu'à ce que la roue ait fait un quart de tour ; d'un côté de ce piston, le cylindre est en communication avec la cheminée, et la vapeur qui le remplit s'écoule dans la tuyère d'échappement sous une pression peu différente d'un atmosphère, pendant un parcours du piston de 120 millim., espace égal à l'avance à l'échappement. A partir de ce point, (*fig.* 2, Pl. V), la vapeur est emprisonnée et soumise à une compression croissante.

Indiquons sur une épure, par la courbe AB, les volumes écoulés dans la cheminée pour chaque position du piston (*fig.* 2, Pl. VI *bis*). Dans cette épure les abscisses sont proportionnelles aux espaces décrits par la roue sur le rail, et les ordonnées sont proportionnelles aux volumes décrits par le piston.

Période dite de compression, détente de la vapeur de l'espace nuisible. — Sur l'autre face du piston, au moment du départ s'exerce une pression égale à celle de la chaudière

(8 atmosphères) ; pour un très-faible déplacement du piston la lumière d'admission est fermée, la vapeur contenue dans l'espace nuisible se détend alors derrière le piston qui s'éloigne. Lorsque celui-ci a parcouru une longueur égale à celle qui correspond à la période dite de *compression dans la manche directe*, soit 135 millimètres, la lumière d'échappement est sur le point de s'ouvrir et le volume de la vapeur qui remplissait l'espace nuisible est de 24^{l},25 (*fig.* 3, Pl. V).

En admettant que cette vapeur en se détendant enlève aux parois du cylindre assez de chaleur pour rester saturée, elle conservera une pression supérieure à la pression atmosphérique jusqu'à ce qu'elle occupe un volume de 26^{l},6 ; par suite, à l'ouverture de la lumière d'échappement, un volume de 26,6*a* — 24, 25 = 2^{l},36 tendra à s'écouler dans la cheminée.

Aspiration ou appel de vapeur. — En continuant sa course, le piston produira une aspiration (*fig.* 4, Pl. V), la ligne CD de l'épure correspond aux volumes aspirés (*fig.* 2, Pl. VI *bis*).

Deuxième cylindre, refoulement dans la chaudière et — Il nous reste à examiner ce qui se passe sur les deux faces de l'autre piston qui s'avance du milieu au fond du cylindre (*fig.* 5, Pl. V).

Aspiration ou appel de vapeur. — Sur l'une des faces, la vapeur emprisonnée est refoulée dans la chaudière ; sur l'autre face il y a aspiration pendant le reste de la course ; la ligne EF de l'épure représente les volumes aspirés (*fig.* 2, Pl. VI *bis*).

Explication de l'épure donnant les volumes aspirés. — En résumé, sur notre épure une première courbe AB donne les volumes de vapeur qui s'écoulent de l'un des cylindres dans la cheminée ; deux autres courbes CD, EF, donnent les volumes aspirés.

En retranchant les ordonnées de la ligne AB des ordonnées correspondantes de la ligne EF, on obtient une nouvelle courbe GH qui donne les volumes de vapeur réellement prélevés par les cylindres sur les conduits de l'échappe-

ment pendant la période qui correspond à l'avance à l'échappement ; à partir de cet instant jusqu'à la limite de la période dite de compression (qui correspond dans le cas actuel à la détente de la vapeur de l'espace nuisible) (*fig.* 3, Pl. V) les volumes aspirés sont donnés par la branche de courbe HI parallèle à la courbe EF. A la limite de cette période, dite de compression, nous avons vu que si l'équilibre de pression pouvait s'établir d'une manière instantanée, il s'écoulerait dans la cheminée un volume de $2^{l},36$ répondant à une longueur de 16 millimètres de la course du piston. Il faudrait sur l'épure diminuer l'ordonnée correspondante au point I, d'une longueur IJ = 16 millimètres, et la différence JC donnerait le volume prélevé sur la cheminée depuis l'origine. Le piston continuant sa course, il faudrait ajouter les aspirations simultanées marquées par les courbes CD, EF et l'on aurait la branche JKL.

Mais l'écoulement instantané des $2^{l},36$ n'est pas possible : cet excédant sera employé presque entièrement à remplir le vide que tend à produire le piston dans sa marche ; si on pouvait négliger ce qui s'échappe par la lumière, les volumes prélevés sur la cheminée seraient représentés par la branche IKL (IK étant parallèle à EF). Comme il y a en réalité écoulement, nous supposerons que cet écoulement soit égal à l'absorption qui se produit dans l'autre cylindre et nous aurons finalement la branche II'KL, la ligne II' étant horizontale.

Ainsi les volumes prélevés par les cylindres sur la vapeur écoulée de la chaudière dans la cheminée, pendant un quart de tour de roue, sont représentés à chaque instant par les ordonnées de la courbe MGHII'KL.

Si l'aspiration avait lieu d'une manière uniforme, les volumes aspirés seraient représentés par les ordonnées de la ligne droite ML.

Écarts maxima entre les volumes aspirés par les cylindres et les volumes écoulés par le tube d'inversion. — Réglons pour

une vitesse déterminée de la machine l'écoulement de la vapeur de la chaudière, de telle sorte que cette vapeur, en se détendant sous la pression atmosphérique dans les conduits de l'échappement, occupe par quart de tour de roue un volume égal au volume aspiré par les cylindres dans le même intervalle de temps ; l'écoulement ayant lieu d'une manière uniforme sera représenté par la ligne droite ML ; les écarts les plus considérables avec les volumes aspirés auront lieu vers les points I' et N ; les volumes écoulés seront plus forts en I' et plus faibles en N que les volumes aspirés ; la somme des deux écarts correspondra à 95 millimètres de la course du piston ou à $14^{lit},25$. Les conduits et la tuyère de l'échappement forment un réservoir d'une contenance de 45 litres, triple environ des écarts totaux qui se produisent entre l'écoulement uniforme et l'absorption variable.

Oscillations de la colonne de vapeur dans la tuyère de l'échappement. — La tuyère de l'échappement forme une sorte de colonne creuse de $0^{m2},017$ de section sur $1^{m},29$ de hauteur. Il en résulte qu'une fois cette tuyère remplie de vapeur, et l'écoulement rendu égal à l'absorption moyenne, la colonne de vapeur dans la tuyère éprouvera par quart de tour de roue une oscillation de $0^{m},838$ de hauteur correspondant à un volume de $14^{lit},25$ (*fig.* 6, Pl. V).

Le tableau ci-après réunit les données des épures faites pour les 3e, 9e et 12e crans de la marche arrière.

Numéros des crans.	VOLUMES aspirés par quart de tour de roue exprimés en longueur de cylindre.	VOLUMES aspirés par quart de tour de roue exprimés en litres.	DIFFÉRENCES entre les volumes aspirés et les volumes écoulés en longueur de cylindre — en moins.	DIFFÉRENCES entre les volumes aspirés et les volumes écoulés en longueur de cylindre — en plus.	DIFFÉRENCES entre les volumes aspirés et les volumes écoulés en longueur de cylindre — Total.	Différences ci-contre exprimées en litres.	HAUTEUR des oscillations dans la tuyère d'échappement
	mil.	lit.				lit.	mèt.
3	302	45,30	105	16	121	18,15	1.067
6	315	47,25	82	13	95	14,25	838
9	329	49,35	84	11	95	14,25	838
12	350	52,50	86	8	94	14,10	830

On est conduit en résumé à cette conséquence remarquable, que, en injectant dans la tuyère la vapeur de la chaudière en volume convenable, cette vapeur est reprise en totalité par les cylindres et refoulée de nouveau dans la chaudière, malgré la communication libre de la tuyère avec l'air extérieur ; l'air forme une sorte de piston qui s'élève ou s'abaisse dans la tuyère de l'échappement, selon que la vapeur est absorbée en plus ou moins grande abondance ; en descendant, l'air restitue à cette vapeur le travail qu'il lui emprunte en montant.

Travail et température de la vapeur dans le parcours du circuit inverse. — Nous venons de calculer les volumes de vapeur que les cylindres aspirent pour chaque cran du secteur, lorsque la marche des tiroirs est renversée ; cherchons à rendre compte des diverses circonstances qui se présentent au point de vue du travail et de la température, depuis la sortie de la vapeur par le robinet d'inversion jusqu'à son retour dans la chaudière.

Nombre de calories formant la chaleur propre d'un kilogramme de vapeur. — D'après la formule de M. Regnault, le nombre de calories contenues dans un kilog. de vapeur à 172 degrés sous la pression de 8 atmosphères, est de 658,96.

Toutefois, il résulte des expériences mêmes de M. Regnault, que dans la mesure de la chaleur dépensée se trouve celle qui correspond au travail nécessaire pour porter le volume de 1 à 254 litres sous une pression de 8 atmosphères ; ce travail est de

$$(0^{m3},254 - 0,001) \times 8 \times 10.330 = 20\,908 \text{ kilogrammètres.}$$

Et comme une calorie est l'équivalent de 430 kilogrammètres, on voit que la chaleur employée à produire ce travail est de

$$\frac{20.908}{430} = 48^{c},62.$$

Le nombre de calories formant la chaleur propre de 1 kilogramme de vapeur à 172 degrés n'est donc que de

$$658,96 - 48.62 = 610^{c}.34.$$

Chaleur enlevée à la chaudière par l'écoulement de 1 kilogramme de vapeur. — Le robinet d'inversion étant ouvert, la vapeur est poussée hors de la chaudière sous une pression de 8 atmosphères ; elle emporte par conséquent les 610,54 calories qui forment sa chaleur propre ; en outre, la vapeur qui reste dans la chaudière dépense un travail égal au produit du volume écoulé multiplié par la pression, soit :

$$0^{m3},254 \times 8 \times 10,330 = 20.990 \text{ kilogrammètres,}$$

qui correspondent à 48,81 calories. La chaleur enlevée à la chaudière est ainsi de

$$610,34 + 48,81 = 659,15.$$

Ces résultats s'appliquent à la vapeur sèche, mais la vapeur telle qu'elle sort de la chaudière renferme au moins 10 p. 100 de son poids d'eau en suspension, sans que la présence de cette eau augmente sensiblement le volume de la vapeur.

1 kilog. de vapeur entraîne ainsi avec lui $0^{k},100$ d'eau à 172 degrés renfermant 17,41 calories, de sorte que le poids total de vapeur et d'eau sorti de la chaudière est de $1^{k},100$ et la chaleur enlevée est de

$$659,151 + 17,41 = 676^{c},56.$$

Travail de la détente de 1 kil. de vapeur écoulée par le tube d'inversion. — Le mélange de vapeur et d'eau, qui renferme l'équivalent de 676,56 calories sous forme de chaleur ou de puissance vive, se détend dans le tube d'inversion et dans les conduits de l'échappement, de manière à faire équilibre finalement à la pression atmosphérique ;

admettant qu'après cette détente la vapeur reste saturée à 100 degrés, c'est-à-dire qu'elle occupe un volume de 1.690 litres par kilog., le travail fait par la vapeur pour occuper ce volume est de

$$1.690 \times 10.330 = 17.458 \text{ kilogrammètres.}$$

ou 40,60 calories. Cherchons quel est le poids d'eau e qui reste encore en suspension dans la vapeur; cette eau ne contient que 100 calories par kilogramme; la vapeur dont le poids est $(1^k,1 - e)$ possède 596,42 calories par kilogramme, après avoir déduit la chaleur absorbée par le travail extérieur d'expansion sous la pression atmosphérique : e se détermine par l'équation ci-après :

$$100e + 596,42\,(1,100 - e) + 40,60(1,100 - e) = 676,56,$$

d'où

$$e = 0^k,045, \qquad 1,100 - e = 1^k,055.$$

On trouve que dans le nouveau mélange il y a $1^k,055$ de vapeur et $0^k,045$ d'eau, c'est-à-dire que 1 kilog. de vapeur ne contient que $0^k,0427$ d'eau, soit 4,27 d'eau pour 100 de vapeur.

Tel est l'état de la vapeur sortie de la chaudière, après la détente dans les conduits de l'échappement.

Vapeur de l'espace nuisible. — Elle vient se mélanger avec la vapeur qui remplissait l'espace nuisible (*fig.* 3, Pl. V); nous admettons que cette dernière vapeur emprunte aux parois du cylindre la chaleur nécessaire pour rester constamment saturée; elle occupe un volume de 4 litres sous la pression de la chaudière, et de $26^l,61$ après la détente sous la pression atmosphérique. Le poids de cette vapeur est de $0^k,01575$; la chaleur propre qu'elle possède est de

$$610,34 \times 0,01575 = 9^c,61$$

sous la pression de 8 atmosphères, et de

$$596,42 \times 0,01575 = 9^c,39$$

sous la pression atmosphérique.

Travail de la détente de la vapeur de l'espace nuisible. — La chaleur empruntée aux parois du cylindre est variable selon le cran où se trouve le levier de changement de marche. Il y a deux périodes à distinguer dans la détente : 1° aussi longtemps que la lumière d'échappement reste fermée la pression est variable; on peut évaluer le travail produit par la vapeur en appliquant la formule ordinaire; 2° dès que la lumière est ouverte, si le volume est inférieur $26^l,61$, la détente a lieu sous la pression atmosphérique; si le volume est supérieur à $26^l,61$, la vapeur est ramenée à ce volume en repassant par les mêmes états et la dépense finale de travail est la même que si la détente à pression variable s'était arrêtée au moment où la vapeur occupait le volume de 26,61.

Le tableau ci-après donne pour chaque cran le travail dépensé par la vapeur de l'espace nuisible, les calories correspondantes et les calories empruntées aux parois des cylindres pour que la vapeur contienne finalement $9^c,39$ qui sont nécessaires pour qu'elle soit saturée à 100 degrés.

NUMÉROS des crans.	TRAVAIL DÉPENSÉ en kilogrammètres.	TRAVAIL DÉPENSÉ en calories.	CALORIES empruntées aux parois des cylindres.
3	580	1,35	1,13
6	580	1,35	1,13
9	576	1,34	1,12
12	566	1,32	1,10

Tel est l'état de la vapeur de l'espace nuisible, lorsqu'elle se mélange avec celle écoulée par le tube d'inversion (*fig.* 3, Pl. V).

État de la vapeur emprisonnée dans le cylindre au moment où le travail de la compression commence. — Nous pouvons maintenant déterminer d'une manière précise l'état dans lequel se trouve la vapeur emprisonnée dans un cylindre, au moment où le piston ayant parcouru en sens inverse l'espace, qui dans la marche ordinaire répond à l'avance à l'échappement, la lumière d'échappement se ferme (*fig.* 2, Pl. V).

La vapeur emprisonnée se compose du mélange de celle qui a été aspirée, et dont nous avons calculé le volume avec les 26,61 litres de la vapeur détendue de l'espace nuisible. Le poids d'eau en suspension est de 4,27 p. 100 du poids de la vapeur aspirée.

Le tableau ci-après donne pour chaque cran le poids de la vapeur aspirée, et celui de l'eau qu'elle tient en suspension; la somme n'est autre que le poids du mélange sorti de la chaudière, mélange qui se décompose lui-même en *dix* parties de vapeur contre *une* d'eau.

En ajoutant au poids de la vapeur aspirée celui de la vapeur de l'espace nuisible, on obtient le poids total de la vapeur emprisonnée, dont la chaleur propre est de 596,42 calories par kilogramme.

En tenant compte de la chaleur propre de l'eau en suspension, on obtient dans la dernière colonne la chaleur totale contenue dans le mélange emprisonné.

Numéros des crans.	VAPEUR ASPIRÉE		POIDS d'eau en suspension.	POIDS total du mélange fourni par la chaudière	POIDS de la vapeur emprisonnée non compris l'eau.	CHALEUR propre de la vapeur emprisonnée	CHALEUR de l'eau en suspension	CHALEUR totale du mélange emprisonné.
	Volume.	Poids en grammes.						
	lit.	gram.	gram.	gram.	gram.	cal.	cal.	cal.
3	45,50	26,80	1,14	27,94	42,55	25,378	0,114	25,492
6	47,25	27,96	1,19	29,15	43,71	26,070	0,119	26,189
9	49,35	19,20	1,25	30,45	44,95	26,709	0,125	26,834
12	52,50	31,06	1,33	32,39	46,81	27,918	0,133	28,051

Travail de compression jusqu'au moment de l'ouverture de la lumière d'admission. — Le mélange de vapeur et d'eau est soumis à une compression régulièrement croissante jusqu'au moment où la lumière d'admission va s'ouvrir (*fig.* 3 et 4, Pl. V). Nous admettrons que la vapeur reste constamment saturée, et que l'excès de la chaleur développée par la compression vaporise une partie de l'eau en suspension, quand cette eau est suffisamment abondante, et se transmet aux parois du cylindre, quand la vapeur est sèche.

Le tableau ci-après réunit tous les résultats qui se rapportent à cette période pour chaque cran.

Numéros des crans.	Volume avant la compression.	Volume après la compression.	Poids initial de vapeur.	Poids d'eau vaporisée.	Poids final de vapeur.	Température finale	Pression finale.	Travail de compression en calories.	Chaleur des mélanges après la compression	Poids d'eau restant en suspension.	Chaleur cédée aux parois des cylindres.
	lit	lit.	gram.	gram.	gram.	degrés.	atm.	cal.	cal.	gram.	cal.
3	71,91	28,26	42,55	1,14	43,69	133,5	2,87	2,01	27,50	néant	1,07
6	73,86	48,06	43,71	1,19	44,90	115	1,62	0,82	27,01	néant	0,07
9	75,96	62,01	44,95	0,55	45,50	107	1,26	0,38	27,21	0,70	néant
12	79,11	72,81	46,81	0,30	47,11	103	1,11	0,16	28,21	1,04	néant

On voit en résumé que jusqu'au sixième cran il reste un petit excès de chaleur après que toute l'eau est vaporisée, et qu'à partir du sixième cran jusqu'au douzième, il reste au contraire une petite quantité d'eau en suspension.

Ouverture de la lumière d'admission : compression brusque; volume et température de la vapeur emprisonnée. — Nous arrivons maintenant dans des conditions bien déterminées, à la période la plus intéressante : la lumière d'admission va s'ouvrir, et la vapeur de la chaudière à 8 atmosphères va se précipiter dans le cylindre, en comprimant brusquement la vapeur qu'il contient déjà, et dont la pression dans un intervalle très-court s'élèvera à 8 atmosphères (*fig.* 4, Pl. V).

Considérons isolément cette dernière vapeur et cherchons

le volume et la température : comme par l'effet de la compression subite la vapeur se trouve surchauffée, nous admettons qu'elle suit les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

Soient p, V et t la pression, le volume et la température avant la compression brusque,

p', V' et t' les valeurs acquises après la compression, π le poids,

c la chaleur spécifique à volume constant de la vapeur d'eau,

Nous aurons pour l'expression du travail de compression

$$\frac{V - V'}{1000} \times \frac{8 + p}{2} \times 10.330 :$$

ce travail exprimé en calories devient

$$\frac{V - V'}{1000} \times \frac{8 + p}{2} \times \frac{10.330}{430} :$$

l'élévation de température due à cette chaleur sera donnée par l'équation

$$(1) \qquad \pi c(t' - t) = \frac{V - V'}{1000} \times \frac{8 + p}{2} \times \frac{10.330}{430}.$$

Les lois de Mariotte et de Gay-Lussac donnent d'autre part

$$(2) \qquad V' \times 8 = \frac{V \times p}{1 + \alpha t}(1 + \alpha t').$$

Ces deux équations permettent de calculer V' et t'. La valeur de c déduite de la chaleur spécifique de la vapeur d'eau à pression constante est égale à 0.336.

Nous admettons pour le coefficient de dilatation α la même valeur que pour l'air, soit : $\alpha = 0.003.666$.

Le tableau ci-après résume les calculs faits pour les différents crans de la détente.

Numéros des crans.	AVANT L'ADMISSION. Volume de vapeur V.	Poids de cette vapeur 1000 π.	Température t.	Pression p.	APRÈS LA COMPRESSION BRUSQUE. Volume de vapeur V'.	Travail de compression. en kilogrammètres.	en calories.	Température t'.
	lit.	gram.	degrés.	atm.	lit.		cal.	degrés.
3	28,26	43,69	133,5	2,87	13,23	850	1,98	257
6	48,06	44,90	115	1,62	15,46	1595	3,71	341
9	61,01	45,50	107	1,26	17,43	2127	4,94	405 (1)
12	71,81	47,11	103	1,11	19,25	2506	5,84	441 (2)

(1) Nous avons négligé la petite quantité d'eau soit 0ᵏ.70 en suspension dans la vapeur : cette eau passe réellement à l'état de vapeur en absorbant environ 0°,34 ; la chaleur résultant du travail de compression se partage ainsi en deux parties, la première 0°.34 qui vaporise l'eau en suspension, et la deuxième 4,94 — 0,34 = 4°.60 qui produit l'élévation de température. En faisant la rectification correspondante, on trouve pour la température t' 379 degrés au lieu de 405 degrés.

(2) En tenant compte, comme nous l'avons fait dans la note ci-dessus (1), du poids d'eau (1ᵏ,04) en suspension dans la vapeur, on trouve pour la température finale t' 406 degrés au lieu de 441 degrés.

Ce tableau et les deux formules qui ont servi à le calculer font voir que la chaleur développée par la compression croît avec le n° du cran et qu'elle est suffisante pour élever la température au delà du degré d'ébullition de l'huile et produire tous les inconvénients de chauffage ou de grippement que nous avons signalés dès l'origine. A partir de 300° les tiges des tiroirs et des pistons prennent une nuance bleue. Cette élévation de température serait plus considérable encore si les cylindres avaient aspiré de l'air au lieu de vapeur, car la chaleur spécifique de la vapeur à volume constant (0,366), est plus que double de celle de l'air (0,168), le rapport des densités étant de 0,622.

Pour les premières cylindrées, la chaleur développée par la compression sera en grande partie absorbée par les parois, mais celles-ci prenant une température d'autant plus rapidement croissante que leur chaleur spécifique est plus faible (0,10 à 0,11) enlèveront à la vapeur comprimée des quantités de chaleur progressivement décroissantes :

cette vapeur passera donc dans les boîtes des tiroirs, puis dans les conduits d'amenée et enfin dans la chaudière à des températures successivement croissantes, jusqu'à ce que les garnitures soient brûlées, ou que par suite de grippements dans les cylindres ou les tiroirs, la machine soit mise hors d'état de fonctionner.

Injection d'eau pour empêcher la vapeur de se surchauffer. — Un moyen simple se présente pour empêcher la vapeur comprimée de se surchauffer; il suffit de la rendre très-humide, l'excès de chaleur passe à l'état de chaleur latente en vaporisant l'eau en suspension.

Calcul du poids d'eau nécessaire. — Calculons quel doit être le poids de cette eau.

Un kilog. d'eau à 172° pour passer à l'état de vapeur saturée sous la pression de 8 atmosphères doit enlever aux corps avec lesquels l'eau est en contact 658,96 — 174,1 = 484,86 calories : le poids d'eau qui correspond à une seule calorie est de $2^{gr},06$.

En conservant les mêmes annotations que précédemment, le travail de la compression dans le cas où la vapeur reste constamment saturée sera en kilogrammètres

$$\frac{(V - 254(\pi + y)}{1000} \times \frac{p + 8}{2} \times 10.330,$$

ou bien en calories

$$\frac{V - 254(\pi + y)}{1000} \times \frac{p + 8}{2} \times \frac{10.330}{430}.$$

Cette chaleur est employée à vaporiser le poids d'eau y et à élever la température du poids initial π de vapeur à 172° : si on désigne par E la chaleur propre de cette vapeur par kilog, à l'origine, l'augmentation de chaleur du poids π sera

$\pi(610,34 - E)$ et la valeur cherchée y se déduira de l'équation

$$\frac{V - 254(\pi + y)}{1000} \times \frac{p + 8}{2} \times \frac{10330}{430} = 484,86y + \pi(610,34 - E).$$

Le tableau ci-après donne les résultats du calcul.

NUMÉROS des crans.	POIDS de vapeur avant l'admission 1000 π.	PRESSION avant l'admission p.	TEMPÉRATURE t	POIDS de l'eau qui doit être vaporisée 1000 y.
	gram.	atm.	degrés.	gram.
3	43,69	2,87	135,5	3,89
6	44,90	1,62	115	7,52
9	45,50	1,26	107	9,74
12	47,11	1,11	103	10,92

D'après les calculs antérieurs la vapeur emprisonnée contient encore au moment où la lumière d'admission est sur le point de s'ouvrir $0^{gr},70$ pour le neuvième cran et $1^{gr},04$ pour le douzième cran : comme il faut respectivement $9^{gr},74$ et $10^{gr},92$ on voit que l'eau disponible n'est pas 1/10 de l'eau nécessaire : les quantités complémentaires sont :

Pour le 9e cran, $9,74 - 0,70 = 9^{gr},03$
Pour le 12e cran, $10,92 - 1,04 = 9^{gr},88$.

Pour charger la vapeur des quantités d'eau que nous venons de calculer, nous sommes conduits à injecter dans le tube d'inversion un petit filet d'eau prélevé directement sur la chaudière par un tuyau spécial. Nous indiquons ci-après les poids de vapeur et d'eau prélevés sur la chaudière et la proportion pour 100 d'eau que contient la vapeur après l'injection d'eau dans le tube d'inversion.

Numéros des crans.	POIDS DU MÉLANGE de vapeur et d'eau avant l'injection.			POIDS de l'eau injectée	POIDS total de l'eau	PROPORTION d'eau p. 100 de vapeur.
	Vapeur.	Eau.	Total.			
	gram.	gram.	gram.	gram.	gram.	
3	25,40	2,54	27,94	3,89	6,43	25,3
6	26,50	2,65	29,15	7,52	10,17	38,4
9	27,68	2,77	30,45	9,04	11,81	42,6
12	29,45	2,91	32,39	9,88	12,82	43,5

Il convient dans la pratique d'augmenter les poids d'eau et de les porter au double des poids théoriques inscrits dans l'avant-dernière colonne du tableau ci-dessus.

Il est à remarquer que, dans l'emploi habituel de la vapeur, celle-ci tend constamment à se charger d'eau parce qu'elle dépense du travail, c'est ce qui motive les dispositions prises pour la faire sortir sèche ou même surchauffée de la chaudière : quand la marche des tiroirs est renversée, c'est l'inverse; la vapeur tend à se surchauffer parce qu'elle absorbe du travail, c'est pourquoi il est nécessaire de la charger d'eau.

La compression brusque dont nous venons de calculer les effets se produit au premier instant de l'admission : le cylindre et la chaudière se trouvent dans les conditions de deux vases communiquants entre lesquels une communication est subitement établie : il n'y a que transvasement en quelque sorte de chaleur et de travail : il n'y a ni augmentation ni diminution d'une manière absolue.

Travail correspondant à la période de refoulement. — Le piston refoule, aussitôt après l'ouverture de la lumière d'admission, la vapeur qui se trouve derrière lui : ce travail de refoulement se répartit sur la masse totale de la vapeur de la chaudière sans produire une élévation nuisible de température.

Les nombres de kilogrammètres et de calories auxquels ce travail répond sont indiqués ci-après :

NUMÉROS des crans.	TRAVAIL DE REFOULEMENT.	
	Kilogrammètres.	calories.
	kilogrammèt.	
3	2.008	4,67
6	3.644	8,47
9	4 796	11,15
12	5.690	13,23

Gain de chaleur de la chaudière par kilomètre de parcours. — La vapeur et l'eau prélevées sur la chaudière se trouvent maintenant ramenées au point de départ. Si pour un circuit complet nous faisons la somme des gains de chaleur et si nous en déduisons la somme des pertes, la différence nous donnera le gain de chaleur fait par la chaudière durant un quart de tour de roue. En multipliant par 980 le gain de chaleur par quart de tour de roue, nous obtenons le gain par kilomètre de parcours.

Numéros des crans.	GAINS DE CHALEUR.			PERTES DE CHALEUR.			DIFFÉRENCE entre les gains et les pertes	GAIN de chaleur de la chaudière par kilomètre
	Compression entre l'avance à l'échap. et l'admission.	Refoulement dans la chaudière.	Total.	Détente dans la cheminée de la vapeur sortie de la chaudière.	Détente de la vapeur de l'espace nuisible.	Total.		
					cal.	cal.	cal.	cal.
3	2,01 (1)	4,67	6,68	1,09	1,35 (2)	2,44	4,24	4.155
6	0,82 (3)	8,47	9,29	1,13	1,35 (4)	2,48	6,81	6.674
9	0,38	11,15	11,53	1,19	1,34 (5)	2,53	9,00	8.820
12	0,16	13,23	13,39	1,26	1,32	2,58	10,81	10.594

(1) Ce gain se compose de 1c,07 abandonnée au cylindre et de 0c,94 conservée par la vapeur.

(2) Cette perte se compose de 0c,22 prise sur la vapeur et de 1c,13 prises sur les parois du cylindre.

Ces 1c,13 se décomposent elles-mêmes en 1c,07 chaleur précédemment abandonnée par la vapeur, et 0c,06 prise sur le cylindre et restituée à celui-ci par la vapeur de la chaudière au moment de l'admission.

(3) (4) Observations analogues.

(5) Cette perte de 1c,34 se décompose en 0c,22, prise sur la vapeur, et 1c,12, prises sur le cylindre et restituées à celui-ci par la vapeur de la chaudière au moment de l'admission.

Dans le mode de calcul que nous avons suivi, il n'y a pas à tenir compte, au point de vue des pertes de travail, des frottements de la vapeur dans les conduits, parce que ces frottements qui ne sont pas de nature à modifier les corps d'une manière permanente sont nécessairement représentés par la chaleur qu'ils développent.

Les seules pertes à prendre en considération sont les pertes de chaleur qu'éprouvent la chaudière, les cylindres et les conduits que parcourt la vapeur et enfin les fuites de vapeur qui s'opèrent par les joints et les garnitures.

Gain de chaleur de la chaudière évalué en kilogrammes de combustible. — Dans une machine locomotive en marche, un kilogramme de charbon peut produire environ 7 kilogr. de vapeur à 172°, la température initiale de l'eau étant de 20°. Il résulte de là que 1 kilogr. de charbon communique à la chaudière environ 4.500 calories. Les gains de chaleur faits par la chaudière et inscrits dans la dernière colonne du tableau ci-contre, correspondent aux consommations suivantes de charbon par kilomètre, savoir :

0k,92	pour le	3e cran
1k,48	pour le	6e cran
1k,96	pour le	9e cran
2k,35	pour le	12e cran.

En admettant que les pertes de chaleur par rayonnement ou contact avec l'air extérieur, et par les petites fuites qui existent toujours aux joints, correspondent à la consommation de 1k,25 de charbon par kilomètre, on voit qu'à partir du sixième cran une machine conserve sa température et sa pression sans aucune consommation de combustible. Pour un cran supérieur, pour le douzième par exemple, il y a une production surabondante, et l'on est conduit à écouler par le tube d'inversion un excès de vapeur égal à 6 ou 7 kilogr. par kilomètre de parcours. C'est certainement une

des applications les plus surprenantes de la théorie mécanique de la chaleur de régler la marche d'un train à la descente d'une pente, de l'arrêter, d'en accélérer ou ralentir la vitesse à l'aide d'une machine qui ne brûle pas de combustible, qui conserve néanmoins sa température et sa pression, et qui écoule en outre constamment un excès de vapeur dans la cheminée.

Travail résistant absorbé par la vapeur : résistance moyenne à la jante. — Poids maximum du train qu'une machine peut arrêter. — De même que nous avons calculé le gain de chaleur fait par la chaudière, de même nous pouvons calculer le travail résistant absorbé par la vapeur ou communiqué à la machine, et la résistance moyenne se déduira en divisant le travail par l'espace parcouru.

Numéros des crans.	TRAVAIL absorbé par la vapeur.			TRAVAIL dépensé par la vapeur.			Différence ou travail résistant.	Résistance moyenne à la jante.
	Compression entre l'avance à l'échappement et l'admission	Refoulement dans la chaudière.	Total.	Détente dans la cheminée de la vapeur sortie de la chaudière	Détente de la vapeur de l'espace nuisible.	Total.		
		kilogmèt.	kilogmèt					kil.
3	864	2.008	2.872	468	580	1.048	1.824	1.788
6	352	3.644	3.996	487	580	1.067	2.029	2.870
9	162	4.796	4.958	510	576	1.086	3.872	3.795
12	70	5.690	5.760	542	566	1.108	4.652	4.559

On voit que la limite de résistance qu'on peut atteindre est de 4.559, c'est environ $\frac{1}{6,7}$ du poids adhérent des machines à six roues (30t,500), c'est-à-dire à peu près le maximum de l'adhérence : sous un effort plus grand les roues patineraient en sens inverse de la marche du train.

On peut calculer pour chaque pente le poids maximum du train qu'une machine peut arrêter sans faire intervenir aucun frein.

Soit :

T le poids d'un train en tonnes,

V la vitesse à un moment donné,

V′ la vitesse au bout d'un parcours x,

R_1 la résistance moyenne par tonne des wagons entre les vitesses V et V′,

J la résistance de la machine due à l'emploi de la contre-vapeur,

I l'excès de résistance par tonne de la machine considérée comme véhicule sur la résistance R des wagons (soit environ 10 kilogr.),

P le poids de la machine en tonnes (soit 30t,5).

L'équation du travail donnera :

$$1000\,T\,\frac{V^2-V'^2}{2g}+pTx=(J+PI)x+TR_1x;$$

d'où

$$x=\frac{1000\,T.\,\frac{V^2-V'^2}{2g}}{J+PI-T(p-R_1)}$$

ou

$$T=\frac{(J+PI)x}{1000\,\frac{V^2-V'^2}{2g}+(p-R)x}.$$

Supposons le train animé d'une vitesse de 30 kilomètres à l'heure sur une pente de 15 millimètres. Renversons la marche au dixième cran : nous aurons J=4269. Admettons que le train doive s'arrêter au bout de 500 mètres, nous aurons

$$V'=0,\ x=500 \text{ et } R=4 \text{ kilog.} \qquad 1000\,\frac{V^2}{2g}=3540.$$

En faisant les substitutions on trouve T=252t,930.

C'est le maximum du poids que peut atteindre un train de voyageurs comprenant 20 voitures et 4 fourgons de bagages.

Nous verrons plus loin que, pour parer aux inconvénients d'une rupture d'attelage, nous serons conduits à introduire trois freins automoteurs; la résistance additionnelle développée par ces freins permettra de diminuer la résistance prise sur la machine, et de placer le levier de changement de marche *à un cran moins avancé*.

Influence de l'emploi de la contre-vapeur sur l'entretien du matériel. Conditions de stabilité dans les courbes. — Cherchons à nous rendre compte de l'influence que peut avoir sur l'entretien de la machine le travail résistant qu'elle transforme en chaleur; cherchons aussi les efforts que la voie et les bandages supportent; et enfin les conditions de stabilité dans lesquelles se trouve un train dont la tête présente une aussi grande résistance.

Influence sur les pièces du mouvement de la machine. — Une machine en descendant avec la marche renversée est soumise dans toutes ses parties à des efforts exactement comparables à ceux qu'elle supporte dans la marche directe en remorquant un train sur une rampe. La vitesse doit être d'autant plus faible que ces efforts sont plus grands.

Lorsqu'une machine, poussée par un train dont la vitesse est réglée par des freins ordinaires, descend avec le régulateur fermé et le levier au dernier cran de la marche en avant, elle prend fréquemment une vitesse exagérée, comme nous l'avons expliqué au commencement de ce rapport; les machines à 8 roues sont alors soumises à un mouvement de tangage très-prononcé qui produit des dislocations dans le mécanisme; les cylindres exigent un graissage fréquent et les mécaniciens remarquent que les garnitures s'usent très-vite. On peut se demander si au point de vue de l'entretien de la machine, il n'est pas préférable de descendre une pente avec une vitesse régulière, les cylindres étant constamment remplis de vapeur humide, et les pistons soumis à des pressions égales à celles de la marche ordinaire, que de descendre avec des vitesses rarement main-

tenues dans des limites convenables, le vide tendant à se faire dans les cylindres, et les pistons se mouvant pour ainsi dire librement.

Influence sur les bandages. — Lorsqu'une machine remorque un train sur une rampe, la manivelle tend à faire décrire à la roue un espace plus grand que celui qui correspond au développement de la roue sur le rail; les molécules du bandage sont pour ainsi dire poussées par le rail vers l'avant de la machine, et celles du rail sont poussées dans le sens de la pente. Lorsque cette même machine descend avec la marche des tiroirs renversée, la manivelle tend à faire décrire à la roue un espace plus petit que celui qui correspond au mouvement de translation du train; les molécules du bandage sont poussées par le rail vers l'arrière de la machine, c'est-à-dire qu'elles tendent à revenir vers leur position primitive, tandis que les molécules du rail sont poussées dans le même sens que précédemment. En un mot, les bandages s'usent comme si la machine circulait sur un profil quelconque sans jamais être tournée. C'est ce qui a eu lieu sur les sections de notre ligne successivement ouvertes à l'exploitation, les gares *terminus* n'étant pas munies de plaques tournantes. Nous n'avons pas remarqué que cette circonstance ait exercé sur l'usure des bandages aucune influence fâcheuse.

Influence sur les rails. — Le frottement de roulement étant substitué au frottement de glissement, l'usure des rails doit nécessairement diminuer dans une proportion considérable.

Dans les relevés que j'ai faits en 1862 du nombre de rails en mauvais état sur une longueur de voie de plus de 400 kilomètres, j'ai constaté qu'à proximité des gares et dans les pentes où l'on fait un usage fréquent des freins ordinaires calant les roues, les nombres de rails rebutés par kilomètre étaient à peu près doubles de la moyenne générale; ce résultat fait comprendre combien est grande l'influence du glissement sur l'usure des rails. Cette influence

est plus grande encore sur les bandages; et nous avons indiqué au commencement de ce rapport, que la durée des bandages des tenders des machines à marchandises du dépôt de Madrid, est réduite au tiers de la durée normale.

Conditions de stabilité dans les courbes. — Lorsqu'on emploie les freins ordinaires, ceux-ci sont répartis dans toute la longueur du train, et la résistance qui s'oppose à l'accélération se trouve exercée sur plusieurs groupes de wagons dans un même train.

Lorsqu'au contraire toute la résistance est prise sur la machine, les wagons se serrent les uns contre les autres avec une force croissante de la queue à la tête du train. Il importe d'examiner quelles peuvent être les conséquences de ces pressions pour la stabilité du train et pour la conservation de la voie et et du matériel.

Considérons un train dans une courbe de rayon r, composé de n wagons pesant chacun c tonnes (*fig.* 7, Pl. V).

Soit :

p la pente en millimètres;

l la longueur moyenne d'un wagon de tampon à tampon;

α l'arc sous-tendu par la longueur l d'un wagon.

Premier wagon de queue. — Le 1er wagon à la queue est poussé contre le suivant avec une force pc (*fig.* 8, Pl. V).

Les tampons aa' se raccourcissent, les tampons bb' se rapprochent, et nous supposons l'élasticité des tampons aa', bb' suffisante pour que ces derniers éprouvent un commencement de compression.

Soit Z la pression mutuelle des tampons aa' au moment où les tampons bb' vont se toucher; on trouve que la force pc est équilibrée par les deux composantes

$$\frac{pc}{2} + \frac{Z}{2} \quad \text{et} \quad \frac{pc}{2} - \frac{Z}{2},$$

appliquées, la première en a et la deuxième en b.

Le wagon est en outre soumis à un couple qui a pour force $\frac{Z}{2}$ et pour bras de levier la distancce des tampons t

$$\text{soit } \frac{Z}{2} \times t.$$

Ce couple tend à faire tourner le wagon de droite à gauche par rapport à un spectateur qui, placé sur le wagon, regarde la machine, le centre de la courbe étant supposé à gauche.

Admettons pour un moment que les tampons n'éprouvent aucun frottement latéral; ce couple $\frac{Z}{2} \times t$ sera détruit par la résistance au déplacement latéral des roues sur les rails.

En résumé, nous voyons que le premier wagon est soumis à une force pc parallèle à sa longueur et à un couple $\frac{Z}{2} \times t$ tendant à le faire tourner de droite à gauche.

Deuxième wagon. — Examinons les forces auxquelles est soumis le deuxième wagon(*fig.* 9). Le tampon a' supporte une force $\frac{pc}{2} + \frac{Z}{2}$ formant un angle $\frac{\alpha}{2}$ avec la direction de son axe; le tampon b' supporte une force $\frac{pc}{2} - \frac{Z}{2}$ parallèle à la précédente; enfin le wagon est soumis à son centre de gravité à la composante de la pesanteur pc dirigée suivant son axe.

Décomposons les forces appliquées en a' et b' en deux composantes parallèles aux côtés du wagon, nous aurons en a' et b' les deux forces

$$\left(\frac{pc}{2} + \frac{Z}{2}\right) \cos\frac{\alpha}{2} \quad \text{et} \quad \left(\frac{pc}{2} - \frac{Z}{2}\right) \cos\frac{\alpha}{2}$$

parallèles à l'axe du wagon, et les deux forces

$$\left(\frac{pc}{2} + \frac{Z}{2}\right) \sin\frac{\alpha}{2} \quad \text{et} \quad \left(\frac{pc}{2} - \frac{Z}{2}\right) \sin\frac{\alpha}{2}$$

perpendiculaires à ce même axe; enfin les tampons c et d exerceront contre les tampons du troisième wagon les efforts suivants, savoir :

$$\text{en } c \qquad \frac{pc}{2}\left(1 + \cos\frac{\alpha}{2}\right) + \frac{Z}{2}$$

$$\text{en } d \qquad \frac{pc}{2}\left(1 + \cos\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{Z}{2}.$$

En appliquant enfin par la pensée au centre de gravité perpendiculairement à l'axe du wagon deux forces égales à $pc \sin\frac{\alpha}{2}$ et directement opposées, on pourra finalement considérer le deuxième wagon comme soumis aux forces et aux couples ci-après :

1° $p.c\left(1 + \cos\frac{\alpha}{2}\right)$, force parallèle à l'axe qui appuie le deuxième wagon contre les tampons du troisième;

2° $pc \sin\frac{\alpha}{2}$, force perpendiculaire à l'axe du wagon qui tend à faire sortir le wagon de la voie de la même manière que la force centrifuge;

3° $pc \sin\frac{\alpha}{2} \times \frac{l}{2} + \frac{Z}{2}\left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right) \times t$ couple tendant à faire tourner le wagon de droite à gauche.

Troisième wagon. — En appliquant au troisième wagon des considérations entièrement analogues, on trouvera que ce troisième wagon est soumis aux forces et couples ci-après :

1° $pc\left(1 + \cos\frac{\alpha}{2} + \cos^2\frac{\alpha}{2}\right)$, force parallèle à l'axe du troisième wagon, appuyant celui-ci contre les tampons du quatrième;

2° $pc \sin\frac{\alpha}{2}\left(1 + \cos\frac{\alpha}{2}\right)$, force perpendiculaire à l'axe du wagon qui tend à le faire sortir de la voie de la même manière que la force centrifnge;

3° $pc \sin\frac{\alpha}{2}\left(1+\cos\frac{\alpha}{2}\right)\times\frac{l}{2}+\frac{Z}{2}\times\left(1-\cos\frac{\alpha}{2}\right)t$, couple tendant à faire tourner le wagon de droite à gauche.

$N^{ième}$ *wagon.* — Enfin, en généralisant pour un wagon de rang n, on aura les forces et couples suivants :

1° $pc\left(1+\cos\frac{\alpha}{2}+\cos^2\frac{\alpha}{2}+\ldots\ldots, \text{etc.}+\cos\frac{^{n-1}\alpha}{2}\right)$, force parallèle à l'axe du wagon considéré et appuyant celui-ci contre les tampons du suivant;

2° $pc\sin\frac{\alpha}{2}\left(1+\cos\frac{\alpha}{2}+\cos^2\frac{\alpha}{2}+\ldots\ldots+\cos\frac{^{n-2}\alpha}{2}\right)$, force perpendiculaire à l'axe du wagon tendant à le faire sortir de la voie de la même manière que la force centrifuge;

3° $pc\sin\frac{\alpha}{2}\left(1+\cos\frac{\alpha}{2}+\cos^2\frac{\alpha}{2}+\text{—}+\cos\frac{^{n-2}\alpha}{2}\right)\times\frac{l}{2}+\frac{Z}{2}\times$
$\times\left(1-\cos\frac{\alpha}{2}\right)t$, couple tendant à faire tourner le wagon de droite à gauche,

Bien que dans les formules qui précèdent $\cos\frac{\alpha}{2}$ entre à une puissance très-élevée, on ne commettra pas une erreur considérable en donnant à $\cos\frac{\alpha}{2}$ la valeur de l'unité.

En effet, le rayon des courbes a pour limite inférieure 300 mètres, la longueur d'un wagon est de 6m,60, il en résulte que l'angle sous-tendu a pour valeur maxima

$$\alpha=\frac{6,6}{300}\times\frac{180}{\pi}=1°15'37''.$$

Par suite

$$\frac{\alpha}{2}=37'48'';$$

Or on a

$$\cos\frac{\alpha}{2}=0,99994.$$

en élevant $\cos\frac{\alpha}{2}$ à la 40e puissance, on aura

$$\cos^{40}\frac{\alpha}{2}=0,99758.$$

Or un train comprend rarement plus de quarante wagons, on peut donc admettre que $\cos\frac{\alpha}{2}$ se confond avec l'unité.

On peut poser d'autre part

$$\sin\frac{\alpha}{2}=\frac{l}{2r}.$$

En introduisant ces simplifications, les expressions des forces et couples parallèles au plan de la voie auxquels est soumis un wagon quelconque d'ordre n deviennent :

1° npc, force parallèle à l'axe du wagon et appuyant celui-ci contre les tampons du suivant;

2° $(n-1)\,pc\,\frac{l}{2r}$, force perpendiculaire à l'axe du wagon tendant à le faire sortir de la voie de la même manière que la force centrifuge;

3° $(n-1)\,pc\,\frac{l^2}{4r}$, couple tendant à faire tourner le wagon de droite à gauche.

Lorsque le train descend dans une courbe, sa vitesse étant rendue uniforme par la résistance de la machine, chaque wagon est soumis en outre à la force centrifuge qui a pour expression :

$$\frac{1.000\,c}{g}\times\frac{V^2}{r}.$$

Examinons successivement l'influence de ces diverses forces sur le matériel et les différences qui se présentent, lorsque la résistance à l'accélération est répartie sur plusieurs points du train, ou lorsqu'elle est tout entière en tête du train.

Effort de compression des wagons les uns contre les autres. — 1° L'effort de compression npc atteint son maximum pour la plus grande valeur de n, ou pour le wagon le

plus rapproché de la machine. Or dans le cas le plus défavorable, cette valeur ne dépasse pas la résistance que la machine oppose lorsque le levier est au douzième cran, soit 4.559 kilog. auxquels il faut ajouter l'excès de résistance par tonne que la machine présente sur le reste du train à cause des mouvements du mécanisme ; cet excès évalué à 10 kilog. par tonne donnerait pour 30,5 tonnes 305 kilog.

L'effort de compression a donc pour maximum 4.864, soit 5000 kilog. en nombre rond, ou 2 500 kilog. par tampon.

Nos wagons supportent facilement cette compression qui est moindre en définitive que l'effort de traction auxquels ils sont fréquemment soumis dans les rampes.

Nous ne remarquons pas que les rondelles en caoutchouc des tampons se détériorent rapidement, tandis que les ressorts de traction perdent de leur flèche depuis que nous remorquons des trains avec des machines à 8 roues.

Force additionnelle à la force centrifuge. — 2° La force $(n-1)\ pc\ \frac{l}{2r}$ tend à faire sortir de la voie le wagon auquel elle s'applique en venant s'ajouter à la force centrifuge

$$\frac{1.000c}{g} \times \frac{V^2}{r}.$$

Le rapport de la première force à la deuxième est

$$\frac{(n-1)p \times l \times g}{2 \times 1000 \times V^2}.$$

ou remplaçant l et g par leurs valeurs

$$0{,}0324 \times \frac{(n-1)p}{V^2}.$$

Ce rapport atteint sa valeur maxima pour la plus grande valeur de n, c'est-à-dire pour le wagon qui se trouve en tête du train.

La force centrifuge n'est à craindre que lorsque la vitesse est considérable, et l'on voit que le rapport ci-dessus diminue quand la vitesse augmente. Soit, par exemple, $V = 10$ mètres et $p = 20$ millimètres, le rapport ci-dessus devient

$$0{,}00648\ (n-1).$$

Et en donnant à n la valeur 24, il vient

$$0{,}149 \quad \text{ou environ} \quad \frac{1}{7};$$

C'est-à-dire que le wagon est dans la même situation que si la force centrifuge était augmentée de $\frac{1}{7}$, ou encore si la vitesse était de $10^m{,}72$, au lieu d'être de 10 mètres.

Une observation toutefois découle de cette discussion : la force centrifuge est proportionnelle au poids du wagon, tandis que la force additionnelle dépend au contraire principalement de la charge qui le pousse.

Il faudrait éviter de placer des wagons vides en tête du train.

Supposons, par exemple, qu'un wagon vide pesant $\frac{c}{2}$, soit poussé par $(n-1)$ wagons chargés, pesant c, la force additionnelle $(n-1)\ pc\ \frac{l}{2r}$ reste à peu près invariable, tandis que la force centrifuge de ce même wagon diminue de moitié : le rapport ci-dessus deviendrait double, soit

$$0{,}298.$$

La vitesse que devrait avoir le wagon vide, pour que la force centrifuge fût augmentée dans la proportion ci-dessus, serait de

$$11^m{,}40 \quad \text{au lieu de} \quad 10 \text{ mètres.}$$

En résumé, l'influence de cette force additionnelle à la force centrifuge est très-faible : elle conduirait à augmenter légèrement le devers de la voie.

Observons immédiatement que la facilité avec laquelle le mécanicien règle la vitesse du train est telle, qu'il peut descendre les pentes avec la vitesse qu'il juge convenable : au contraire, avec les freins ordinaires, lorsque le mécanicien voit qu'il n'est plus maître de la vitesse, il siffle aux freins, ceux-ci ne sont souvent serrés que lorsque la vitesse est déjà beaucoup plus considérable qu'il ne convient, le train descend ainsi sur des courbes à *grande vitesse* et *avec des freins serrés*, double condition très-défavorable pour la voie dont le devers doit être calculé en vue de vitesses souvent exagérées. Avec l'emploi de la marche renversée, la vitesse pouvant être parfaitement réglée, on peut dire en réalité, à cause de l'imprévu qui est moindre, que le devers, lors de la pose, pourrait plutôt être diminué qu'augmenté, bien que théoriquement, pour une vitesse déterminée, la force centrifuge se trouve augmentée par suite de la résistance qu'offre la tête du train.

Couple tendant à faire tourner les wagons de droite à gauche. — Enfin il reste à considérer le couple

$$(n-1)pc\frac{l^2}{4r}$$

qui tend à faire tourner le wagon de droite à gauche.

Nous avons supposé que ce couple est détruit par la résistance au glissement latéral des roues sur les rails : le bras de levier de ce dernier couple serait de $5^m.00$ distance des essieux; la résistance y au glissement latéral de chaque paire de roues serait donnée par la formule

$$5 \times y = (n-1)p \,.\, c\frac{l^2}{4r} \qquad y = (n-1)pc\frac{l^2}{12 \,.\, r}.$$

Supposons comme précédemment

$$p = 20, \quad c = 10, \quad r = 300, \quad l = 6{,}6,$$
$$y = (n-1)\,2^k{,}42.$$

Le maximum de y est atteint pour n maximum, soit $n = 24$, $y = 55^{kilog},66$.

Or un essieu pressant le rail avec une force de 5.000 kilog. ou au minimum de 2.500 kilog. pour un wagon vide, et le glissement ne commençant au plus tôt que pour une force égale à $\frac{1}{10}$ de la pression, soit au minimum 250 kilog., on voit bien que le glissement n'aura pas lieu, puisque la force y n'atteint que $55^{kilog},66$. Pour $n = 40$, nombre maximum de wagons d'un train de marchandises, on aurait $y = 94.30$, et la conclusion serait la même.

Si l'on supposait que, par suite des trépidations en marche, un wagon se trouvât soulevé pendant un petit parcours, on ne trouverait plus la résistance sur les rails, mais comme tous les wagons sont serrés les uns contre les autres la résistance se trouverait sur les tampons.

Le bras de levier deviendrait alors l : mais nous avons vu que tous les wagons tendent à tourner dans le même sens : par suite de la pression exercée sur les wagons, pression suffisante pour empêcher le glissement, les wagons successifs sont en quelque sorte dans la même situation que deux roues d'engrenages qui sont soumises à des couples tendant à les faire tourner dans le même sens; or les couples de deux wagons qui se suivent ont pour différence $pc\frac{l^2}{4r}$: tel est le couple qui tend à faire tourner un wagon au moment où il cesse de s'appuyer sur la voie; le bras de levier étant l, la force est

$$pc\frac{l}{4r} = 1^k{,}10.$$

On voit que c'est une force insignifiante qui ne pourra pas déplacer d'une manière sensible les wagons dans les courts intervalles pendant lesquels ils cesseraient de porter sur les rails.

Comme toutes les actions sont réciproques et, qu'en définitive, la voie n'éprouve pas de pression latérale, il en est de même du matériel ; et à cause de la régularité que l'on peut donner sûrement à la vitesse, la voie peut être considérée ainsi que le matériel en meilleure situation dans un train dont toute la résistance est prise sur la machine, que dans un train arrêté par saccades et plus ou moins à propos par les freins ordinaires répartis dans la longueur du train.

Voilà pour le matériel roulant : arrivons enfin au tender et à la machine.

Efforts supportés par la machine. — Les efforts latéraux dont nous venons de calculer les valeurs produisent sur le tender et la machine, qui présentent des masses plus fortes, des effets moins prononcés encore que sur les wagons.

Ainsi, la force qui vient s'ajouter à la force centrifuge est pour la machine

$$p(nc + \mathrm{T}) \times \frac{\mathrm{L}}{2r}.$$

T étant le poids du tender et L la longueur de la machine.

Soit M le poids en tonnes de la machine, la force centrifuge est :

$$1.000\,\frac{\mathrm{M}v^2}{gr}.$$

Le rapport de la force additionnelle à la force centrifuge, devient :

$$\frac{p(nc + \mathrm{T}) \times \mathrm{L} \times g}{2.000\,\mathrm{M}v^2}.$$

Or, nous avons : $\mathrm{L} = 8$, $g = 9{,}81$ $\mathrm{M} = 30{,}5$, l'expression devient :

$$0{,}03924 \times \frac{p}{v^2} \cdot \frac{nc + \mathrm{T}}{\mathrm{M}}$$

pour $\mathrm{V} = 10$ mètres, $p = 20$ millimètres, $nc = 240$, $\mathrm{T} = 17$, on aurait

$$0{,}0661 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{15}.$$

Ainsi, la force centrifuge ne serait augmentée que d'un quinzième de sa valeur, augmentation qui serait également obtenue si la vitesse au lieu d'être de 10 mètres était de $10^{m},32$.

Pour tous les véhicules les forces considérées se trouvent sensiblement dans le plan des tampons ; pour la machine, il n'en est plus de même.

La force qui pousse la machine en avant se trouve à 1 mètre au-dessus des rails, et la force qui la retient se trouve sur les rails mêmes : il se produit ici des couples dans des plans verticaux : en les combinant dans le plan vertical passant par l'axe de la machine, on obtient un couple unique ayant pour bras de levier 1 mètre et pour force la somme des résistances des six roues sur les rails, soit :

5.000 kilog.

Le couple tend à faire basculer la machine en soulevant les roues d'arrière, et en appuyant davantage contre les rails les roues d'avant. La distance des essieux extrêmes étant de $3^{m},52$, on voit que la force avec laquelle la roue d'arrière est soulevée atteindra

$$\frac{5.000}{3{,}52} = 1.420 \text{ kilog.}$$

La roue d'avant est poussée contre le rail avec une force additionnelle égale aussi à 1420 kilog.

Répartition de la charge sur les essieux. — La répartition de la charge sur les trois essieux est la suivante, quand la machine est à l'état de repos :

Essieu AV.	10.160	30.500
d° moteur.	10.460	
d° AR.	9.880	

Lorsqu'elle est poussée avec une force de 5.000 kilog., cette répartition devient approximativement :

Essieu AV.	11.580	30.500
d° moteur.	10.460	
d° AR.	8.460	

Dans la marche directe, lorsque la machine exerce un effort de traction égal à 5.000 kilog., il se développe un couple qui tend au contraire à soulever l'essieu d'avant et à appuyer sur le rail l'essieu d'arrière : la répartition serait alors :

Essieu AV.	8.740
d° moteur.	10.460
d° AR.	11.300

On voit en définitive que la machine est dans de meilleures conditions de stabilité, quand elle est poussée que quand elle tire, et que la pression maxima sur les rails est à peu près la même à l'essieu d'avant dans la descente et à l'essieu d'arrière dans la montée.

Calcul des résistances introduites dans un train par l'emploi de freins automoteurs. — Nous avons établi dans ce qui précède, que sur une pente de 15 millimètres, une machine pourrait arrêter un train du poids de 253 tonnes sans faire usage d'aucun frein, en ouvrant simplement le robinet d'inversion et renversant la marche des tiroirs.

Le poids des trains de voyageurs ne dépasse pas 250 tonnes ; mais les trains de marchandises sont beaucoup plus lourds et comprennent jusqu'à 40 véhicules chargés. Sous la pression exercée par une telle charge, la machine serait poussée en avant sur des pentes de 15 millimètres, alors

même que le levier de changement de marche se trouverait au douzième cran en arrière.

Il est donc indispensable de recourir à d'autre freins : or la résistance considérable qu'on peut développer en tête du train permet sur les fortes pentes d'employer les freins automoteurs d'une manière efficace, comme nous allons le faire voir.

Soit V la vitesse d'un train en mètres par seconde : décomposons ce train en sections successives (*fig* 10, Pl. V) comprenant la première, la machine, le tender et les wagons, jusqu'au premier frein automoteur.

Soit Q le poids en tonnes.

Soit q_1 le poids en tonnes du premier groupe de wagons jusqu'au deuxième wagon à frein, non compris,

q_2 le poids en tonnes du deuxième groupe de wagons, comprenant le deuxième frein, et allant jusqu'au troisième, et ainsi de suite,

q_z le poids du dernier groupe à la queue.

Il faut que cette dernière valeur de q_z soit assez grande pour que la pression exercée par les wagons qui se trouvent derrière le dernier frein automoteur, pris en compte, soit suffisante pour vaincre la résistance du ressort de rappel.

Laissons le régulateur un instant ouvert de la quantité nécessaire pour que le travail moteur de la vapeur soit juste suffisant pour ramener la résistance par tonne de la machine à être égale à la résistance par tonne du reste du train. Toutes les parties du train auront des vitesses égales à chaque instant, et les tampons n'exerceront les uns sur les autres aucune pression.

A un moment donné, ouvrons le tube d'inversion et renversons la marche des tiroirs, de manière à produire dans la machine une résistance additionnelle K. La partie Q du train, considérée isolément, sera soumise à la force accélératrice pQ résultant de la pente, et à la pression F_1, exercée par les tampons du premier frein automoteur. Les forces

retardatrices seront la résistance spéciale K et la résistance par tonne, R, variable avec la vitesse du train en marche, soit RQ pour la partie Q du train.

Soit V' la nouvelle vitesse au bout d'un parcours x, à partir du moment où la marche des tiroirs a été renversée, l'équation du travail donnera :

$$\int_0^x F_1 dx + Q\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) = Q\int_0^x R dx + Kx.$$

Examinons maintenant la deuxième partie du train, c'est-à-dire le groupe des wagons q_1 ayant en tête le premier frein automoteur.

Les tampons de ce frein (*fig.* 11, Pl. V) sont soumis à la pression F_1 ; le ressort de rappel présente une résistance ρ, au moment où le sabot touche le bandage : la queue L du levier est donc poussée avec une force $F_1 - \rho$. Le petit levier l étant 1/4 du grand, la pression exercée par le sabot sur le bandage est égale à $4(F_1 - \rho)$.

La résistance due au frottement devient :

$$4\beta(F_1 - \rho),$$

en appelant β le coefficient de frottement du sabot sur le bandage (fonte sur fer).

Appelons aussi F_2 la pression des tampons du deuxième frein automoteur, l'équation du travail appliquée au groupe q_1 donnera :

$$\int_0^x F_2 dx + q_1\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + 4\beta\rho x = q_1\int_0^x R dx + \\ + (1 + 4\beta)\int_0^x F_1 dx, \qquad (2)$$

On aura de même les équations suivantes pour les groupes successifs :

$$\int_0^x F_3 dx + q_2\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + 4\beta\rho x = q_2\int_0^x R dx + (1 + 4\beta)\int_0^x F_2 dx$$

$$\int_0^x F_4 dx + q_3\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + 4\beta\rho x = q_3\int_0^x R dx + (1 + 4\beta)\int_0^x F_3 dx$$

$$\vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots$$

$$q_z\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + 4\beta\rho x = q_z\int_0^x R dx + (1 + 4\beta)\int_0^x F_z dx.$$

Les diverses équations au nombre de Z + 1 peuvent se mettre sous la forme suivante, chaque équation ne renfermant plus qu'une seule des inconnues

$$F_1,\ F_2,\ F_3,\ \ldots\ldots\ F_z,$$

et la dernière permettant de déterminer x.

$$(1)\quad \int_0^x F_z dx + \frac{q_z}{1 + 4\beta}\int_0^x R dx = \frac{q_z}{1 + 4\beta}\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + \\ + 4\beta\rho x\,\frac{1}{1 + 4\beta};$$

$$(2)\quad \int_0^x F_{z-1} dx + \left(\frac{q_{z-1}}{1 + 4\beta} + \frac{q_z}{(1 + 4\beta)^2}\right)\int_0^x R dx = \left[\frac{q_{z-1}}{1 + 4\beta} + \right. \\ \left. + \frac{q_z}{(1 + 4\beta)^2}\right]\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + 4\beta\rho x\left(\frac{1}{1 + 4\beta} + \right. \\ \left. + \frac{1}{(1 + 4\beta)^2}\right);$$

$$(3)\quad \int_0^x F_{z-2} dx + \left(\frac{q_{z-2}}{1 + 4\beta} + \frac{q_{z-1}}{(1 + 4\beta)^2} + \frac{q_z}{(1 + 4\beta)^3}\right)\int_0^x R dx = \\ = \left[\frac{q_{z-2}}{1 + 4\beta} + \frac{q_{z-1}}{(1 + 4\beta)^2} + \frac{q_z}{(1 + 4\beta)^3}\right]\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + \right. \\ \left. + px\right) + 4\beta\rho x\left(\frac{1}{1 + 4\beta} + \frac{1}{(1 + 4\beta^2)} + \frac{1}{(1 + 4\beta)^3}\right);$$

$$(z)\begin{cases}\displaystyle\int_0^x F_1\,dx+\left(\frac{q_1}{1+4\beta}+\frac{q_2}{(1+4\beta)^2}+\ldots+\frac{q_{z-1}}{(1+4\beta)^{z-1}}+\right.\\ \left.+\frac{q_z}{(1+4\beta)^z}\right)\int_0^x R\,dx=\left(\frac{q_1}{1+4\beta}+\frac{q_2}{(1+4\beta)^2}+\right.\\ +\frac{q_3}{(1+4\beta)^3}+\ldots+\frac{q_{z-1}}{(1+4\beta)^{z-1}}+\left.\frac{q_z}{(1+4\beta)^z}\right)\\ \left(1.000\,\frac{V^2-V'^2}{2g}+px\right)+4\beta\rho x\left(\frac{1}{1+4\beta}+\frac{1}{(1+4\beta)^2}+\right.\\ \left.+\frac{1}{(1+4\beta)^3}+\ldots+\frac{1}{(1+4\beta)^{z-1}}+\frac{1}{(1+4\beta)^z}\right);\end{cases}$$

$$(z+1)\begin{cases}Kx+\left(Q+\frac{q_1}{1+4\beta}+\frac{q_2}{(1+4\beta)^2}+\ldots+\frac{q_{z-1}}{(1+4\beta)^{z-1}}+\right.\\ \left.+\frac{q_z}{(1+4\beta)^z}\right)\int_0^x R\,dx=\left(Q+\frac{q_1}{1+4\beta}+\frac{q_2}{(1+4\beta)^2}+\right.\\ \left.+\ldots+\frac{q_z}{(1+4\beta)^z}\right)\left(1.000\,\frac{V^2-V'^2}{2g}+px\right)+\\ +4\beta\rho x\left(1+\frac{1}{(1+4\beta)}+\frac{1}{(1+4\beta)^2}+\ldots+\right.\\ \left.\frac{1}{(1+4\beta)^z}\right).\end{cases}$$

Posons pour abréger :

$$\frac{q_1}{1+4\beta}+\frac{q_2}{(1+4\beta)^2}+\frac{q_3}{(1+4\beta)^3}+\ldots+\frac{q_z}{(1+4\beta)^z}=H$$

et

$$\frac{1}{1+4\beta}+\frac{1}{(1+4\beta)^2}+\frac{1}{(1+4\beta)^3}+\ldots+\frac{1}{(1+4\beta)^z}=h.$$

Les deux dernières équations (z) et $(z+1)$ deviennent :

$$(z)\quad\int_0^x F_1\,dx+H\int_0^x R\,dx=H\left(1.000\,\frac{V^2-V'^2}{2g}+px\right)+4\beta\rho hx;$$

$$(z+1)\begin{cases}Kx+(Q+H)\displaystyle\int_0^x R\,dx=(Q+H)\left(1.000\,\frac{V^2-V'^2}{2g}+px\right)+\\ +4\beta\rho(h+1)x.\end{cases}$$

Posons $\displaystyle\int_0^x R\,dx=R_1\,x$, R_1 étant la résistance moyenne entre les vitesses V et V', nous aurons pour x l'expression :

$$x=\frac{1.000\,(Q+H)\,\dfrac{V-V'^2}{2g}}{K-4\beta\rho(1+h)-(Q+H)(p-R_1)}.$$

Sous cette dernière forme, on voit que la distance que doit parcourir le train pour obtenir le changement de vitesse de V à V' est la même que si l'on avait un train d'un poids égal à

$$Q+H,$$

et si l'on appliquait en tête de ce train une résistance supplémentaire égale à

$$K-4\beta\rho(1+h).$$

On peut donc dire, en quelque sorte, que l'application des freins automoteurs a pour effet de diminuer l'influence de la charge du train, mais que la résistance des ressorts de rappel tend d'un autre côté à diminuer l'influence de la résistance appliquée en tête du train.

β est le coefficient de frottement du sabot du frein sur le bandage ; on voit que plus ce coefficient est élevé, plus la réduction de l'influence de la charge sera grande.

Les sabots de frein sont en fonte, et comme il arrive que l'huile des boîtes, emportée par la force centrifuge, graisse le bandage, il convient d'adopter pour le coefficient de frottement 0,10 à 0,11, de sorte que l'on a :

NOMBRE de freins automoteurs. Valeur de z.	VALEUR de $\frac{1}{(1+4\beta)^z}$	VALEUR correspondante de h.	VALEUR de $\frac{h}{z}$	VALEUR de $1+h$
1	$\frac{1}{(1+4\beta)} = 0{,}700$	0,700	0,700	1,700
2	$\frac{1}{(1+4\beta)^2} = 0{,}490$	1,190	0,595	2,190
3	$\frac{1}{(1+4\beta)^3} = 0{,}343$	1,532	0,511	2,533
4	$\frac{1}{(1+4\beta)^4} = 0{,}240$	1,773	0,443	2,773
5	$\frac{1}{(1+4\beta)^5} = 0{,}168$	1,941	0,388	2,941
6	$\frac{1}{(1+4\beta)^6} = 0{,}116$	2,057	0,343	3,057
7	$\frac{1}{(1+4\beta)^7} = 0{,}081$	2,138	0,305	3,138
8	$\frac{1}{(1+4\beta)^8} = 0{,}057$	2,195	0,274	3,195
9	$\frac{1}{(1+4\beta)^9} = 0{,}040$	2,238	0,248	3,235
10	$\frac{1}{(1+4\beta)^{10}} = 0{,}028$	2,263	0,226	3,263
11	$\frac{1}{(1+4\beta)^{11}} = 0{,}019$	2,282	0,208	3,282
12	$\frac{1}{(1+4\beta)^{12}} = 0{,}014$	2,296	0,191	3,296

Il nous sera facile maintenant de déterminer le nombre de freins automoteurs qu'il faudra introduire dans un train pour pouvoir l'arrêter sur une pente de 15 millimètres en renversant la marche des tiroirs de la machine.

Freins automoteurs nécessaires dans un train de marchandises. — Soit un train de 40 wagons pesant chacun dix tonnes, remorqué par une machine à huit roues couplées (*fig.* 12, Pl. V). Pour des motifs que nous indiquerons tout à l'heure, laissons les dix premiers wagons sans freiu ; plaçons ensuite un frein automoteur en tête de chaque groupe de

cinq wagons, excepté pour la dernière dizaine où nous n'en mettrons qu'un : il y a donc en totalité cinq freins automoteurs, et cherchons quelle distance pourrait parcourir le train sur une pente de 15 millimètres, en lui supposant une vitesse initiale de 6 mètres par seconde, nous avons :

$$x = \frac{1.000(Q+H)\frac{V^2-V'^2}{2g}}{K-4\beta\rho(1+h)-(Q+H)(p-R_1)} = 455.$$

Il faut remplacer par les valeurs suivantes les diverses quantités qui entrent dans cette expression :

$$Q = 60 + 100 = 160,$$

60 tonnes est le poids de la machine et du tender

$$H = 50\left(\frac{1}{1+4\beta} + \frac{1}{(1+4\beta)^2} + \frac{1}{(1+4\beta)^3} + \frac{1}{(1+4\beta)^4}\right) + \frac{1}{(1+4\beta)^5}100 = 108{,}35;$$

$$Q+H = 268{,}35;$$

$$V^2 = 36,\quad V'^2 = 0,\quad g = 9{,}81;$$

$$\frac{V^2}{2g} = 1.835;$$

K est la résistance due à l'emploi de la contre-vapeur augmentée de l'excès de résistance que présente chaque tonne de la machine sur la résistance moyenne par tonne du reste du matériel en mouvement. On peut compter 12 kilog. par tonne pour les machines à huit roues, soit pour le poids total de la machine $43{,}500 \times 12 = 522$ kilog.

La résistance due à l'emploi de la contre-vapeur pour

les machines à huit roues peut atteindre 6.960 kilog.; mais nous supposons le levier de changement de marche placé de manière à produire seulement une résistance de 5000 kilog., nous avons :

$$K = 5.000 + 522 = 5.522;$$

ρ = résistance du ressort de rappel = 1200 kilog.

$$\beta = 0,107, \quad 4\beta\rho = 513,6;$$
$$(1+h) = 2,941;$$
$$p - R_1 = 15 - 4 = 11:$$

Nous admettons 4 kilog pour valeur moyenne de R_1; cette résistance est en effet de 3 kilog. environ au moment de l'arrêt, et de 5 kilog. pour la vitesse de 22 kilomètres.

On voit que le train dont le poids total est de 460 tonnes se trouve, par l'influence des freins automoteurs, n'exercer sur la machine que la pression d'un train ordinaire de 268 tonnes, et que grâce à l'énergie de la résistance en tête du train, l'arrêt pourra être obtenu au bout d'un parcours de moins de 500 mètres, la vitesse initiale étant supposée de 6 mètres par seconde ou 21 kil. à l'heure, vitesse normale des trains de marchandises qu'il importe de ne pas dépasser sur les pentes pour obtenir le plein effet de la résistance due à la contre-vapeur, sans faire produire à la machine un travail de résistance plus grand que le maximum du travail moteur en vue duquel elle a été construite.

Efforts supportés par le premier et le dernier frein automoteur. — Il nous reste à vérifier si réellement le dernier frein automoteur a fonctionné et il est intéressant aussi de déterminer la pression supportée par les tampons du premier frein en tête.

Reprenons les trois équations :

$$\int_0^x F_2\,dx + \frac{q_2}{1+4\beta}\int_0^x R\,dx = \frac{q_2}{1+4\beta}\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + \frac{1}{1+4\beta} + 4\beta\rho x;$$

$$\int_0^x F_1\,dx + H\int_0^x R\,dx = H\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + 4h\beta\rho x;$$

$$Kx + (Q+H)\int_0^x R\,dx = (Q+H)\left(1.000\,\frac{V^2 - V'^2}{2g} + px\right) + 4(1+h)\beta\rho x.$$

Supposons x infiniment petit et remarquons que pour x infiniment petit, on a :

$$\frac{V^2 - V'^2}{x} = -2\frac{d^2x}{dt^2}.$$

Les trois équations ci-dessus deviendront :

$$F_2 = \frac{q_2}{1+4\beta}\left(p - \frac{1.000}{g}\frac{d^2x}{dt^2}\right) - \frac{q_2 R}{1+4\beta} + \frac{4\beta\rho}{1+4\beta};$$

$$F_1 = H\left(p - \frac{1.000}{g}\frac{d^2x}{dt^2}\right) - HR - 4h\beta\rho;$$

$$p - \frac{1.000}{g}\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{K - 4(1+h)\beta\rho + (Q+H)R}{Q+H}.$$

On déduit de là.

$$F_2 = \frac{q_2}{1+4\beta}\,\frac{K - 4(1+h)\beta\rho}{Q+H} + \frac{4\beta\rho}{1+4\beta};$$

$$F_1 = H\,\frac{K - 4(1+h)\beta\rho}{Q+H} + 4h\beta\rho.$$

Il serait facile d'avoir toutes les valeurs intermédiaires entre F_1 et F_2 mais elles n'offrent pas le même intérêt,

Pour le train que nous avons considéré, nous avons :

$$F_2 = q_2\,10,42 + 359,5.$$

Or pour que le frein fonctionne, il faut que l'on ait

$$F_2 > \rho, \quad > 1200.$$

Il en résulte que l'on doit avoir

$$q_2 > 81,$$

c'est-à-dire que la dernière partie du train doit comprendre au moins neuf wagons : s'il n'y avait que huit wagons le frein ne fonctionnerait plus, ou du moins les sabots ne seraient pressés que très-légèrement; nous avons supposé dix wagons et le frein est placé dans des conditions convenables.

Déterminons aussi F_1, nous aurons :

$$F_1 = 1.609 + 1.026 = 2.635.$$

La pression exercée à l'extrémité du grand levier est $F_1 - \rho$, soit :

$$2.635 - 1.200 = 1.435.$$

Cette pression transmise aux sabots par un bras du levier quatre fois plus court devient en totalité de :

$$5.740 \text{ kilog.},$$

pression plus faible que le poids du wagon lui-même, le frein automoteur se trouve dans de très-bonnes conditions : il ne supporte aucun effort excessif; la pression des sabots sur les roues est moindre que celle des roues sur les rails; de sorte que, même à égalité de coefficient de frottement des roues sur les rails, ou des sabots de frein sur les roues, celles-ci continuent à tourner.

Si le premier frein avait été placé plus près de la machine, il aurait supporté des efforts plus considérables; or nous cherchons à éviter que les roues soient calées.

Ainsi en résumé, il suffirait de cinq freins automoteurs pour un train comprenant quarante wagons chargés.

Répartition des freins en vue d'une rupture d'attelage. — Nous avons considéré jusqu'à présent des trains sur les pentes; considérons le cas des rampes.

Un attelage peut se rompre et l'on ne dispose plus dans ce cas de la puissance de la machine. Si le train est très-lourd, il est nécessairement en double traction : en prévision de cette nature d'accidents, il serait très-convenable, au moins pour les trains de marchandises, de mettre une machine en tête et l'autre en queue. Cette solution se trouve naturellement indiquée pour la section comprise entre Avila et Madrid; les trains chargés venant sur Madrid devraient partir d'Avila avec deux machines l'une en tête et l'autre en queue, jusqu'à la Cañada : à partir de la Cañada, les trains descendraient sur Madrid avec une seule machine, et comme il n'existe aucune contre-pente, la solution serait complète, c'est-à-dire qu'on n'aurait absolument besoin d'aucun garde-frein.

Cette solution est contraire aux règlements; il y aurait à obtenir du gouvernement une autorisation spéciale. Une fois cette autorisation obtenue pour les trains de marchandises, il ne resterait plus que les trains montant les rampes en simple traction, et les trains de voyageurs pour lesquels l'autorisation de mettre une machine en queue ne serait probablement pas accordée.

La charge de ces trains est d'ailleurs limitée à vingt-quatre véhicules.

Considérons néanmoins le cas général : une rupture d'attelage venant à se produire sur une forte pente, il faut produire sur la queue du train une résistance spéciale qui fasse fonctionner les freins automoteurs que le train renferme.

Les calculs que nous avons produits ci-dessus nous permettent de déterminer exactement les conditions du problème.

Un train est accompagné au moins par deux hommes

pour les nécessités du service dans les gares et la comptabilité.

Ces deux agents ne devront fonctionner comme garde-freins que dans le cas de rupture d'attelage, en pleine voie, c'est-à-dire dans des cas extrêmement rares.

Trains de marchandises. — Nombre de freins automoteurs en vue d'une rupture d'attelage. — Considérons un train de marchandises composé de quarante véhicules et mettons en queue quatre wagons à frein ordinaire (*fig.* 13, Pl. V), disposés de manière à rendre facile le passage d'un wagon à un autre; dans le cas d'une rupture d'attelage, les deux agents du mouvement serreront les freins. En recommandant de charger de préférence les quatre wagons à frein ordinaire, on pourra compter sur un poids moyen de 10 tonnes par wagon : ce poids atteindra fréquemment 14 tonnes pour les trois derniers wagons et au moins 7 tonnes pour le fourgon dans lequel se tiendra le conducteur.

Les freins étant serrés et admettant pour coefficient de frottement des bandages sur les rails $\frac{1}{8}$, la résistance sera $\frac{40.000}{8} = 5.000$ kilog.

La résistance moyenne par tonne du train étant évaluée à 4 kilog., il reste pour la valeur de la quantité désignée par K dans nos formules :

$$K = 5.000 - 4 \times 40 = 5.000 - 160 = 4.840.$$

Reprenons maintenant les formules

$$x = \frac{1.000\,(Q+H)\,\frac{V^2 - V'^2}{2g}}{K - 4\beta\rho(1+h) - (Q+H)(p-R_1)},$$

$$F_z = \frac{q_z}{1+4\beta}\,\frac{K - 4(1+h)\beta)}{Q+H} + \frac{4\beta\rho}{1+4\beta},$$

$$F_1 = H\,\frac{K - 4(1+h)\beta\rho}{Q+H} + 4h\beta\rho.$$

Supposons que la rupture de l'attelage se produise au wagon le plus rapproché de la machine pour le train de quarante véhicules que nous avons considéré :

La première partie Q du train pris en sens inverse se composera de 4 freins ordinaires et des 6 wagons qui suivent jusqu'au premier frein compté précédemment, on aura donc

$$Q = 100.$$

$$H = 50\left(\frac{1}{(1+4\beta)} + \frac{1}{(1+4\beta)^2} + \frac{1}{(1+4\beta)^3} + \frac{1}{(1+4\beta)^4}\right) + \frac{100}{(1+4\beta)^5} = 108{,}35,$$

$$Q + H = 208{,}35.$$

Nous admettrons qu'au moment où les freins sont serrés, le train a déjà pris une vitesse de $6^m{,}00$ par seconde, par suite

$$\frac{V^2}{2g} = 1.835.$$

$$1 + h = 2.941, \quad \rho = 1.200, \quad \beta = 0{,}107, \quad p - R_1 = 11.$$

on obtiendra :

$$x = \frac{472{,}700}{1.016} = 465^m.$$

c'est-à-dire que le train s'arrêtera sur la pente de 15 millimètres après un parcours de moins de 500 mètres.

Les valeurs correspondantes de F_z et F_1 sont les suivantes :

$$F_z = 10{,}26\,q_z + 360 = 1.026 + 360 = 1.386,$$

$$F_1 = 2.613.$$

On voit que F_z est un peu supérieur à 1.200 et que par suite le dernier frein fonctionnera utilement. Si dans la marche en avant nous avions placé ce frein plus près de la machine, il n'aurait pas concouru à l'arrêt du train dans le cas de rupture d'attelage.

La pression exercée sur le grand levier du premier frein est de 2613 — 1.200 = 1.413, soit sur les bandages de 5.652, pression très-convenable, un peu supérieure à la moitié seulement du poids du wagon, dont les roues continuent par conséquent à tourner.

Nous avons supposé que les cinq wagons placés entre les 4 freins ordinaires et le premier frein automoteur de queue sont des wagons ordinaires. Supposons maintenant qu'un de ces wagons soit un frein automoteur, placé immédiatement à la suite des 4 freins ordinaires; ce dernier frein automoteur, inutile en tant que frein dans la marche ordinaire jouera un rôle important en cas de rupture d'attelage; en calculant en effet les nouvelles valeurs de x, F_2 et F_1 nous trouverons :

$$Q = 40, \quad H = 50\left(\frac{1}{1+4\beta}+\dots\frac{1}{(1+4\beta)^5}\right)+\frac{110}{(1+4\beta)^6} = 113,$$

$$Q + H = 153\,\frac{V^2}{2g}, = 1.835, \quad K = 4.840,$$

$$4\beta\rho = 513{,}6, \quad (1+h) = 3.057, \quad p - R_1 = 11, \quad 4\beta\rho(1+h) = 1.599.$$

On obtient :

$$x = \frac{280.755}{1.558} = 180 \text{ mètres.}$$

$$F_2 = \frac{q_2}{1+4\beta}\,21{,}17 + 360 = q_2.14{,}82 + 360 = 1.990,$$

$$F_1 = 113 \times 21{,}17 + 1.239 = 3.631,$$

L'arrêt sera ainsi beaucoup plus prompt, ce qui est très-important en cas d'accident.

L'effort exercé sur le grand levier du premier frein automoteur sera 3.631 — 1.200 = 2.431. Cet effort reporté sur les bandages pour un levier quatre fois plus court produit une pression de

9.724.

peu différente du poids même du wagon sur les rails.

Ainsi, en introduisant 6 freins automoteurs dans les trains les plus lourds et en les disposant comme nous l'avons indiqué, on sera dans des conditions de sécurité convenables même pour un train de 40 wagons sur les pentes de 15 millimètres.

Nécessité d'une grande résistance en tête du train pour le fonctionnement des freins automoteurs. — Il est à remarquer qu'il est essentiel d'avoir une grande résistance en tête d'un train pour faire fonctionner les freins automoteurs. Il est en effet indispensable que l'on ait

$$K > 4\beta\rho(1+h) + (Q+H)(p-R)$$

sur des pentes de 15 millimètres, cette expression devient :

$$K > 513{,}6.(1+h) + 11(Q+H).$$

Or plus on multiplie les freins automoteurs, plus on augmente la valeur de h : ainsi admettons qu'au lieu de 6 freins il y en ait 12 placés de trois en trois wagons, on aura :

$$1+h = 3{,}296, \quad Q = 40.$$
$$H = 30 \times 2{,}296 = 68{,}88,$$
$$Q + H = 108{,}88.$$

Par suite on doit avoir :

$$K > 1.700 + 1.200 \quad \text{ou} \quad K > 2.900.$$

Pour obtenir avec 12 freins l'arrêt sur une même longueur, que dans le cas précédent où le train n'en contenait que 6, on devrait avoir K = 4.066; or la valeur de K était de 4.840 avec 6 freins : on voit que si l'on diminue la résistance à la tête du train de 774 kilog, soit environ de 1/6 de la valeur primitive, on est conduit à doubler le nombre de freins automoteurs.

Nombre de freins automoteurs pour les wagons de petite vitesse. — Nous trouvons, en définitive, que dans les cas les plus

défavorables, on aura besoin de 6 freins automoteurs pour 40 wagons; soit, en étendant la proportion, à 2.565 wagons de petite vitesse, qui forment notre effectif actuel, 384 wagons à frein automoteur.

Trains de voyageurs. Nombre de freins automoteurs en vue d'une rupture d'attelage. — Pour les trains de voyageurs, la composition maxima autorisée par les règlements est de 24 véhicules. Le poids moyen d'une voiture chargée ou d'un fourgon à bagages ne dépasse pas 8^t.500 dans les trains les plus chargés : nous admettrons que ce poids soit atteint pour tous les véhicules du train que nous considérons.

Disposons la composition (*fig.* 14, Pl. V) de manière à avoir 3 freins ordinaires à la queue du train et 3 freins automoteurs placés : le premier à la suite des 3 freins ordinaires, soit au quatrième rang à partir de la queue; le deuxième au neuvième rang et le troisième au quatorzième rang.

Dans le cas de rupture d'attelage, les 3 freins ordinaires doivent être serrés : supposons que le train ait atteint une vitesse de recul de 6 mètres par seconde pendant le serrage des freins, et cherchons quelle longueur de voie il pourra parcourir sur une pente de 15 millimètres avant de s'arrêter complétement.

Dans l'expression :

$$x = \frac{1.000\,(Q+H)\,\frac{V^2 - V'^2}{2g}}{K - 4\beta\rho(1+h) - (Q+H)\,(p-R)}$$

il y a lieu de faire les substitutions suivantes :

$$Q = 3 \times 8{,}5 = 25{,}5,$$

$$H = 5 \times 8{,}5\left(\frac{1}{1+4\beta} + \frac{1}{(1+\beta)^2}\right) + 11 \times 8{,}5\,\frac{1}{(1+4\beta)^3} = 84{,}5,$$

$$\frac{V^2 - V'^2}{2g} = 1{,}835 \qquad K = \frac{3 \times 8.500}{8} - 4 \times 3 \times 8{,}5 = 3085{,}5,$$

$$(1+h) = 2{,}553, \quad 4\beta\rho(1+h) = 1.311, \quad p - R_1 = 11,$$

$$(Q+H)\,(p-R_1) = 1.210.$$

En remplaçant ces diverses quantités par leur valeur on obtient :

$$x = \frac{201.850}{564{,}5} = 357 \text{ mètres.}$$

c'est-à-dire que le train s'arrêterait, après un parcours de 357 mètres, sur une pente de 15 millimètres.

Nombre de freins automoteurs pour les wagons de grande vitesse. — Ainsi pour les trains de voyageurs les plus lourds, il suffira d'avoir trois freins automoteurs pour 24 véhicules, soit en étendant la proportion à 574 wagons de grande vitesse, effectif actuel, 72 freins automoteurs. On déterminerait facilement le nombre de freins automoteurs nécessaire pour chaque composition de train : on trouverait une proportion d'autant plus faible que la composition serait plus réduite.

Règles à suivre pour la répartition des freins. — Avantages résultant de cette répartition. — On peut admettre comme règle générale que pour les trains de marchandises et pour les trains complets de voyageurs, circulant sur les pentes de 15 millimètres du profil, il faut mettre à la queue des premiers 4 freins ordinaires, à la queue des seconds 3 freins ordinaires, pouvant être serrés dans le cas exceptionnel d'une rupture d'attelage, et à la suite de ces freins ordinaires, 1 frein automoteur par groupe de 5 wagons, excepté pour les 8 wagons de tête qui ne doivent comprendre aucun frein.

La règle à suivre est extrêmement simple en pratique : les wagons qu'on met à la queue sont ceux qui font les longs trajets : si le train est bien composé au départ, il est presque certain qu'il restera bien composé jusqu'à l'extrémité de son parcours : les échanges de wagons à prendre ou à laisser en route ne dépassent guère 7 ou 8 par gare; aucun frein n'est nécessaire dans ce groupe de tête pour des pentes ne dépassant pas 15 millimètres; en supposant du

reste qu'on doive laisser par exemple 14 wagons dans une gare et en prendre 12 autres, il n'y aurait d'autre soin à recommander que de placer un seul frein automoteur vers le dixième rang.

Dans l'emploi habituel des freins automoteurs, c'est vers la tête que l'on doit accumuler le plus grand nombre de freins, ce qui constitue une gêne pour le service du mouvement dans les gares et conduit à multiplier le nombre des wagons chargés d'appareils à frein, afin que dans les échanges de wagons en route, il se rencontre toujours le nombre nécessaire de freins.

Évaluation des économies. — Une machine à six roues, munie d'un tube d'inversion, fonctionne régulièrement depuis le 22 mars entre Avila et Madrid et aucune des indications théoriques énoncées dans le présent rapport ne s'est trouvée en défaut.

Bien qu'il convienne d'attendre les résultats d'une expérience plus prolongée pour évaluer avec une exactitude suffisante les conséquences économiques de l'application générale du tube d'inversion à toutes nos machines, les aperçus ci-après ne manquent pas d'intérêt.

1° *Économie de gardes-freins.*

1° *Gardes-freins.* — Pendant l'exercice 1865, la dépense des agents des trains a été la suivante :

		réaux.
Conducteurs et gardes-freins	Exploitation	740.294,35
	Services divers	33.064,04
Frais de déplacements, primes, etc.	Exploitation	144.919,87
	Services divers	10.585,00
		928.863,24

La part afférente aux gardes-freins a été de 633.000 réaux.

Dans les conditions actuelles, trois agents par train sont chargés de la surveillance en route et de la comptabilité, en

même temps que du fonctionnement des freins : les autres agents n'ont pas d'autre occupation que de serrer ou desserrer les freins d'après les signaux d'appel du mécanicien. La suppression de ces derniers agents, au nombre de quarante, peut être immédiate et conduit à une économie de 201.920 réaux.

Les trois agents conservés par train n'ayant plus à s'occuper des freins, si ce n'est en cas de rupture d'attelage, auront un service relativement facile et peu fatigant ; ils pourront le remplir avec une plus grande régularité : c'est là une source d'économies qu'il serait difficile d'évaluer en chiffre, mais si l'expérience faisait reconnaître que, pour les trains de voyageurs peu chargés et pour les trains de marchandises, une régularité et une surveillance suffisantes peuvent être obtenues avec deux agents au lieu de trois, l'on pourrait supprimer quarante agents de plus et on réaliserait une nouvelle économie de 201.920 réaux.

Je n'inscrirai que la moitié de cette somme, c'est-à-dire 100.960 réaux, comme économie probable, soit qu'elle résulte d'une amélioration dans le service, soit qu'elle résulte d'une réduction dans le personnel.

2° *Usure moindre des rails.*

Matériel de la voie. — Comme nous l'avons indiqué, la durée des rails est considérablement réduite dans les parties de voie soumises fréquemment au frottement de glissement, soit aux abords des gares, soit sur les pentes supérieures à 9 millimètres, c'est-à-dire pour le chemin de fer du nord de l'Espagne, sur une longueur totale d'environ 240 kilomètres. La durée des rails ne dépassera guère dix ans : la dépense annuelle de remplacement peut être évaluée à 2.880 réaux par kilomètre.

Supposons que la durée se prolonge jusqu'à quatorze ans par suite de la suppression presque complète du frottement

de glissement, la dépense de remplacement sera réduite à 2.057 réaux ; il en résultera une économie de 823 réaux par kilomètre, soit pour la longueur de 240 kilomètres :

$$240 \times 833 = 197{,}520 \text{ réaux.}$$

3° Usure moindre des bandages.

3° *Bandages des wagons et des tenders.* — Le parcours de wagons munis de freins a été pendant l'année 1865 de 12.167.000 kilomètres.

La durée moyenne d'un bandage de wagon ordinaire correspond à 230.000 kilomètres, et celui d'un bandage d'un wagon à frein à 140.000 kilomètres seulement. Le parcours de 12.167.000 kilomètres, dans les conditions où il a eu lieu, correspond par suite à l'usure de quatre-vingt-sept garnitures de quatre bandages ; cette usure aurait été réduite à cinquante-trois, si les roues avaient constamment roulé au lieu de glisser sur les rails : la différence du nombre de bandages usés soit :

$$(87 - 53)\ 4 = 136 \text{ bandages}$$

correspond à une dépense de

$$136 \times 350 = 47.600 \text{ réaux.}$$

Les bandages de tender font des parcours moyens de 120.000 kilomètres. L'influence du frottement de glissement atteint des proportions énormes, lorsque les tenders sont spécialement affectés aux trains de marchandises sur les fortes rampes : ainsi pour le dépôt de Madrid, les bandages des tenders accouplés aux machines à huit roues ont des parcours réduits à 60.000 kilomètres.

Il n'y a rien d'exagéré à admettre que les bandages de tenders dureront au moins autant que ceux des wagons, lorsque ces bandages ne seront plus soumis qu'à un frottement de roulement.

Le parcours des tenders pendant l'année 1865, a été de

2.698.769 kilomètres.

Ce parcours correspond à l'usure complète de vingt-deux garnitures de quatre bandages : si l'on n'avait pas fait usage des freins, l'usure n'aurait été que de douze garnitures. La différences du nombre de bandages usés :

$$(22 - 12)\ 4 = 40 \text{ bandages}$$

correspond à une dépense de

$$40 \times 800 = 32.000 \text{ réaux.}$$

L'emploi des freins à vis produit sur les bandages des facettes planes : le cercle de roulement est remplacé par un polygone à petits côtés, dont le développement sur les rails est accompagné d'une sorte de martelage également nuisible à la voie et au matériel. Ce martelage explique en partie le grand nombre de ruptures que nous remarquons aux feuilles de ressorts de suspension des tenders du dépôt de Madrid. Mais à défaut d'éléments précis pour évaluer l'influence que peut avoir sur l'usure du matériel le roulement saccadé de roues non circulaires, nous signalons seulement pour mémoire cette influence qui est certainement à prendre en considération.

4° Économies de sabots de frein.

4° *Sabots de freins.* — L'usure des sabots de freins, tant pour les tenders que pour les wagons à frein ordinaire, sera réduite à peu près à néant ; il y aurait toutefois à tenir compte de l'usure des sabots en fonte des freins automoteurs, qui compensera en partie l'économie des sabots en bois des wagons.

La dépense faite pour la fourniture et la pose des sabots

de frein a été pendant l'année 1865 de 18.000 réaux pour les tenders et de 40.000 réaux environ pour les wagons. Le nombre de sabots usés a été de 20.500.

L'économie probable par an peut être évaluée à la moitié de la dépense de l'année 1865, soit 29.000 réaux.

5° *Économies de combustibles.*

5° *Combustibles.* — Cette économie est remarquable en ce sens qu'elle correspond à la chaleur produite utilement par le travail résistant qui, précédemment, était absorbé par les frottements et employé en quelque sorte à user le matériel. En l'évaluant seulement à 1 kilog. par kilomètre à la descente des grandes pentes, et en négligeant le gain qui correspond à la transformation en chaleur de la puissance vive du train à proximité des gares (*), l'économie de combustible serait de 360 tonnes par an, en comptant sur un parcours total de 2.400.000 kilomètres, sur lesquels 360.000 kilomètres correspondent à la descente des trains sur les grandes pentes, Le prix moyen du combustible est de 160 réaux, l'économie correspondante peut être évaluée à :

$$160 \times 360 = 57.600 \text{ réaux.}$$

La réunion de toutes les économies qui précèdent donne un chiffre total de 657.000 réaux, savoir :

(*) Dans les trains de banlieue, sur des lignes à circulation très-active, où il importe d'obtenir des arrêts brusques dans les gares pour gagner du temps en marche, il y aurait une économie notable de combustible due à cette transformation de puissance vive en chaleur.

Suppression immédiate de 40 gardes-freins.	201.920	
Suppression complémentaire de personnel ou amélioration dans le service.	100.960	
Matériel de la voie.	197.520	
Bandages de wagons.	47.600	70.000 (*)
Bandages de tenders.	22.400	
Sabots de freins.	29.000	
Combustibles.	57.000	
Total.	657.000	

L'appareil qui permet d'obtenir tous les résultats que nous avons examinés est aussi simple que peu coûteux.

Ainsi que le font voir les croquis annexés, nous avons utilisé, pour faire la prise de vapeur, le robinet réchauffeur de droite : nos machines portent deux robinets de cette espèce, un seul suffit. La chaudière est alimentée à l'aide d'injecteurs Giffard. Ces appareils ne fonctionnent pas si on élève trop la température de l'eau du tender; c'est pour ce motif que les deux robinets réchauffeurs ne sont jamais ouverts simultanément.

Le tube d'inversion se replie sur le devant de la chaudière, passe sous le manomètre, se relève ensuite pour passer derrière le levier au-dessus de la barre de transmission de changement de marche, se bifurque sous la chaudière et se termine de part et d'autre aux conduits en fonte de l'échappement. Les extrémités des branches de bifurcation sont fixées sur la face inférieure de ces conduits en fonte, par des brides à trois trous, dont le centre est à 120 millimètres du plan intérieur du longeron (*fig.* 1, 2, 3, 4, Pl. VI).

(*) La diminution de dépense prévue pour les bandages repose sur des données d'expérience fournies par la statistique. Si l'on considère que les bandages en glissant sur les rails jouent par rapport à ceux-ci le rôle d'une lime ou d'un marteau par rapport à une matière de qualité inférieure, on trouvera peut-être trop faible l'évaluation de l'usure de la voie (197.520^{f}) occasionnée par une usure de bandages évaluée à 70.000^{f}.

Un petit filet d'eau, prélevé également sur le devant de la chaudière à l'aide d'un robinet spécial, est injecté dans le tube d'inversion sous un angle très-aigu. De petits cadrans gradués indiquent les poids d'eau et de vapeur écoulés pour diverses ouvertures des robinets.

La dépense d'installation peut être évaluée comme suit :

Poids du tube d'inversion 30 kilog. à 10 réaux. . .	300
Robinet de prise d'eau.	20
Tube de la prise d'eau.	10
Cadrans indicateurs des poids d'eau et de vapeur écoulés.	15
Main-d'œuvre de façon et pose.	150
Frais généraux (70 p. 100 de la main-d'œuvre. . .	105
Total.	600 réaux

Soit 158 francs.

RÉSUMÉ.

Nous allons résumer, en quelques mots, le long rapport qui précède.

L'emploi des freins ordinaires pour ralentir la vitesse des trains sur les grandes pentes occasionne une grande dépense de personnel, une usure rapide du matériel et ne présente pas, au point de vue de la sécurité, toutes les garanties désirables.

Deux motifs ont empêché jusqu'à présent de prendre la résistance sur la machine en battant contre-vapeur :

1° La pression monte trop rapidement dans la chaudière ;

2° La température s'élève dans les cylindres et les tiroirs au point de brûler les garnitures et de faire gripper les pièces frottantes.

Le premier inconvénient disparaît en remplaçant les gaz aspirés par de la vapeur, prise sur la chaudière elle-même ; et le deuxième en injectant dans cette vapeur le poids d'eau nécessaire pour maintenir la vapeur saturée et l'empêcher de se surchauffer.

Des épures et des calculs déterminent les poids de vapeur et d'eau à prendre sur la chaudière, et font voir en même temps que les conduits de l'échappement forment un réservoir suffisant pour compenser les inégalités qui existent entre la vitesse d'aspiration variable des cylindres et la vitesse d'écoulement uniforme par le tube d'inversion, qui établit la communication entre la chaudière et les conduits de l'échappement.

La vapeur et l'eau écoulées parcourent un circuit fermé et reviennent à leur point de départ, en introduisant dans la chaudière des quantités de chaleur équivalentes au travail résistant opposé par les pistons. Cette chaleur, pour les crans les plus élevés, est plus que suffisante pour compenser les pertes dues au rayonnement, au contact de l'air, aux fuites, etc.; de sorte que sans aucune consommation de combustible, la chaudière se maintient en pression et en température.

La puissance de résistance que la machine développe atteint la limite de l'adhérence.

La substitution du frottement de roulement au frottement de glissement présente des avantages incontestables au point de vue de la conservation de la voie et du matériel. La stabilité du train sur la voie est peu modifiée par cette circonstance que la résistance à l'accélération est entièrement prise sur la tête du train au lieu d'être répartie sur plusieurs groupes de wagons, comme cela a lieu avec des freins ordinaires. La machine a ses roues d'avant mieux appuyées sur les rails, et pour le reste du train, la force centrifuge est légèrement augmentée dans le passage des courbes.

Une étude des freins automoteurs démontre qu'il suffit de placer convenablement 5 freins automoteurs dans un train de marchandises composé de 40 wagons chargés, et remorqué par une machine à 8 roues couplées, pour pouvoir régler la vitesse sur des pentes de 15 millimètres. Il résulte de la même étude, qu'en prévision des ruptures d'attelage,

il convient d'élever à six le nombre des freins automoteurs par train de 40 wagons; dans un train de voyageurs comprenant 24 véhicules, 3 freins automoteurs suffiraient; il faudrait placer à la queue du train 4 freins ordinaires dans le premier cas, et 3 dans le deuxième : ces freins ne devant être manœuvrés que dans le cas de rupture d'attelage. Pour notre effectif actuel qui se compose de 2.563 wagons de petite vitesse et de 574 wagons de grande vitesse, il suffit qu'il y ait : $584 + 72 = 456$ freins automoteurs, soit 500 en nombre rond.

Un premier aperçu des économies qui pourront résulter d'une réduction sur le personnel du mouvement, d'une prolongation de durée du matériel de la voie, d'une usure moindre des bandages et des sabots de frein et enfin d'une consommation moindre de combustible, donne pour notre ligne, un total annuel de 657.000 réaux, soit 173.000 fr.

La dépense à faire pour munir nos 180 machines d'un tube d'inversion sera de $600 \times 180 = 108.000$ réaux, soit 28.421 francs.

Cette dépense correspond à peu près aux économies qui pourront être réalisées en deux mois, si l'expérience faite sur une plus grande échelle continue à confirmer les résultats obtenus depuis un mois avec une machine à 6 roues couplées fonctionnant régulièrement dans le Guadarrama.

Madrid, le 24 avril 1866.

NOTE A.

Nous donnons ici les extraits essentiels, en même temps que les dates des divers résultats obtenus; on y verra toutes les idées qui se sont fait jour et la marche des expériences jusqu'à la solution définitive.

Lettre du 18 juillet 1865, demandant que l'on procédât à des essais. — Après un préambule sur la contre-vapeur et les essais faits sur l'Ouest français, M. Le Chatelier disait qu'on n'avait jamais bien défini les conséquences et les inconvénients de la contre-vapeur, et que c'était certainement un préjugé qui la faisait redouter si généralement; il ajoutait qu'il était regrettable que les ingénieurs ne se fussent pas appliqués à constater la cause de ces inconvénients et à y remédier, et il posait ainsi le programme des expériences :

« *Une solution consisterait à mettre sur le tuyau de prise de vapeur, entre les cylindres et le régulateur, au point qui sera le plus convenable, un petit ajutage fermé par un robinet, ou mieux par un tiroir manœuvré par une vis au moyen d'une tringle à la main du mécanicien.*

« *Lorsqu'il s'agira de modérer la marche à la descente, la manœuvre pourra se faire très-simplement, le régulateur étant fermé et tenu fermé par la pression intérieure de la chaudière qui est de 7 à 8 atmosphères, le levier de changement de marche étant au point mort, le mécanicien ouvrira en grand son robinet d'évacuation de l'air comprimé, puis mettra le levier de changement de marche en arrière au point le plus convenable, et fermera graduellement le robinet d'évacuation de l'air, de manière à créer en arrière des pistons une résistance de 1/2, 1, 2 atmosphères, suivant ce qu'exigera l'état du chemin ou du train.*

« *S'il faut arrêter brusquement, le mécanicien fermera l'évacuation et on se retrouvera dans les conditions ordinaires du renversement de la vapeur.*

« *L'inconvénient que peut présenter une disposition de ce genre sera sans doute de puiser indéfiniment de l'air chaud et chargé de cendres dans la boîte à fumée pour le faire passer dans les cylindres, ce qui les échaufferait.*

« *Pour éviter cet inconvénient de l'échauffement des cylindres par l'air chaud de la boîte à fumée, il faudra ouvrir très-largement et peut-être augmenter le registre de rentrée d'air, et arrêter par tous les moyens possibles la combustion dans le foyer.*

« *Peut-être même faudrait-il arriver à une combinaison qui fasse entrer à la base du tuyau d'échappement, de l'air frais ou de la vapeur venant de la chaudière, etc... Mais tout cela sera à voir plus tard.*

« *Pour le moment, il faut voir s'il y a quelque chose à obtenir du robinet de décharge de l'air refoulé..., sauf à rechercher plus tard les améliorations à apporter.* »

Le 14 septembre 1865, il était rendu compte à M. Lechatelier, des premières expériences faites sur sa demande et qui avaient réussi, quant à la modération de la marche des trains, mais avaient donné lieu à l'échauffement des cylindres et des tiroirs et à la détérioration des garnitures des presse-étoupes.

On annonçait dans cette lettre qu'on allait entreprendre d'autres expériences, en ayant recours à un filet de vapeur qui, introduit avec l'air dans les cylindres, les lubrifierait et éviterait le grippement des pièces.

M. Lechatelier écrivait, le 19 septembre 1865 :

« *Il faudrait faire arriver à la base du tuyau d'échappement un tuyau fermé par un robinet à la main du mécanicien, de petit diamètre, dans lequel la vapeur, étranglée à la sortie de la chaudière, se dilatera, se refroidira et se condensera en partie.*

« *Les pistons, en aspirant pour refouler ensuite, trouveront dans le tuyau d'échappement un mélange d'air et de vapeur humide qui probablement ne fera plus gripper les pièces.*

« *La quantité de vapeur pourrait même être telle que l'air n'entrât plus dans les cylindres et qu'il y eût constamment un échappement de vapeur par la cheminée : ce serait une sorte de machine à vapeur inverse.*

« *Mais il est probable que la solution pratique est dans un mélange auquel les mécaniciens se feront promptement la main.*

« *Il serait difficile de faire rentrer de l'air frais; il faudrait pour cela avoir un registre au bas de chacune des branches du tuyau d'échappement; ces registres fermeraient habituellement mal et le tirage pourrait se trouver sérieusement gêné. D'ailleurs la compression de l'air frais déterminerait toujours une forte élévation de température dans les cylindres.*

« *Au lieu de vapeur, on pourrait peut-être lancer un petit jet d'eau qui, en frappant la paroi du tuyau d'échappement se pulvériserait; il faudrait que cette eau fût très-propre, et ce serait une complication que de la prendre dans le tender.*

En résumé, c'est une question à travailler et qui est en bonne voie. »

Une lettre du 17 février 1866, faisait connaître à M. Lechatelier les résultats de cette deuxième série d'expériences, qui avait été plus favorable que la première, mais pas tout à fait satisfaisante. On y signalait notamment les dépenses de combustible et de graissage.

M. Lechatelier répondait, le 21 février 1866 :

« *Je crois vous avoir indiqué, dans ma correspondance antérieure, que c'était de l'eau ou de la vapeur qu'il faudrait prendre dans la chaudière pour rafraîchir les cylindres. Je crois qu'un petit filet d'eau projeté par la pression avec violence, et venant frapper une surface opposée, produirait une sorte de brouillard aqueux qui serait plus efficace que la vapeur et qui économiserait la graisse et le combustible.*

« *En tous cas, je ne crois pas que le chiffre de 45 réaux que vous indiquez pour les dépenses soit un obstacle à l'application; c'est, en résumé, 0f10 à 0f15 par kilomètre à dépenser. Il reste à voir si la dépense d'entretien des bandages, lorsqu'on descend avec les freins, n'est pas plus importante que celle des consommations de la machine.* »

La nouvelle série d'expériences qui suivit cette lettre conduisit à la solution définitive; le 27 février 1866, nous écrivions à M. Des Orgeries, directeur de la compagnie, que nous remplacions le petit jet de vapeur par un plus abondant en faisant rentrer dans la chaudière une grande partie de la vapeur.

La lettre annonçait que l'installation serait peu coûteuse et ne donnerait lieu à aucune dépense supplémentaire de charbon ou d'huile.

Le 3 mars, en accusant réception de cette lettre qui lui avait été communiquée, M. Lechatelier rappelait encore ses indications précédentes en ces termes :

« *M. Ricour m'avait signalé l'inconvénient de l'introduction de l'air sec dans les cylindres qui produisait très-rapidement le grippement. Je lui avais alors conseillé de saturer l'air d'humidité par un jet d'eau dans le tuyau d'échappement par lequel se fait la rentrée d'air dans la marche à contre-vapeur.* »

Le 8 mars, nous rendions compte des premières expériences dans le sens qui avait été indiqué par notre lettre du 27 février. Nous disions :

« La prise de vapeur se fait sur la boîte du régulateur, à l'aide « d'un robinet que le mécanicien manœuvre avec une tringle de « transmission, de la même manière que le robinet du souffleur. « La vapeur s'échappe dans un tuyau qui contourne la chaudière

« et aboutit à la base du tuyau d'échappement. L'appel des cylin-
« dres se fait ainsi dans la chaudière elle-même dès que le robinet
« est suffisamment ouvert, le levier de changement de marche se
« trouvant, selon la résistance qu'on veut obtenir au troisième, au
« quatrième ou au cinquième cran de la marche en arrière. Le ré-
« gulateur est ouvert en grand et la vapeur est refoulée dans la
« chaudière, de sorte qu'il s'établit un véritable circuit fermé ra-
« menant la vapeur à son point de départ.

« Dans le parcours de ce circuit la vapeur absorbe, en réalité,
« tout le travail qui correspond à la compression qu'elle subit dans
« les cylindres. de sorte qu'elle revient au point de départ à une
« température plus élevée : la tension de la vapeur dans la chau-
« dière croît donc en s'élevant, à peu près comme cela se produit,
« avec une rapidité plus grande, lorsqu'on aspire de l'air sec par
« les cylindres. — Mais on peut éviter facilement cet inconvénient
« en faisant sortir de la chaudière plus de vapeur que les cylindres
« n'en peuvent aspirer ; dans ces conditions il arriverait incessam-
« ment dans le tuyau d'échappement un petit excès de vapeur s'é-
« coulant dans la cheminée, il n'y aurait plus aucun appel d'air, la
« tension dans la chaudière étant d'ailleurs maintenue constante
« par une manœuvre convenable du robinet de prise de vapeur. »

Dans un premier essai, ce robinet, qui n'était autre qu'un robinet de soufflleur et le tuyau à la suite, présentait une section trop faible, les cylindres aspiraient un mélange de vapeur et d'air, et la pression dans la chaudière s'élevait rapidement.

Nous annoncions enfin de nouvelles expériences avec un tube de prise de vapeur de $0^{m}.045$ de diamètre.

Le 17 mars, nous avions procédé à de nouvelles expériences dont nous rendions compte le 20. — Cette fois, il ne rentrait plus d'air dans la chaudière; la chaleur, développée par la contre-pression, entretenait la tension dans la chaudière sans aucune dépense de combustible, et surchauffait encore les cylindres dont les garnitures ont été brûlées sans qu'aucune pièce ait grippé. La lettre portait après cet exposé :

« Je modifie un peu l'installation primitive de manière à la sim-
« plifier encore et à injecter dans le tuyau d'échappement de la va-
« peur très-humide. J'utilise l'un des robinets réchauffeurs pour
« la prise de vapeur, de sorte que je n'ai plus aucun robinet nou-
« veau à mettre sur la chaudière. »

Enfin, le 26 mars 1866, nous rendions compte des expériences définitives comme suit :

« Le 22 et le 24 mars, les trains n^os^ 2 et 5 ont été faits entre Avila

« et Madrid et inversement sans qu'aucun frein ait été serré : le
« mécanicien a ralenti sa marche, s'est arrêté dans les gares, a con-
« duit en un mot son train exactement comme il l'a voulu, aucune
« pièce de la machine n'a chauffé, aucune garniture n'a fui ; les
« boîtes des tiroirs et les tiges n'étaient pas plus chaudes lorsque la
« marche des tiroirs était renversée que lorsqu'elle était directe.

« La prise de vapeur est faite au robinet réchauffeur de droite.
« Le tuyau réchauffeur est remplacé par un tube de plus gros dia-
« mètre qui se replie le long de la chaudière et se bifurque sous
« la boîte à fumée. Chaque branche se termine par un joint placé
« sur la face inférieure des conduits en fonte qui partent des cy-
« lindres et se réunissent dans la culotte d'échappement. Les joints
« sont placés près des cylindres et j'obtiens par ce moyen la plus
« grande réserve possible de vapeur dans les conduits de l'échap-
« pement. Cette réserve est utile pour couvrir les inégalités qui
« existent entre les volumes variables aspirés par les cylindres et
« le volume qui s'écoule de la chaudière avec une vitesse uniforme.

« Pour empêcher la température de s'élever dans les cylindres
« au moment où la vapeur de la chaudière est admise directement
« dans ceux-ci et vient comprimer brusquement la vapeur aspirée,
« il est nécessaire que cette dernière vapeur soit chargée d'eau.
« La chaleur, due au travail de compression, est employée à vapo-
« riser l'eau entraînée. Il faut injecter dans ce but 10 à 15 grammes
« d'eau par cylindrée.

« Pour remplir cette condition, il m'a suffi de faire déboucher,
« dans mon gros tube de prise de vapeur, le petit tube qui sert à
« purger le niveau d'eau, la section est juste suffisante pour écou-
« ler l'eau nécessaire. Le mécanicien a ainsi sous la main les deux
« robinets qu'il doit commencer par ouvrir dès qu'il veut renver-
« ser la marche. Selon le cran où il place le levier, il ouvre plus ou
« moins le robinet réchauffeur, de manière à ne pas perdre un trop
« grand excès de vapeur. Lorsque la perte est faible, on voit la pres-
« sion s'élever dans la chaudière, ainsi que j'ai eu déjà l'honneur
« de le faire observer. »

Le problème était alors complétement résolu, comme l'expose le mémoire.

SOLUTION DE DIVERS PROBLÈMES DE MÉCANIQUE

DANS LESQUELS LES CONDITIONS IMPOSÉES AUX EXTRÉMITÉS DES CORPS, AU LIEU D'ÊTRE INVARIABLES, SONT DES FONCTIONS DONNÉES DU TEMPS, ET OU L'ON TIENT COMPTE DE L'INERTIE DE TOUTES LES PARTIES DU SYSTÈME.

Par M. PHILLIPS, ingénieur des mines.

J'ai traité ces problèmes par deux procédés. L'un d'eux est appliqué dans le premier chapitre et l'autre dans le second.

CHAPITRE PREMIER.

PROBLÈME I.

Déterminer le mouvement moléculaire de toutes les parties d'une tige, dont une extrémité reçoit un mouvement donné, l'autre étant libre, et où chaque point se meut parallèlement à l'axe de cette tige.

Soit x la distance d'une tranche quelconque de cette tige à un point fixe pris sur l'axe, dans l'état de repos de celle-ci, quand elle n'est soumise à aucune force, et soit u ce qu'est devenu x dans le mouvement, au bout du temps t. L'allongement proportionnel est $\frac{du}{dx} - 1$.

Soient E le coefficient d'élasticité et ϖ le poids de l'unité de volume de la substance. L'équation aux différences partielles est

$$\frac{d^2u}{dt^2} = \frac{Eg}{\varpi}\frac{d^2u}{dx^2} \tag{1}$$

ou

$$\frac{d^2u}{dt^2} = k^2 \frac{d^2u}{dx^2}, \tag{2}$$

en faisant

$$\frac{Eg}{\varpi} = k^2. \tag{3}$$

L'intégrale générale de l'équation (2) est

$$u = f(x + kt) + F(x - kt), \tag{4}$$

f et F désignant deux fonctions arbitraires.

Il s'agit de déterminer directement les deux fonctions qui entrent dans la valeur de u. Je les désigne d'une manière générale par $f(\zeta)$ et $F(\zeta)$, et elles ont besoin d'être connues : 1° $f(\zeta)$ de $\zeta = 0$ à $\zeta = +\infty$, et 2° $F(\zeta)$ de $\zeta = l$ à $\zeta = -\infty$.

On a d'abord ces deux fonctions de $\zeta = 0$ à $\zeta = +l$, d'après l'état initial, et on les obtient ensuite pour toutes les autres valeurs de la variable, d'après les conditions assignées pour les extrémités.

L'état initial est donné de telle façon que, pour $t = 0$, on ait

$$u = \varphi(x) \tag{5}$$

et

$$\frac{du}{dt} = \psi(x). \tag{6}$$

Il faut donc qu'on ait, à cause de l'équation (4),

$$f(x) + F(x) = \varphi(x) \tag{7}$$

et

$$kf'(x) - kF'(x) = \psi(x)$$

ou, en intégrant cette dernière relation,

$$f(x) - F(x) = \frac{1}{k} \Psi(x), \tag{8}$$

en désignant par $\Psi(x)$ l'intégrale $\int \psi(x)\, dx$.

Il est inutile de tenir compte de la constante de cette intégrale, car elle disparaîtrait dans la valeur (4) de u.

On a donc

$$\Psi(x) = \int \psi(x)\, dx. \tag{9}$$

On déduit des équations (7) et (8)

$$f(x) = \frac{1}{2} \varphi(x) + \frac{1}{2k} \Psi(x) \tag{10}$$

et

$$F(x) = \frac{1}{2} \varphi(x) - \frac{1}{2k} \Psi(x), \tag{11}$$

ou, en désignant d'une manière générale par ζ la variable, on a

$$f(\zeta) = \frac{1}{2} \varphi(\zeta) + \frac{1}{2k} \Psi(\zeta), \tag{12}$$

$$F(\zeta) = \frac{1}{2} \varphi(\zeta) - \frac{1}{2k} \Psi(\zeta). \tag{13}$$

Comme $\varphi(\zeta)$ et $\psi(\zeta)$ et par suite $\varphi(\zeta)$ et $\Psi(\zeta)$ sont données pour toutes les valeurs positives de la variable comprises entre 0 et l, il en résulte que $f(\zeta)$ et $F(\zeta)$ sont connues pour toutes les valeurs positives de la variable comprises entre 0 et l. Il reste à trouver ce qu'est $f(\zeta)$ de $\zeta = l$ à $\zeta = +\infty$, et ce qu'est $F(\zeta)$ de $\zeta = 0$ à $\zeta = -\infty$.

La suite des opérations dépend des conditions imposées aux extrémités.

Supposons donc que le mouvement imprimé à l'origine de la tige, répondant à $x = 0$, soit représenté par l'équation

$$u = \xi_0(t), \tag{14}$$

$\xi_0(t)$ étant une fonction donnée du temps. L'autre extrémité de la tige étant entièrement libre, on a

$$\frac{du}{dx} - 1 = 0 \quad \text{pour} \quad x = l. \tag{15}$$

Pour que l'équation (4) satisfasse à ces conditions, il faut qu'on ait, quel que soit t,

$$f(kt)+\mathrm{F}(-kt)=\xi_0(t)$$

et

$$f'(l+kt)+\mathrm{F}'(l-kt)=1$$

ou, en faisant

$$kt=\zeta,\tag{16}$$

$$f(\zeta)+\mathrm{F}(-\zeta)=\xi_0\left(\frac{\zeta}{k}\right)$$

et

$$f'(l+\zeta)+\mathrm{F}'(l-\zeta)=1,$$

f' (?) et F' (?) désignent les dérivées des fonctions correspondantes.

On peut en intégrant remplacer cette dernière équation par

$$f(l+\zeta)-\mathrm{F}(l-\zeta)=\zeta+\mathrm{C}.$$

Pour déterminer la constante C, il suffit de faire $\zeta=0$, et l'on a

$$\mathrm{C}=f(l)-\mathrm{F}(l),$$

ou, à cause de l'équation (8),

$$\mathrm{C}=\frac{1}{k}\Psi(l).$$

On doit donc avoir définitivement, quel que soit ζ,

$$f(\zeta)+\mathrm{F}(-\zeta)=\xi_0\left(\frac{\zeta}{k}\right)\tag{17}$$

et

$$f(l+\zeta)-\mathrm{F}(l-\zeta)=\zeta+\frac{1}{k}\Psi(l).\tag{18}$$

Tout résulte maintenant de ces deux dernières équations.

En effet, comme F (ζ) est connue de $\zeta=0$ à $\zeta=l$, il en

est de même de F $(l-\zeta)$. Donc l'équation (18) fera connaître $f(l+\zeta)$ de $\zeta=0$ à $\zeta=l$, ou, ce qui revient au même, $f(\zeta)$ de $\zeta=l$ à $\zeta=2l$.

Remplaçons maintenant dans l'équation (18) ζ par $l+\zeta$ et nous aurons

$$f(2l+\zeta)=\mathrm{F}(-\zeta)+l+\zeta+\frac{1}{k}\Psi(l)$$

ou, à cause de l'équation (17),

$$f(2l+\zeta)=-f(\zeta)+l+\zeta+\xi_0\left(\frac{\zeta}{k}\right)+\frac{1}{k}\Psi(l).\tag{19}$$

Cette formule permet, quand on connaît $f(\zeta)$, d'obtenir $f(2l+\zeta)$ et par suite on déterminera successivement $f(\zeta)$ pour toutes les valeurs de ζ de 0 à $+\infty$.

Reste à connaître F (ζ) de $\zeta=0$ à $\zeta=-\infty$, ou, ce qui revient au même, F $(-\zeta)$ de $\zeta=0$ à $\zeta=+\infty$.

Or on a de suite, par l'équation (17),

$$\mathrm{F}(-\zeta)=-f(\zeta)+\xi_0\left(\frac{\zeta}{k}\right),\tag{20}$$

ce qui résout la question.

Cas d'un mouvement uniformément varié pour l'origine de la tige.

Je vais donner un exemple de ces calculs. Je suppose que le corps parte de sa position naturelle, chacune de ses parties étant alors en équilibre et sans vitesse initiale. J'admets de plus que l'on compte les u à partir de l'origine de la tige supposée en repos. On a alors

$$\varphi(x)=x,\quad \psi(x)=0\quad\text{et}\quad \Psi(x)=0$$

ou

$$[\varphi(\zeta)=\zeta,\quad \Psi(\zeta)=0].\tag{21}$$

Admettons que le mouvement donné qui est imposé à l'origine de la tige soit uniformément varié, de sorte que

$$\xi_0(t) = \frac{1}{2}\gamma t^2$$

ou

$$\xi_0\left(\frac{\zeta}{k}\right) = \frac{\gamma\zeta^2}{2k^2}. \tag{22}$$

Convenons de désigner par $f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ et $F(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ ce que sont ces fonctions pour toutes les valeurs de la variable, de o à l inclusivement. On aura, par les équations (12) et (13),

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta \tag{23}$$

et

$$F(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta. \tag{24}$$

Remplaçant dans l'équation (18), $F(l-\zeta)$ par sa valeur connue $\frac{1}{2}(l-\zeta)$, on en tire, en conservant le genre de notation ci-dessus et observant que $\Psi(l) = 0$,

$$f(l+\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + \frac{1}{2}l.$$

En faisant dans cette formule

$$l+\zeta = \zeta' \quad \text{ou} \quad \zeta = \zeta' - l,$$

on a donc

$$f(\zeta')\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta'$$

ou, d'une manière générale,

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta.$$

Comme cette formule coïncide avec l'équation (23), on peut écrire en général

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\2l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta. \tag{25}$$

Pour trouver les valeurs suivantes de $f(\zeta)$, remplaçons dans l'équation (19) $\zeta+2l$ par ζ, ou ζ par $\zeta-2l$, et nous aurons, dans le cas actuel, pour tout entier i,

$$\begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix} = -f(\zeta-2l)\begin{pmatrix}2il-2l\\2il\end{pmatrix} + \zeta - l. \\ \qquad\qquad + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2. \end{cases} \tag{26}$$

Cela veut dire qu'après avoir déterminé $f(\zeta)$ pour toutes les valeurs de la variable depuis $(2i-2)\,l$ jusqu'à $2il$, on y remplacera ζ par $\zeta-2l$, et substituant dans le second membre de l'équation (26), on aura $f(\zeta)$ depuis $\zeta = 2il$ jusqu'à $\zeta = (2i+2)\,l$.

On a ainsi

$$\begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\4l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2, \\ f(\zeta)\begin{pmatrix}4l\\6l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2 - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-4l)^2, \\ f(\zeta)\begin{pmatrix}6l\\8l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2 - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-4l)^2, \\ \qquad + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-6l)^2, \\ f(\zeta)\begin{pmatrix}8l\\10l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2 - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-4l)^2 \\ \qquad + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-6l)^2 - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-8l)^2. \end{cases} \tag{27}$$

La loi est visible et elle se continue indéfiniment.

On remarque que pour la valeur de ζ, qui sert à passer d'une fonction à la suivante, ces deux fonctions et leurs premières dérivées ont, ainsi que cela devait être, la même valeur. La même chose se vérifie pour F (ζ).

Il reste à déterminer F (ζ) de $\zeta = 0$ à $\zeta = -\infty$ ou, ce qui revient au même, F $(-\zeta)$ de $\zeta = 0$ à $\zeta = +\infty$.

Or on déduit immédiatement des valeurs de l'équation (17) et des valeurs ci-dessus de f (ζ)

$$
(28)\quad \left\{\begin{aligned}
&\mathrm{F}(-\zeta)\binom{0}{2l} = -\frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma\zeta^2}{2k^2},\\
&\mathrm{F}(-\zeta)\binom{2l}{4l} = -\frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma\zeta^2}{2k^2} - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2,\\
&\mathrm{F}(-\zeta)\binom{4l}{6l} = -\frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma\zeta^2}{2k^2} - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2 + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-4l)^2,\\
&\mathrm{F}(-\zeta)\binom{6l}{8l} = -\frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma\zeta^2}{2k^2} - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2 + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-4l)^2\\
&\qquad\qquad - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-6l)^2,\\
&\mathrm{F}(-\zeta)\binom{8l}{10l} = -\frac{1}{2}\zeta + \frac{\gamma\zeta^2}{2k^2} - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-2l)^2 + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-4l)^2\\
&\qquad\qquad - \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-6l) + \frac{\gamma}{2k^2}(\zeta-8l)^2.
\end{aligned}\right.
$$

et ainsi de suite.

Il est maintenant facile de former pour un point quelconque la valeur de u.

Supposons d'abord $kt < x$, ce qui n'aura lieu que pendant un temps extrêmement petit, car k est très-grand. Alors comme $x \leqq l$, il résulte que $x + kt$ est compris entre o et $2l$ et que $x - kt$ est compris entre o et l. Il faut donc prendre pour les fonctions f et F les expressions qui répondent à f $(\zeta)\binom{0}{2l}$ et F $(\zeta)\binom{0}{l}$. Donc alors

$$u = \frac{1}{2}(x+kt) + \frac{1}{2}(x-kt)$$

ou

$$u = x, \tag{29}$$

ce qui indique que la tranche x ne s'est pas déplacée, ce qui devait être, car k ou $\sqrt{\frac{Eg}{\varpi}}$ est précisément la vitesse du son ou, si l'on veut, la vitesse de propagation d'un ébranlement dans la substance, et $kt < x$ signifie que l'ébranlement imprimé par le mouvement à l'origine de la tige n'est pas encore parvenu jusqu'à la tranche x.

Supposons maintenant $kt > x$, mais que $kt + x$ et par conséquent aussi $kt - x$ soient plus petits que $2l$. On prendra alors f $(\zeta)\binom{0}{2l}$ et F $(-\zeta)\binom{0}{2l}$, et l'on aura

$$u = \frac{1}{2}(x+kt) - \frac{1}{2}(kt-x) + \frac{\gamma}{2k^2}(x-kt)^2$$

ou

$$u = x + \frac{\gamma}{2k^2}(x-kt)^2. \tag{30}$$

Du reste la loi de formation permet de donner tout de suite la valeur de u pour x et t quelconques. Formons d'abord les valeurs correspondantes de f (ζ) et de F $(-\zeta)$.

Supposons donc ζ compris entre $2il$ et $2il + 2l$ et soit d'abord i pair. On somme facilement le second membre de la valeur générale de f $(\zeta)\binom{2il}{2il+2l}$, en groupant le deuxième terme et le troisième, le quatrième et le cinquième, le sixième et le septième, etc.

On a ainsi, pour i pair,

$$f(\zeta)\binom{2il}{2il+2l} = \frac{1}{2}\zeta + \frac{il\gamma}{k^2}[\zeta - (i+1)l]. \tag{31}$$

Si i est impair, on a, après les réductions,

$$(32)\quad f(\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix}=\frac{1}{2}\zeta+\frac{\gamma}{2k^2}[\zeta^2-2(i+1)l\zeta+2i(i+1)l^2].$$

On obtient de même pour i pair

$$(33)\quad F(-\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix}=-\frac{1}{2}\zeta+\frac{\gamma\zeta^2}{2k^2}-\frac{il\gamma}{k^2}[\zeta-(i+1)l],$$

et pour i impair

$$(34)\quad F(-\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix}=-\frac{1}{2}\zeta+\frac{(i+1)l\gamma}{k^2}(\zeta-il).$$

Maintenant supposons $x+kt$ compris entre $2il$ et $2il+2l$. Comme $kt-x$ en diffère de $2x$ qui est plus petit que $2l$, $kt-x$ sera compris entre $2il$ et $2il+2l$ ou entre $2il$ et $2il-2l$.

Dans le premier cas, on aura, si i est pair, en substituant tour à tour $x+kt$ et $kt-x$ pour ζ dans les formules précédentes,

$$(35)\quad u=x+\frac{2il\gamma}{k^2}x+\frac{\gamma}{2k^2}(kt-x)^2.$$

Si i est impair, on aura, toujours dans le premier cas,

$$(36)\quad u=x-\frac{2(i+1)l\gamma}{k^2}x+\frac{\gamma}{2k^2}(x+kt)^2.$$

Dans le second cas, on aura de même, si i est pair,

$$(37)\quad u=x+\frac{2il\gamma}{k^2}(kt-il),$$

et, si i est impair,

$$(38)\quad u=x+\frac{\gamma}{k^2}[(x-l)^2+(kt-il)^2+(i^2-1)l^2].$$

Telles sont les formules très-simples qui expriment toutes les lois du mouvement. On en déduira immédiatement la vitesse $\frac{du}{dt}$ ainsi que l'allongement proportionnel $\frac{du}{dx}-1$ pour tous les points et à une époque quelconque. Ces quantités sont données, comme on voit, sous une forme très-simple.

Il est facile de s'assurer que les équations (35), (36), (37), (38) vérifient toutes les conditions du problème.

D'abord elles satisfont toutes à l'équation aux différences partielles du second ordre (2). De plus elles vérifient les conditions imposées aux extrémités. En effet, si l'on considère l'origine de la tige qui répond à $x=0$, ce sont les équations (35) et (36) qu'il faut prendre, car pour $x=0$ la différence entre $kt-x$ et $kt+x$ est nulle. Or en faisant $x=0$ dans les équations (35) et (36), elles donnent toutes deux

$$u=\frac{1}{2}\gamma t^2.$$

Au contraire, si l'on considère l'autre extrémité de la tige qui répond à $x=l$, ce sont les équations (37) et (38) qu'il faut prendre, car, pour $x=l$, la différence entre $kt-x$ et $kt+x$ est $2l$. Or ces équations (37) et (38) donnent toutes deux

$$\frac{du}{dx}-1=0\quad\text{pour}\quad x=l.$$

On sait de plus qu'on a satisfait à l'état initial, puisqu'on a alors simplement $u=x$.

Enfin on voit que pour chaque valeur de x, la série des valeurs de u et de $\frac{du}{dt}$ ainsi que de $\frac{du}{dx}$ correspondantes à celles de t croissant indéfiniment forment une suite continue, malgré qu'il faille employer successivement les diverses formules (35), (36), (37) et (38). Cela tient à la

propriété déjà démontrée des deux fonctions $f(\zeta)$ et $F(-\zeta)$ ainsi que de leurs dérivées du premier ordre qui ont chacune la même valeur pour la valeur de la variable ζ qui sert à passer de l'une quelconque d'entre elles à la suivante.

Cas d'un mouvement alternatif pour l'origine de la tige.

Supposons maintenant que l'origine de la tige soit soumise à un mouvement alternatif, comme celui qui serait donné par une manivelle, et dont la loi soit

$$(39)\qquad \xi_0(t) = r - r\cos\omega t \quad \text{ou} \quad \xi_0\left(\frac{\zeta}{k}\right) = r - r\cos\frac{\omega\zeta}{k},$$

r étant le rayon de la manivelle et ω la vitesse angulaire. L'autre extrémité de la tige est toujours supposée libre.

La même marche s'applique identiquement que dans l'exemple précédent. Je crois donc inutile de répéter tous les calculs. On trouve d'abord

$$(40)\qquad f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\2l\end{pmatrix} = \tfrac{1}{2}\zeta$$

et

$$(41)\qquad F(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \tfrac{1}{2}\zeta.$$

Puis on obtient successivement, si i est pair,

$$(42)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-2l)}{k} - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-4l)}{k} \\ \qquad + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-6l)}{k} - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-8l)}{k} + \dots \\ \qquad - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-2il)}{k}, \end{cases}$$

et, si i est impair,

$$(43)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-2l)}{k} - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-4l)}{k} \\ \qquad + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-6l)}{k} - \dots + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-2il)}{k}. \end{cases}$$

On a ensuite, si i est pair,

$$(44)\quad \begin{cases} F(-\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2l+2l\end{pmatrix} = -\frac{1}{2}\zeta + r - r\cos\frac{\omega\zeta}{k} - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-2l)}{k} \\ \qquad + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-4l)}{k} - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-6l)}{k} - \dots \\ \qquad + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-2il)}{k}, \end{cases}$$

et, si i est impair,

$$(45)\quad \begin{cases} F(-\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix} = -\frac{1}{2}\zeta + r - r\cos\frac{\omega\zeta}{k} - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-2l)}{k} \\ \qquad + r - r\cos\frac{\omega(\zeta-4l)}{k} - \dots - r + r\cos\frac{\omega(\zeta-2il)}{k}. \end{cases}$$

Les seconds membres se réduisent très-simplement en combinant d'abord les termes deux par deux et faisant usage de la formule connue

$$(45\ bis)\quad \begin{cases} \sin a + \sin(a+x) + \sin(a+2x) + \sin(a+3x) + \dots \\ \qquad + \sin(a+mx) \\ \qquad = \dfrac{\sin\left(\dfrac{m+1}{2}x\right)\sin\left(a+\dfrac{mx}{2}\right)}{\sin\dfrac{x}{2}}. \end{cases}$$

Après quelques réductions simples, on trouve, si i est pair,

$$(46)\qquad f(\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + r\,\frac{\sin\left(\dfrac{il\omega}{k}\right)\sin\left\{\dfrac{\omega}{k}[\zeta-(i+1)l]\right\}}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}.$$

et, pour i impair,

$$(47)\qquad f(\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix}=\frac{1}{2}\zeta+r-r\,\frac{\cos\left(\frac{il\omega}{k}\right)\cos\left\{\frac{\omega}{k}\left[\zeta-(i+1)l\right]\right\}}{\cos\frac{\omega l}{k}}.$$

On a ensuite, si i est pair,

$$(48)\qquad F(-\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix}=-\frac{1}{2}\zeta+r-r\,\frac{\cos\frac{(i-1)l\omega}{k}\cos\frac{\omega}{k}(\zeta-il)}{\cos\frac{\omega l}{k}}.$$

et, si i est impair,

$$(49)\qquad F(-\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+2l\end{pmatrix}=-\frac{1}{2}\zeta+r\,\frac{\sin\frac{(i+1)l\omega}{k}\sin\frac{\omega}{k}(\zeta-il)}{\cos\frac{\omega l}{k}}.$$

Les formules (42), (43), (44) et (45) montrent encore que les fonctions $f(\zeta)$ et $F(\zeta)$ varient d'une manière continue ainsi que les dérivées premières quand on passe de l'une quelconque d'entre elles à la suivante.

Tant que $x>kt$ et que $kt+x<2l$, on a, comme dans l'exemple précédent,

$$u=x.$$

Quand cela n'a plus lieu, on a pour u les expressions suivantes :

$x+kt$ étant compris entre $2il$ et $2il+2l$, $kt-x$ peut être entre les mêmes limites ou entre $2il$ et $2il-2l$.

Dans le premier cas, on a, si i est pair,

$$(50)\qquad u=x+r-r\,\frac{\sin\left\{\frac{\omega}{k}\left[kt-(2i+1)l\right]\right\}\sin\frac{\omega x}{k}+\cos(\omega t)\cos\frac{\omega}{k}(l-x)}{\cos\frac{\omega l}{k}}.$$

et, si i est impair,

$$(51)\qquad u=x+r-r\,\frac{\cos(\omega t)\cos\frac{\omega}{k}(l-x)-\sin\left\{\frac{\omega}{k}\left[kt-(2i+1)l\right]\right\}\sin\frac{\omega x}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}.$$

Dans le second cas, on a, si i est pair,

$$(52)\qquad u=x+2r\,\frac{\sin\left(\frac{il\omega}{k}\right)\sin\left[\frac{\omega}{k}(kt-il)\right]\cos\frac{\omega}{k}(l-x)}{\cos\frac{\omega l}{k}}.$$

et, si i est impair,

$$(53)\qquad u=x+2r-2r\,\frac{\cos\left(\frac{il\omega}{k}\right)\cos\left[\frac{\omega}{k}(kt-il)\right]\cos\frac{\omega}{k}(l-x)}{\cos\frac{\omega l}{k}}.$$

On s'assure encore facilement :

1° Que ces quatre formules vérifient l'équation aux différences

$$\frac{d^2u}{dt^2}=k^2\frac{d^2u}{dx^2};$$

2° Que les deux premières, savoir (50) et (51), donnent

$$u=r-r\cos\omega t\quad\text{pour}\quad x=0;$$

3° Que les deux dernières, soit (52) et (53), donnent

$$\frac{du}{dx}-1=0\quad\text{pour}\quad x=l.$$

PROBLÈME II.

Voici encore un autre problème du même genre, important pour la pratique. Il est relatif à une bielle d'accouplement, et je le pose de la manière suivante :

AB *est une bielle d'accouplement*, AC *et* BD *sont deux manivelles parallèles de rayon* r, ω *est la vitesse angulaire. Soient* σ *la section de la bielle de longueur primitive*, l *et* p *son poids. Soit enfin* Q *la résistance supposée constante et appliquée en* B *tangentiellement à la circonférence* BD.

Tous les points de la bielle ont une même force centrifuge égale à $\omega^2 r$, *pour l'unité de masse, dont la résultante se partage en deux forces égales à* $\frac{p}{2g}\omega^2 r$, *appliquées en* A *et* B *suivant les manivelles, lesquelles exercent à leur tour contre la bielle des actions égales et contraires.*

Représentons donc par $\frac{p}{2g}\omega^2 r$ l'action de la manivelle BD contre la bielle, cette force s'exerçant de B vers D.

Je prends pour origine du temps l'instant où le point A passe en H, c'est-à-dire au point mort, et je suppose qu'à ce moment l'état initial soit tel, que la vitesse de tous les points de la bielle soit nulle et que celle-ci soit alors simplement en équilibre sous l'action de la force centrifuge.

En conservant les notations antérieures, cela revient à poser

$$\varphi(x) = x\left(1 + \frac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r\right), \tag{54}$$

$$\psi(x) = 0. \tag{55}$$

Quant aux conditions imposées aux extrémités, elles sont que la projection du point A sur CD soit toujours à la distance $r - r\cos\omega t$ du point H, et que la force élastique au point B fasse équilibre aux composantes suivant BA de la force Q de l'action de la manivelle BD. Il faut donc qu'on ait, quel que soit t,

$$u = r - r\cos\omega t \quad \text{pour} \quad x = 0, \tag{56}$$

et

$$\frac{du}{dx} = 1 - \frac{Q}{E\sigma}\sin\omega t + \frac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r\cos\omega t \quad \text{pour} \quad x = l. \tag{57}$$

On voit que les conditions choisies pour l'état initial sont compatibles avec celles imposées aux extrémités.

La vitesse initiale de tous les points de la bielle étant

nulle, on sait que $f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ ainsi que $F(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ sont toutes deux égales à $\frac{1}{2}\varphi(\zeta)$.

On a donc

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta\left(1 + \frac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r\right) \tag{58}$$

et

$$F(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta\left(1 + \frac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r\right). \tag{59}$$

D'ailleurs la marche générale précédemment indiquée s'applique sans difficulté. Tout se déduit toujours des relations précédentes, combinées avec celles relatives aux extrémités, et qui sont

$$\begin{cases} f(\zeta) + F(-\zeta) = r - r\cos\dfrac{\omega\zeta}{k} \\ \text{et } f'(l+\zeta) + F'(l-\zeta) = 1 - \dfrac{Q}{E\sigma}\sin\dfrac{\omega\zeta}{k} + \dfrac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r\cos\dfrac{\omega\zeta}{k}. \end{cases} \tag{60}$$

Cette dernière se remplace encore par son intégrale qui est

$$\begin{cases} f(l+\zeta) - F(l-\zeta) = \zeta - \dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega} + \dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\cos\dfrac{\omega\zeta}{k}. \\ \qquad + \dfrac{p}{2E\sigma g}k\omega r\sin\dfrac{\omega\zeta}{k}, \end{cases} \tag{61}$$

la constante étant déterminée de manière que, pour $\zeta = 0$, le second membre reproduise la valeur connue de $f(l) - F(l)$ qui est zéro.

Connaissant $F(l-\zeta)$ de $\zeta = 0$ à $\zeta = l$, puisqu'on a $F(\zeta)$ entre ces limites, on déduit de l'équation (61) $f(l+\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ ou $f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$.

De même changeant dans l'équation (61) ζ en $\zeta + l$ et y remplaçant $F(-\zeta)$ par sa valeur tirée de l'équation (60),

on aura $f(2l+\zeta)$ quand on connaîtra $f(\zeta)$ ou, ce qui revient au même, on connaîtra $f(\zeta)$ quand on connaîtra $f(\zeta-2l)$, ce qui donne la formule

$$(62)\quad \begin{cases} f(\zeta)=\zeta-l+r-r\cos\dfrac{\omega(\zeta-2l)}{k}-\dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega}+\dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\cos\dfrac{\omega(\zeta-l)}{k} \\ \qquad +\dfrac{p}{2E\sigma g}k\omega r\sin\dfrac{\omega(\zeta-l)}{k}-f(\zeta-2l). \end{cases}$$

Dans ce problème, $f(\zeta)\begin{pmatrix} l \\ 2l \end{pmatrix}$ n'a plus la même forme que $f(\zeta)\begin{pmatrix} 0 \\ l \end{pmatrix}$. On l'obtient par l'équation (61), qui donne

$$(63)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix} l \\ 2l \end{pmatrix}=\dfrac{1}{2}\zeta-\dfrac{1}{2}(\zeta-2l)\dfrac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r-\dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega} \\ \qquad +\dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\cos\dfrac{\omega(\zeta-l)}{k}+\dfrac{p}{2E\sigma g}k\omega r\sin\dfrac{\omega(\zeta-l)}{k}. \end{cases}$$

A l'aide de la formule générale de l'équation (62) on déduira successivement $f(\zeta)\begin{pmatrix} 2l \\ 3l \end{pmatrix}$ de $f(\zeta)\begin{pmatrix} 0 \\ l \end{pmatrix}$, puis $f(\zeta)\begin{pmatrix} 4l \\ 5l \end{pmatrix}$ de $f(\zeta)\begin{pmatrix} 2l \\ 3l \end{pmatrix}$, puis $f(\zeta)\begin{pmatrix} 6l \\ 7l \end{pmatrix}$ de $f(\zeta)\begin{pmatrix} 4l \\ 5l \end{pmatrix}$, et ainsi de suite. De même, on obtiendra successivement, en partant de $f(\zeta)\begin{pmatrix} l \\ 2l \end{pmatrix}$, les expressions de $f(\zeta)\begin{pmatrix} 3l \\ 4l \end{pmatrix}$, $f(\zeta)\begin{pmatrix} 5l \\ 6l \end{pmatrix}$, $f(\zeta)\begin{pmatrix} 7l \\ 8l \end{pmatrix}$, etc.

Ces résultats se réduisent très-simplement, en faisant usage de la relation déjà employée [équation (45 *bis*)] et de la suivante

$$\cos a+\cos(a+x)+\cos(a+2x)+\ldots+\cos(a+mx)=\frac{\sin\left(\dfrac{m+1}{2}x\right)\cos\left(a+\dfrac{mx}{2}\right)}{\sin\dfrac{x}{2}},$$

et l'on trouve définitivement les quatre types différents qui suivent :

$$(64)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix} 4il \\ 4il+l \end{pmatrix} \\ =\dfrac{1}{2}\zeta+\dfrac{1}{2}(\zeta-4il)\dfrac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r+r\dfrac{\sin\dfrac{2il\omega}{k}\sin\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}} \\ \quad -\dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\dfrac{\sin\dfrac{2il\omega}{k}\sin\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}} \\ \quad +\dfrac{p}{2E\sigma g}k\omega r\dfrac{\sin\dfrac{2il\omega}{k}\cos\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}. \end{cases}$$

$$(65)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix} 4il+l \\ 4il+2l \end{pmatrix} \\ =\dfrac{1}{2}\zeta-\dfrac{1}{2}(\zeta-4il-2l)\dfrac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r+r\dfrac{\sin\dfrac{2il\omega}{k}\sin\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}} \\ \quad -\dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega}+\dfrac{Q}{E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\dfrac{\cos\dfrac{(2i+1)l\omega}{k}\cos\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}} \\ \quad +\dfrac{p}{2E\sigma g}k\omega r\dfrac{\cos\dfrac{(2i+1)l\omega}{k}\sin\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}. \end{cases}$$

$$
\left\{
\begin{aligned}
&f(\zeta)\begin{pmatrix}4il+2l\\4il+3l\end{pmatrix}\\
&=\frac{1}{2}\zeta-\frac{1}{2}(\zeta-4il-2l)\frac{p}{2\mathrm{E}\sigma g}\omega^2 r+r-r\,\frac{\cos\dfrac{(2i+1)l\omega}{k}\cos\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-2l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}\\
&-\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}+\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\,\frac{\cos\dfrac{(2i+1)l\omega}{k}\sin\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il+l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}\\
&+\frac{p}{2\mathrm{E}\sigma g}k\omega r\,\frac{\cos\dfrac{(2i+1)l\omega}{k}\sin\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}},
\end{aligned}
\right.
\tag{66}
$$

$$
\left\{
\begin{aligned}
&f(\zeta)\begin{pmatrix}4il+3l\\4il+4l\end{pmatrix}\\
&=\frac{1}{2}\zeta+\frac{1}{2}(\zeta-4il-4l)\frac{p}{2\mathrm{E}\sigma g}\omega^2 r+r-r\,\frac{\cos\dfrac{(2i+1)l\omega}{k}\cos\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-2l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}\\
&-\frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\,\frac{\sin\dfrac{2(i+1)l\omega}{k}\sin\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-2l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}\\
&+\frac{p}{2\mathrm{E}\sigma g}k\omega r\,\frac{\sin\dfrac{2(i+1)l\omega}{k}\cos\dfrac{\omega}{k}(\zeta-2il-2l)}{\cos\dfrac{\omega l}{k}}.
\end{aligned}
\right.
\tag{67}
$$

On peut remarquer que les équations (64) et (65) donnent la même valeur pour $f(\zeta)$ et pour $f'(\zeta)$ quand $\zeta=4il+l$. Il en est de même des équations (65) et (66) pour $\zeta=4il+2l$; de même des équations (66) et (67) pour $\zeta=4il+3l$, et en général pour deux fonctions consécutives pour la valeur de la variable qui sert à passer

de l'une à l'autre. Cela devait être, car u, ainsi que ses dérivées de premier ordre, $\frac{du}{dt}$ et $\frac{du}{dx}$, ne peuvent varier que d'une manière continue, malgré que les fonctions (64), (65), (66), (67), etc., soient réellement discontinues ou exprimées d'une manière différente, c'est-à-dire que si l'on représentait graphiquement $f(\zeta)$, elle serait l'ordonnée d'une courbe composée d'une infinité d'arcs appartenant à des types différents, mais néanmoins se raccordant toujours tangentiellement.

La même remarque a lieu pour la fonction F, dont l'expression générale donnée par l'équation (60) est

$$
\left\{
\begin{aligned}
&\mathrm{F}(-\zeta)\begin{pmatrix}nl\\nl+l\end{pmatrix}=-f(\zeta)\begin{pmatrix}nl\\nl+l\end{pmatrix}\\
&\qquad\qquad+r-r\cos\frac{\omega\zeta}{k},
\end{aligned}
\right.
\tag{68}
$$

n étant un nombre entier positif quelconque.

Avec les formules précédentes, on aura l'état de toutes les parties de la bielle à une époque quelconque. Il est facile de se rendre compte qu'on peut avoir douze combinaisons différentes. Ainsi, comme la différence entre $x+kt$ et $kt-x$, laquelle est $2x$, est forcément comprise entre o et $2l$, il en résulte que, s'il faut prendre $f(\zeta)\begin{pmatrix}ml\\ml+l\end{pmatrix}$, m étant un nombre entier quelconque, $\mathrm{F}(-\zeta)$ peut appartenir soit à $\mathrm{F}(-\zeta)\begin{pmatrix}ml\\ml+l\end{pmatrix}$ ou à $\mathrm{F}(-\zeta)\begin{pmatrix}ml-l\\ml\end{pmatrix}$ ou encore à $\mathrm{F}(-\zeta)\begin{pmatrix}ml-2l\\ml-l\end{pmatrix}$. Donc, chaque type de $f(\zeta)$ représenté par l'une des quatre formules (64), (65), (66) et (67) donnera trois combinaisons possibles pour la valeur de u.

Supposons, par exemple, que $x+kt$ et $kt-x$ soient

tous deux compris entre $4il$ et $4il+l$. Alors on aura

$$(69)\quad \left\{\begin{aligned} u = {} & x\left(1+\frac{p}{2E\sigma g}\omega^2 r\right)+r-r\cos\frac{\omega}{k}(kt-x)\\ & +2r\,\frac{\sin\frac{2il\omega}{k}\cos\frac{\omega}{k}(kt-2il-l)\sin\frac{\omega x}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}\\ & -2\,\frac{Q}{E\sigma}\,\frac{k}{\omega}\,\frac{\sin\frac{2il\omega}{k}\cos\frac{\omega}{k}(kt-2il)\sin\frac{\omega x}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}\\ & -\frac{p}{E\sigma g}\,k\omega r\,\frac{\sin\frac{2il\omega}{k}\sin\frac{\omega}{k}(kt-2il)\sin\frac{\omega x}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}. \end{aligned}\right.$$

Il est évident que, pour $x=0$, la différence entre $x-kt$ et $kt-x$ étant nulle, cette formule est applicable à l'origine de la bielle, et, par conséquent, qu'en y faisant $x=0$, on doit satisfaire à la condition (56); or c'est effectivement ce qui a lieu.

Supposons maintenant que x et t soient tels, que $x+kt$ étant compris entre $4il+2l$ et $4il+3l$, $kt-x$ le soit entre $4il$ et $4il+l$. On a alors

$$(70)\quad \left\{\begin{aligned} u = {} & x-(kt-4il-l)\,\frac{p}{2E\sigma g}\,\omega^2 r+r\\ & -r\,\frac{\cos\frac{\omega}{k}(kt-4il-2l)\cos\frac{\omega}{k}(l-x)-\sin\frac{\omega}{k}(kt-l)\sin\frac{\omega x}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}-r\cos\frac{\omega}{k}(kt-x)\\ & -\frac{Q}{E\sigma}\,\frac{k}{\omega}+\frac{Q}{E\sigma}\,\frac{k}{\omega}\,\frac{\cos\frac{\omega}{k}(kt-4il-l)\cos\frac{\omega}{k}(l-x)-\sin\omega t\,\sin\frac{\omega x}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}\\ & +\frac{p}{2E\sigma g}\,k\omega r\,\frac{\sin\frac{\omega}{k}(kt-4il-l)\cos\frac{\omega}{k}(l-x)+\cos\omega t\,\sin\frac{\omega x}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}. \end{aligned}\right.$$

Pour $x=l$, la différence entre $x+kt$ et $kt-x$ étant égale à $2l$, la formule ci-dessus est applicable à l'extrémité de la bielle. Par conséquent l'expression (70) doit satisfaire à la condition (57), et c'est ce qui a lieu en effet.

On déduira facilement, dans tous les cas, de la valeur de u, celle de la vitesse $\frac{du}{dt}$ et de l'allongement proportionnel $\frac{du}{dx}-1$.

PROBLÈME III.

Voici encore un autre exemple important. Il s'agit d'une tige terminée par un piston soumis à l'action de la vapeur et douée d'un mouvement alternatif.

Prenons pour l'état initial

$$(71)\qquad [\varphi(x)=x \quad \text{et} \quad \psi(x)=0],$$

état qui est compatible avec les conditions imposées aux extrémités.

L'origine de la tige est soumise à un mouvement alternatif que nous supposerons exprimé par la relation

$$\zeta_0(t) = r - r\cos\omega t. \tag{72}$$

L'autre extrémité est soumise à l'action de la vapeur. Cette force est périodique, c'est-à-dire qu'elle redevient la même quand l'angle de rotation ωt a augmenté de 2π, et, de plus, nous devons admettre qu'elle reprend la même valeur, mais avec un signe contraire, quand ωt augmente de π.

Quant à sa valeur absolue, elle dépend des circonstances absolues de la distribution, telles que l'avance à l'admission, la fin de l'admission, la détente, l'échappement et la compression, lesquelles peuvent varier de mille manières.

Dans tous les cas possibles, cette quantité est développable en série trigonométrique de sinus et de cosinus des multiples d'un même arc. Mais pour ne pas compliquer les calculs, nous allons choisir la forme suivante qui a l'avantage de représenter simplement et approximativement l'effet moyen de la vapeur, particulièrement dans les machines locomotives. C'est

$$Q = G\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right). \tag{73}$$

Pour $t = 0$ et pour $\omega t = \frac{\pi}{2}$, on a

$$Q = G\sin\frac{\pi}{4}, \tag{74}$$

car

$$\sin\frac{\pi}{4} = \cos\frac{\pi}{4}.$$

Pour $\omega t = \frac{\pi}{4}$, on a

$$Q = G.$$

Jusqu'à $\omega t = \frac{\pi}{2}$, la vapeur serait dans la période d'admission, qui commencerait à proprement parler pour $\omega t = -\frac{\pi}{4}$, angle d'avance à l'admission.

L'intensité de la force ne serait pas absolument constante, puisqu'elle varierait entre les limites $G\sin\frac{\pi}{4}$ et G.

De $\omega t = \frac{\pi}{2}$ à $\omega t = \frac{3}{4}\pi$, la pression diminue progressivement jusqu'à zéro. Ce serait là le commencement tout à la fois de l'échappement sur la face considérée du piston et de la compression, ou plutôt de l'admission sur la face opposée.

De plus l'expression (73) reprend la même valeur toutes les fois que ωt augmente de 2π, et elle ne fait que changer de signe quand ωt augmente de π.

On pourrait donc écrire comme il suit la condition imposée à l'extrémité de la tige, en considérant la vapeur comme agissant directement sur cette extrémité,

$$\frac{du}{dx} = 1 + \frac{G}{E\sigma}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right). \tag{75}$$

Alors le problème se résoudrait d'une manière tout à fait analogue au précédent, relatif à la bielle d'accouplement. Mais on peut aussi vouloir tenir compte de l'inertie du piston. Dans ce dernier cas, l'équation de condition relative à l'extrémité de la tige est, en appelant P le poids du piston,

$$\frac{P}{g}\frac{d^2u}{dt^2} = G\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) - E\sigma\left(\frac{du}{dx} - 1\right) \quad \text{pour} \quad x = l$$

ou

$$\frac{P}{g}\left(\frac{d^2u}{dt^2}\right)_{x=l} + E\sigma\left(\frac{du}{dx}\right)_{x=l} = G\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) + E\sigma. \tag{76}$$

Comme d'ailleurs on a toujours

$$u = f(x+kt) + \mathrm{F}(x-kt),$$

les conditions relatives aux extrémités peuvent s'écrire de la manière suivante, en faisant $kt = \zeta$ et observant que

$$\frac{\mathrm{E}\sigma g}{\mathrm{P}k^2} = \frac{p}{\mathrm{P}l},$$

p étant le poids même de la tige :

$$f(\zeta) + \mathrm{F}(-\zeta) = r - r\cos\frac{\omega\zeta}{k} \tag{77}$$

et

$$\left\{\begin{aligned} &f''(l+\zeta) + \frac{p}{\mathrm{P}l} f'(l+\zeta) + \mathrm{F}''(l-\zeta) + \frac{p}{\mathrm{P}l}\mathrm{F}'(l-\zeta) \\ &= \frac{\mathrm{G}g}{\mathrm{P}k^2}\cos\left(\frac{\omega\zeta}{k} - \frac{\pi}{4}\right) + \frac{p}{\mathrm{P}l}. \end{aligned}\right. \tag{78}$$

On a, comme dans les autres questions, à cause de l'équation (71),

$$\left[f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \mathrm{F}(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta\right]. \tag{79}$$

La relation (78) fait connaître tout de suite $f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$. En effet, cette équation s'intègre et donne, en appelant C une constante,

$$\left\{\begin{aligned} &f'(l+\zeta) + \frac{p}{\mathrm{P}l} f(l+\zeta) \\ &= \mathrm{C} + \frac{p}{\mathrm{P}l}\zeta + \frac{\mathrm{G}g}{\mathrm{P}k\omega}\sin\left(\frac{\omega\zeta}{k} - \frac{\pi}{4}\right) + \mathrm{F}'(l-\zeta) + \frac{p}{\mathrm{P}l}\mathrm{F}(l-\zeta). \end{aligned}\right. \tag{80}$$

$\mathrm{F}(l-\zeta)$ et par suite $\mathrm{F}'(l-\zeta)$ sont données par l'équation (79) pour toutes les valeurs de ζ comprises entre o et l, et, par conséquent, l'équation (80) fera connaître $f(l+\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ ou $f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$.

La constante C se détermine d'après la condition que pour $\zeta = 0$ le premier membre donne la valeur, déjà connue par l'équation (79), de $f'(l) + \frac{p}{\mathrm{P}l} f(l)$, laquelle valeur est

$$\mathrm{C} = \frac{\mathrm{G}g}{\mathrm{P}k\omega}\sin\frac{\pi}{4}. \tag{81}$$

Mettant cette valeur pour C dans l'équation (80) et y remplaçant $\mathrm{F}'(l-\zeta)$ par $\frac{1}{2}$ et $\mathrm{F}(l-\zeta)$ par $\frac{1}{2}(l-\zeta)$, puis mettant ζ à la place de $l+\zeta$ ou $\zeta-l$ à celle de ζ, on a, pour l'équation (80),

$$\left\{\begin{aligned} &f'(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix} + \frac{p}{\mathrm{P}l} f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\frac{p}{\mathrm{P}l}\zeta + \frac{\mathrm{G}g}{\mathrm{P}k\omega}\sin\frac{\pi}{4} + \frac{\mathrm{G}g}{\mathrm{P}k\omega}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l) - \frac{\pi}{4}\right]. \end{aligned}\right. \tag{82}$$

Cette équation, qui est linéaire du premier ordre par rapport à $f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$ est intégrable, et, en appelant C_1 une constante, on a

$$\left\{\begin{aligned} &f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix} \\ &= e^{-\frac{p}{\mathrm{P}l}\zeta}\left\{\mathrm{C}_1 + \int e^{\frac{p}{\mathrm{P}l}\zeta}\left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\frac{p}{\mathrm{P}l}\zeta + \frac{\mathrm{G}g}{\mathrm{P}k\omega}\sin\frac{\pi}{4} + \frac{\mathrm{G}g}{\mathrm{P}k\omega}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l) - \frac{\pi}{4}\right]\right]d\zeta\right\}, \end{aligned}\right. \tag{83}$$

e étant la base des logarithmes népériens.

Les intégrations indiquées s'effectuent sans difficulté. La constante C_1 se détermine d'après la condition que, pour $\zeta = l$, valeur de la variable qui sert de transition de la fonction $f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ à la fonction $f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$, ces deux fonctions aient la même valeur. Il est à remarquer d'ailleurs qu'à cause de la manière dont la première constante C

a été déterminée, $f'(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ et $f'(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$ ont aussi, comme cela doit être, la même valeur pour $\zeta = l$.

On a ainsi, tous calculs faits,

$$(84)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix} = \frac{1}{2}\zeta + \frac{Ggl}{pk\omega}\sin\frac{\pi}{4} \\ + \frac{Gg}{Pk\omega}\dfrac{\frac{p}{Pl}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l)-\frac{\pi}{4}\right]-\frac{\omega}{k}\cos\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l)-\frac{\pi}{4}\right]}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}} \\ + \frac{G}{E\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\dfrac{\frac{p}{Pl}-\frac{\omega}{k}}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}e^{-\frac{p}{Pl}(\zeta-l)} \end{cases}$$

Les expressions suivantes de $f(\zeta)$, savoir $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$, $f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}$, $f(\zeta)\begin{pmatrix}4l\\5l\end{pmatrix}$, etc., s'obtiendront d'une manière analogue à ce qui a été fait précédemment.

Ainsi, remplaçant dans l'équation (78) ζ par $l+\zeta$ et intégrant une première fois, on a, C étant une constante,

$$f'(2l+\zeta)+\frac{p}{Pl}f(2l+\zeta)$$
$$= C + \frac{p}{Pl}(\zeta+l) + \frac{Gg}{Pk\omega}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta+l)-\frac{\pi}{4}\right] + F'(-\zeta) + \frac{p}{Pl}F(-\zeta).$$

Remplaçant $F(-\zeta)$ et $F'(-\zeta)$ par leurs valeurs tirées de l'équation (77), puis ζ par $\zeta - 2l$, on a

$$(85)\quad \begin{cases} f'(\zeta)+\frac{p}{Pl}f(\zeta) \\ = C + \frac{p}{Pl}(\zeta-l) - \frac{\omega r}{k}\sin\frac{\omega}{k}(\zeta-2l) + \frac{p}{Pl}r - \frac{p}{Pl}r\cos\frac{\omega}{k}(\zeta-2l) \\ + \frac{Gg}{Pk\omega}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l)-\frac{\pi}{4}\right] + f'(\zeta-2l) - \frac{p}{Pl}f(\zeta-2l), \end{cases}$$

équation qui fait connaître $f(\zeta)$ quand on connaît $f(\zeta-2l)$, c'est-à-dire cette fonction pour les valeurs de la variable inférieures de $2l$.

Il est facile de se rendre compte que la constante C a toujours la même valeur. En effet, supposons d'abord qu'il s'agisse de $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$. Pour $\zeta = 3l$, il faut que $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$ et $f'(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$ aient respectivement les mêmes valeurs que $f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}$ et que $f'(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}$. Donc le premier membre de l'équation (85) et, par suite, le second membre, doivent avoir, pour $\zeta = 3l$, la même valeur, soit qu'on s'occupe de $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$ ou de $f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}$. Or, dans le premier cas, il faut prendre, pour $f(\zeta-2l)$ et pour $f'(\zeta-2l)$, la fonction $f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ et $f'(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ où l'on remplacera ζ par $\zeta-2l$. Dans le second cas, il faut prendre pour $f(\zeta-2l)$ et $f'(\zeta-2l)$, la fonction $f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$ et $f'(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$ en y remplaçant ζ par $\zeta-2l$. Or, remplacer dans ces dernières fonctions ζ par $\zeta-2l$ et y faire ensuite $\zeta = 3l$, cela revient à y faire de suite $\zeta = l$. Or, pour $\zeta = l$, on a

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}$$

et

$$f'(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = f'(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix}.$$

Comme d'ailleurs le second membre de l'équation (85) est le même pour deux fonctions consécutives $f(\zeta)$, C a forcément la même valeur pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}$ que pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$. On démontrerait absolument de même qu'elle est la même

pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}4l\\5l\end{pmatrix}$ que pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}$; la même pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}5l\\6l\end{pmatrix}$ que pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}4l\\5l\end{pmatrix}$ et ainsi de suite indéfiniment. Donc C a la même valeur pour toutes les fonctions que pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$.

Occupons-nous donc d'avoir C pour $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$.

Et d'abord, pour appliquer la relation générale (85) à $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$, il faut remplacer dans le second membre $f(\zeta-2l)$ et $f'(\zeta-2l)$ par les expressions qu'on obtient en substituant $\zeta-2l$ à ζ dans $f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$ et $f'(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$, ce qui donne

$$f'(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}+\frac{p}{Pl}f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}=C+\frac{1}{2}+\frac{p}{2Pl}\zeta-\frac{\omega r}{k}\sin\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)+\frac{p}{Pl}r-\frac{p}{Pl}r\cos\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)+\frac{Gg}{Pk\omega}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l)-\frac{\pi}{4}\right].$$

Déterminant la constante de telle manière que, pour $\zeta=2l$, le deuxième membre de la relation ci-dessus ait la même valeur que le second membre de l'équation (82), on a

$$C=\frac{Gg}{Pk\omega}\sin\frac{\pi}{4},$$

qui est, dès lors, la valeur commune de la constante C pour toutes les fonctions, et l'on a

$$(86)\quad\begin{cases}f'(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}+\frac{p}{Pl}f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}=\frac{1}{2}+\frac{p}{2Pl}\zeta\\-\frac{\omega r}{k}\sin\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)+\frac{p}{Pl}r-\frac{p}{Pl}r\cos\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)\\+\frac{Gg}{Pk\omega}\sin\frac{\pi}{4}+\frac{Gg}{Pk\omega}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l)-\frac{\pi}{4}\right].\end{cases}$$

Cette équation linéaire et de premier ordre par rapport à $f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}$ s'intègre absolument comme l'équation (82).

Il en est de même de celles qui sont relatives aux fonctions suivantes, et de cette manière on déduira successivement

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}\quad\text{de}\quad f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix};$$

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}\quad\text{de}\quad f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\2l\end{pmatrix},$$

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}4l\\5l\end{pmatrix}\quad\text{de}\quad f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix},$$

et ainsi de suite.

La seconde constante introduite par l'intégration se détermine toujours d'après la condition que deux fonctions consécutives aient la même valeur pour la valeur de la variable qui leur est commune.

On obtient ainsi

$$(87)\quad\begin{cases}f(\zeta)\begin{pmatrix}2l\\3l\end{pmatrix}=\frac{1}{2}\zeta-\frac{\omega r}{k}\dfrac{\frac{p}{Pl}\sin\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)-\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}+r\\-\frac{p}{Pl}r\dfrac{\frac{p}{Pl}\cos\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)+\frac{\omega}{k}\sin\frac{\omega}{k}(\zeta-2l)}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}+\frac{Ggl}{pk\omega}\sin\frac{\pi}{4}\\+\frac{Gg}{Pk\omega}\dfrac{\frac{p}{Pl}\sin\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l)-\frac{\pi}{4}\right]-\frac{\omega}{k}\cos\left[\frac{\omega}{k}(\zeta-l)-\frac{\pi}{4}\right]}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}\\+\frac{G}{E\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\dfrac{\frac{p}{Pl}-\frac{\omega}{k}}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}e^{-\frac{p}{Pl}(\zeta-l)}-2\frac{\omega^2 r}{k^2}\dfrac{1}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}e^{-\frac{p}{Pl}(\zeta-2l)}\end{cases}$$

On aurait ensuite les valeurs de

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\4l\end{pmatrix}, \qquad f(\zeta)\begin{pmatrix}4l\\5l\end{pmatrix}, \qquad f(\zeta)\begin{pmatrix}5l\\6l\end{pmatrix}\cdots.$$

Ayant $f(\zeta)$, on en déduit $F(-\zeta)$ suivant la règle ordinaire, par l'équation (77).

Je vais donner deux exemples des valeurs de u fournies par ces fonctions.

Supposons d'abord que

$$x - kt < 0$$

et que

$$x + kt \quad \text{et} \quad kt - x$$

soient deux quantités comprises entre l et $2l$. C'est alors la formule (84) qui doit servir, et l'on trouve, après quelques réductions faciles,

$$(88)\quad \left\{\begin{aligned} u = {} & x + r - r\cos\frac{\omega}{k}(kt-x) \\ & + 2\frac{Gg}{Pk\omega}\,\frac{\frac{p}{Pl}\cos\frac{\omega}{k}(kt-l)+\frac{\omega}{k}\sin\frac{\omega}{k}(kt-l)}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}\sin\frac{\omega x}{k} \\ & - \frac{G}{E\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\,\frac{\frac{p}{Pl}-\frac{\omega}{k}}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}\,e^{-\frac{p}{Pl}(kt-l)}\left(e^{\frac{p}{Pl}x}-e^{-\frac{p}{Pl}x}\right). \end{aligned}\right.$$

Cette formule doit convenir à l'origine de la tige, car, pour $x=0$, la différence entre $x+kt$ et $kt-x$ est nulle, et, par conséquent, ces quantités peuvent être comprises toutes deux ensemble entre l et $2l$. Dès lors, l'équation (88) doit satisfaire à la condition relative à l'origine de la tige, et, en effet, si l'on y fait $x=0$, on a

$$u = r - r\cos\omega t,$$

c'est-à-dire qu'on satisfait à l'équation (72).

Pour le second exemple, je suppose encore $x<kt$. Puis j'admets que $x+kt$ soit compris entre $2l$ et $3l$ et que $kt-x$ le soit entre 0 et l, ce qui est admissible puisque la différence entre $x+kt$ et $kt-x$ est $2x$ qui peut aller jusqu'à $2l$. Dans ce cas, il faut faire usage, pour $f(\zeta)$, de la formule (87), et quant à $F(x-kt)$ ou $F(-\zeta)$, sa valeur très-simple se déduit de $f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}$. On a alors

$$(89)\quad \left\{\begin{aligned} u = {} & x + 2r - r\cos\frac{\omega}{k}(kt-x) \\ & + r\,\frac{\left[\frac{\omega^2}{k^2}-\left(\frac{p}{Pl}\right)^2\right]\cos\frac{\omega}{k}(x+kt-2l)-2\frac{\omega}{k}\frac{p}{Pl}\sin\frac{\omega}{k}(x+kt-2l)}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}} \\ & + \frac{Ggl}{pk\omega}\sin\frac{\pi}{4}+\frac{Gg}{Pk\omega}\sin\frac{\pi}{4} \\ & \quad \times \frac{\left(\frac{p}{Pl}-\frac{\omega}{k}\right)\sin\frac{\omega}{k}(x+kt-l)-\left(\frac{p}{Pl}+\frac{\omega}{k}\right)\cos\frac{\omega}{k}(x+kt-l)}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}} \\ & + \frac{G}{E\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\,\frac{\frac{p}{Pl}-\frac{\omega}{k}}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}\,e^{-\frac{p}{Pl}(x+kt-l)}-2\frac{\omega^2 r}{k^2} \\ & \quad \times \frac{1}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}\,e^{-\frac{p}{Pl}(x+kt-2l)}. \end{aligned}\right.$$

Pour $x=l$, la différence entre $x+kt$ et $kt-x$ est $2l$. Donc, la formule (89) doit satisfaire à la relation (76) relative à l'extrémité de la tige, et c'est en effet ce qui a lieu.

Il est intéressant de considérer le mouvement de l'extrémité de la tige au commencement du temps. Or, si kt est compris entre 0 et l, il arrive que, pour $x=l$, $x+kt$ est

compris entre l et $2l$ et que $x-kt$ l'est entre o et l. D'après cela, on a alors

$$(90)\quad \left\{\begin{aligned} u = x &+ \frac{Ggl}{pk\omega}\sin\frac{\pi}{4} + \frac{G\gamma}{Pk\omega}\sin\frac{\pi}{4} \\ &\times \frac{\left(\frac{p}{Pl}-\frac{\omega}{k}\right)\sin\frac{\omega}{k}(x+kt-l) - \left(\frac{p}{Pl}+\frac{\omega}{k}\right)\cos\frac{\omega}{k}(x+kt-l)}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}} \\ &+ \frac{G}{E\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\,\frac{\frac{p}{Pl}-\frac{\omega}{k}}{\left(\frac{p}{Pl}\right)^2+\frac{\omega^2}{k^2}}\,e^{-\frac{p}{Pl}(x+kt-l)}. \end{aligned}\right.$$

On vérifie aisément, à l'aide de cette formule, que, pour $x=l$ et $t=0$, on a, ainsi que cela doit être,

$$u = l,$$

$$\frac{du}{dx} - 1 = 0,$$

$$\frac{du}{dt} = 0,$$

ce qui correspond à l'état initial donné. De plus, cette même formule (90) satisfait, même pour $t=0$, à la condition (76), ce qui démontre, ainsi que je l'ai dit en commençant et comme du reste on pouvait le prévoir, que l'état initial choisi était compatible avec les conditions imposées aux extrémités.

PROBLÈME IV.

Il s'agit d'une manivelle. La question se pose de la manière suivante :

Une manivelle OM *tourne d'un mouvement uniforme autour de son origine* O, *qui est fixe. Une force, par exemple celle de la vapeur, agit sur son extrémité* M, *suivant une*

direction MC, *parallèle à* AOB, *que je suppose constante. La loi de cette force est donnée et je la supposerai, pour fixer les idées, représentée, comme dans l'exemple précédent, par la formule*

$$(91)\quad Q = G\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) = G\sin\frac{\pi}{4}(\cos\omega t + \sin\omega t).$$

En appelant Π la projection de cette force sur la direction OM, on a

$$\Pi = G\sin\frac{\pi}{4}\left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos(2\omega t) + \frac{1}{2}\sin(2\omega t)\right].$$

Les conditions imposées aux extrémités de la tige sont donc : 1° pour $x=0$,

$$(92)\qquad u = 0,$$

et 2° pour $x=l$,

$$(93)\quad \frac{du}{dx} = 1 - \frac{G}{2E\sigma}\sin\frac{\pi}{4} - \frac{G}{2E\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\cos(2\omega t) - \frac{G}{2E\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\sin(2\omega t).$$

Si l'on veut tenir compte de la force centrifuge des diverses parties de la manivelle, l'équation aux différences partielles ne se présente pas tout à fait sous la forme ordinaire; mais il est facile de l'y ramener.

En effet, on a, dans ce cas,

$$(94)\qquad \frac{d^2u}{dt^2} = \omega^2 x + k^2\frac{d^2u}{dx^2}.$$

Appelons u_1 ce que serait u si toutes les parties de la manivelle étaient en équilibre sous l'action de la force centrifuge et de l'élasticité et qu'il n'y eût aucune force appliquée à l'extrémité de la manivelle.

On a alors

$$(95)\qquad \omega^2 x + k^2\frac{d^2u_1}{dx^2} = 0,$$

et l'on trouve aisément

$$u_1 = \left(1 + \frac{\omega^2 l^2}{2k^2}\right) x - \frac{\omega^2 x^3}{6k^2}. \tag{96}$$

Posons maintenant

$$u = u_1 + \mathrm{U}, \tag{97}$$

et il reste à déterminer U.

On a d'abord

$$\frac{d^2\mathrm{U}}{dt^2} = k^2 \frac{d^2\mathrm{U}}{dx^2}. \tag{98}$$

Les conditions (92) et (93), relatives aux extrémités, deviennent pour U : 1° pour $x = 0$,

$$\mathrm{U} = 0, \tag{99}$$

et 2° pour $x = l$,

$$\frac{d\mathrm{U}}{dx} = -\frac{\mathrm{G}}{2\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4} - \frac{\mathrm{G}}{2\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\cos(2\omega t) - \frac{\mathrm{G}}{2\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\sin(2\omega t). \tag{100}$$

Il reste à fixer l'état initial. Or, j'admettrai que, à l'origine du temps, la vitesse de tous les points de la manivelle soit nulle et que toutes ses parties soient en équilibre sous l'action des forces agissantes qui sont : d'une part, les forces centrifuges, et d'autre part, à l'extrémité de la tige, la force H qui a alors pour valeur G $\sin\frac{\pi}{4}$. Cet état est évidemment compatible avec les autres conditions données et l'on trouve facilement, pour $t = 0$,

$$u = \left(1 + \frac{\omega^2 l^2}{2k^2} - \frac{\mathrm{G}}{\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\right) x - \frac{\omega^2 x^3}{6k^2} \quad \text{et} \quad \frac{du}{dt} = 0.$$

Donc, comme $\mathrm{U} = u - u_1$, si l'on appelle respectivement

$\varphi(x)$ et $\psi(x)$ les valeurs données de U et de $\frac{d\mathrm{U}}{dt}$ pour $t = 0$, on a

$$\varphi(x) = -\left(\frac{\mathrm{G}}{\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\right) x \tag{101}$$

et

$$\psi(x) = 0. \tag{102}$$

La méthode générale s'applique maintenant. Il est inutile de répéter tous les calculs. Voici les principaux résultats qu'on obtient successivement, en faisant, comme toujours, $kt = \zeta$:

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = \mathrm{F}(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix} = -\left(\frac{\mathrm{G}}{2\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\right)\zeta; \tag{103}$$

puis on a

$$\left\{\begin{aligned} f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\3l\end{pmatrix} = {} & -\frac{\mathrm{G}l}{2\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4} - \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4}\sin\frac{2\omega}{k}(\zeta - l) - \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4} \\ & + \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4}\cos\frac{2\omega}{k}(\zeta - l), \end{aligned}\right. \tag{104}$$

$$\left\{\begin{aligned} f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\5l\end{pmatrix} = {} & \frac{2\mathrm{G}l}{2\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4} - \left(\frac{\mathrm{G}}{2\mathrm{E}\sigma}\sin\frac{\pi}{4}\right)\zeta - \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{2\omega}{k}(\zeta - l) \\ & + \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4}\sin\frac{2\omega}{k}(\zeta - 3l) - \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4} \\ & + \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4}\cos\frac{2\omega}{k}(\zeta - l) + \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4} \\ & - \frac{\mathrm{G}}{4\mathrm{E}\sigma}\frac{k}{\omega}\sin\frac{\pi}{4}\cos\frac{2\omega}{k}(\zeta - 3l), \end{aligned}\right. \tag{105}$$

. . . . . .

ou, d'une manière générale et en réduisant, on a, pour tout nombre entier i supérieur ou égal à 0,

$$(106)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix}4il+l\\4il+3l\end{pmatrix}=-\dfrac{(2i+1)}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}-\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\cos\dfrac{(2i+1)2\omega l}{k}\sin\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}} \\ \qquad -\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}+\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\cos\dfrac{(2i+1)2\omega l}{k}\cos\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}} \end{cases}$$

et, pour tout entier i supérieur à o,

$$(107)\quad \begin{cases} f(\zeta)\begin{pmatrix}4il-l\\4il+l\end{pmatrix}=\dfrac{2iGl}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}-\left(\dfrac{G}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}\right)\zeta \\ \qquad -\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\sin\dfrac{4il\omega}{k}\cos\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}} \\ \qquad -\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\sin\dfrac{4il\omega}{k}\sin\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}}. \end{cases}$$

On aura ensuite, pour tout entier i supérieur ou égal à o,

$$(108)\quad \begin{cases} F(-\zeta)\begin{pmatrix}4il+l\\4il+3l\end{pmatrix}=\dfrac{(2i+1)Gl}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4} \\ \qquad +\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\cos\dfrac{(2i+1)2\omega l}{k}\sin\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}} \\ \qquad +\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4} \\ \qquad -\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\cos\dfrac{(2i+1)2\omega l}{k}\cos\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il-l)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}} \end{cases}$$

et, pour tout entier i, supérieur à o,

$$(109)\quad \begin{cases} F(-\zeta)\begin{pmatrix}4il-l\\4il+l\end{pmatrix}=-\dfrac{2iGl}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}+\left(\dfrac{G}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}\right)\zeta \\ \qquad +\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\sin\dfrac{4il\omega}{k}\cos\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}} \\ \qquad +\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\sin\dfrac{4il\omega}{k}\sin\dfrac{2\omega}{k}(\zeta-2il)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}}. \end{cases}$$

A l'aide de ces formules et de la relation (97), on formera maintenant sans difficulté la valeur de u, pour toutes les valeurs possibles de x et de t. Il peut se présenter quatre cas généraux :

1° Si

$$4il+l<x+kt<4il+3l$$

et

$$4il+l<kt-x<4il+3l,$$

on aura

$$(110)\quad \begin{cases} u=\left(1+\dfrac{\omega^2l^2}{2k^2}\right)x-\dfrac{\omega^2x^3}{6k^2} \\ \qquad -\dfrac{G}{2E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\cos\dfrac{(2i+1)2\omega l}{k}\left[\cos\dfrac{2\omega}{k}(k-2il-l)+\sin\dfrac{2\omega}{k}(kt-2il-l)\right]\sin\dfrac{2\omega x}{k}}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}} \end{cases}$$

2° Si

$$4il+l<x+kt<4il+3l$$

et que

$$4il-l<kt-x<4il+l,$$

on aura

$$(111)\quad \begin{cases} u=\left(1+\dfrac{\omega^2 l^2}{2k^2}\right)x-\dfrac{\omega^2 x^3}{6k^2}-\dfrac{(4i+1)Gl}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4} \\ +\left(\dfrac{G}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}\right)(kt-x)-\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}-\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4} \\ \times\dfrac{[\cos(2\omega t)+\sin(2\omega t)]\sin\dfrac{2\omega x}{k}+\left[\sin\dfrac{2\omega}{k}(kt-4il-l)-\cos\dfrac{2\omega}{k}(kt-4il-l)\right]\cos\dfrac{2\omega}{k}(l-x)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}}. \end{cases}$$

3° Si

$$4il-l<x+kt<4il+l$$

et

$$4il-l<kt-x<4il+l,$$

on aura

$$(112)\quad \begin{cases} u=\left(1+\dfrac{\omega^2 l^2}{2k^2}\right)x-\dfrac{\omega^2 x^3}{6k^2}-\left(\dfrac{G}{E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}\right)x \\ +\dfrac{G}{2E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}\dfrac{\sin\dfrac{4il\omega}{k}\left[\sin\dfrac{2\omega}{k}(kt-2il)-\cos\dfrac{2\omega}{k}(kt-2il)\right]\sin\dfrac{2\omega x}{k}}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}}. \end{cases}$$

Et 4° enfin, si

$$4il-l<x+kt<4il+l$$

et que

$$4il-3l<kt-x<4il-l,$$

on aura

$$(113)\quad \begin{cases} u=\left(1+\dfrac{\omega^2 l^2}{2k^2}\right)x-\dfrac{\omega^2 x^3}{6k^2}+\dfrac{(4i-1)Gl}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4} \\ -\left(\dfrac{G}{2E\sigma}\sin\dfrac{\pi}{4}\right)(x+kt)+\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4}-\dfrac{G}{4E\sigma}\dfrac{k}{\omega}\sin\dfrac{\pi}{4} \\ \times\dfrac{[\cos(2\omega t)+\sin(2\omega t)]\sin\dfrac{2\omega x}{k}+\left[\cos\dfrac{2\omega}{k}(kt-4il+l)-\sin\dfrac{2\omega}{k}(kt-4il+l)\right]\cos\dfrac{2\omega}{k}(l-x)}{\cos\dfrac{2\omega l}{k}}. \end{cases}$$

Les formules (110) et (112) conviennent évidemment à l'origine de la tige, puisque, pour $x=0$, la différence entre $x+kt$ et $kt-x$ est nulle. Et, en effet, elles donnent

toutes deux $u=0$ pour $x=0$. Pour une raison semblable, les formules (111) et (113) conviennent à l'extrémité de la tige et il est facile de s'assurer qu'elles satisfont toutes deux à la condition (93) imposée pour cette extrémité.

On formerait de même très-facilement, à l'aide des formules qui précèdent, les valeurs de u pour les premiers instants du phénomène, alors que $x+kt$ et $kt-x$ ne sont pas deux quantités chacune supérieure à l.

Au moyen des valeurs de u, on obtient ensuite immédiatement celles de $\dfrac{du}{dt}$ et de $\dfrac{du}{dx}-1$, c'est-à-dire les vitesses et les allongements proportionnels.

PROBLÈME V.

Il s'agit des vibrations transversales d'une corde tendue. Celle-ci étant en repos et son origine maintenue fixe, on soumet son extrémité à un mouvement alternatif et l'on demande le mouvement vibratoire qui en résultera pour la corde.

On sait que l'équation aux différences partielles est

$$(114)\quad \frac{d^2y}{dt^2}=a^2\frac{d^2y}{dx^2}$$

ou

$$a^2=\frac{glT}{p},$$

en appelant p le poids et l la longueur de la corde. De plus, T est sa tension. En désignant par α l'allongement proportionnel correspondant à cette tension, on a, en conservant les notations antérieures,

$$T=E\sigma\alpha$$

et

$$(115)\quad a^2=\frac{Eg\alpha}{\varpi}.$$

On a ici, pour l'état initial,

$$[\varphi(x)=0, \quad \psi(x)=0], \tag{116}$$

et pour les extrémités, quel que soit t,

$$(y)_{x=0}=0 \tag{117}$$

et

$$(y)_{x=l}=r-r\cos\omega t. \tag{118}$$

Les calculs se faisant toujours de la même manière, je me borne à mentionner les résultats.

En faisant $at=\zeta$, on a

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}=\mathrm{F}(\zeta)\begin{pmatrix}0\\l\end{pmatrix}=0,$$

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}l\\3l\end{pmatrix}=r-r\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-l),$$

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}3l\\5l\end{pmatrix}=r-r\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-l)+r-r\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-3l),$$

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}5l\\7l\end{pmatrix}=r-r\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-l)+r-r\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-3l)+r-r\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-5l),$$

et ainsi de suite; ou, d'une manière générale, pour tout entier $i>0$,

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}2il-l\\2il+l\end{pmatrix}=ir-r\frac{\sin\frac{il\omega}{a}\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-il)}{\sin\frac{\omega l}{a}} \tag{119}$$

et

$$\mathrm{F}(-\zeta)\begin{pmatrix}2il-l\\2il+l\end{pmatrix}=-ir+r\frac{\sin\frac{il\omega}{a}\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-il)}{\sin\frac{\omega l}{a}}. \tag{120}$$

A l'aide de ces formules, on obtient immédiatement y. Il peut se présenter deux cas.

Premier cas :

$$2il-l<x+at<2il+l$$

et

$$2il-l<at-x<2il+l.$$

On a alors

$$y=r\frac{\sin\frac{2i\omega l}{a}\sin\omega t-\left(1-\cos\frac{2i\omega l}{a}\right)\cos\omega t}{\sin\frac{\omega l}{a}}\sin\frac{\omega x}{a}. \tag{121}$$

Pour $x=0$, la différence entre $x+at$ et $at-x$ étant nulle, la formule (121) doit toujours convenir à l'origine de la corde et, en effet, elle donne bien, pour $x=0$,

$$y=0, \quad \text{quel que soit } t.$$

Deuxième cas :

$$2il-l<x+at<2il+l$$

et

$$2il-3l<at-x<2il-l.$$

On a alors

$$y=r-r\frac{\cos\omega t\sin\frac{\omega x}{a}+\cos\frac{\omega}{a}(at-2il+l)\sin\frac{\omega}{a}(l-x)}{\sin\frac{\omega l}{a}}. \tag{122}$$

Cette formule doit toujours convenir à l'extrémité de la corde, puisque, pour $x=l$, la différence entre $x+at$ et $at-x$ est $2l$. Et, en effet, pour $x=l$, elle donne $y=r-r\cos\omega t$.

Dans certaines conditions intéressantes à examiner, le mouvement vibratoire de la corde devient isochrone.

Supposons d'abord

$$\sin\frac{\omega l}{a}=+1 \tag{123}$$

et

$$\frac{\omega l}{a} = \frac{\pi}{2}. \tag{124}$$

Dans ce cas la formule (121) devient, pour i pair,

$$y = 0, \tag{125}$$

et pour i impair,

$$y = -2r\cos\omega t \sin\frac{\omega x}{a}. \tag{126}$$

En même temps la formule (122) donne, pour i pair,

$$y = r + r\sin\left(\omega t - \frac{\omega x}{a}\right), \tag{127}$$

et pour i impair,

$$y = r - r\sin\left(\omega t + \frac{\omega x}{a}\right). \tag{128}$$

Les quatre formules (125), (126), (127), (128) ne contiennent plus i. Mais pour un même point x, la même formule revient chaque fois que at a augmenté de $4l$, car alors le nombre i a augmenté de deux unités et redevient pair s'il était pair, ou impair s'il était impair, et les quantités $x + at$ et $at - x$ sont de nouveau comprises chacune entre des limites des même forme qu'auparavant. Or, si at augmente de $4l$, ωt augmente de $\frac{4\omega l}{a}$, ou de 2π à cause de la formule (124). Mais en même temps on voit que les quatre formules (125), (126), (127), (128) ne changent pas quand ωt s'accroît de 2π. Ainsi donc chaque point de la corde exécute des vibrations isochrones dont la durée est

$$\theta = \frac{2\pi}{\omega} \tag{129}$$

ou

$$\theta = \frac{4l}{a}, \tag{130}$$

soit un temps double des vibrations isochrones que ferait la corde supposée fixe à ses deux extrémités.

Mais il faut pour cela que la vitesse angulaire ω soit celle qui résulte de (124). Si l'on appelle N le nombre de vibrations par seconde, lequel sera celui imprimé à l'extrémité de la corde, on devra avoir

$$N = \frac{a}{4l}. \tag{131}$$

Par exemple, s'il s'agissait d'un fil de fer ou d'acier tendu par une force correspondant à un allongement proportionnel de 0,0016, on aurait

$$N = \frac{200}{4l},$$

et si on avait $l = 0^m,50$, on aurait $N = 100$, ce qui indiquerait la hauteur de son correspondant.

Ce problème présente d'autres particularités intéressantes. Par exemple, si

$$\sin\frac{\omega l}{a} = +1,$$

mais que $\frac{\omega l}{a}$ soit supérieur à $\frac{\pi}{2}$, on aura toujours les mêmes formules (125), (126), (127) et (128), c'est-à-dire que y sera toujours périodique, mais à des intervalles ne correspondant plus à $\theta = \frac{2\pi}{\omega}$.

La même chose aura lieu, si

$$\sin\frac{\omega l}{a} = -1.$$

Dans ce cas, les formules, très-faciles à obtenir, sont tout à fait analogues à (125), (126), (127) et (128).

Enfin, on peut considérer le cas où

$$\sin\frac{\omega l}{a} = 0,$$

c'est-à-dire où $\frac{\omega l}{a}$ est un multiple de π. Dans ce cas, les deux formules générales (121) et (122) se présentent sous la forme $\frac{0}{0}$. Mais il est facile d'obtenir leur vraie valeur qui est, pour l'équation (121),

$$y = 2ir\frac{\sin\omega t\sin\frac{\omega x}{a}}{\cos\frac{\omega l}{a}}. \tag{132}$$

et pour la formule (122),

$$y = r - r\frac{\cos\omega t\cos\frac{\omega x}{a} - (2i-1)\sin\omega t\sin\frac{\omega x}{a}}{\cos\frac{\omega l}{a}}. \tag{133}$$

On voit qu'alors les valeurs de y ne sont plus soumises à la périodicité et qu'elles tendraient à croître indéfiniment avec i.

PROBLÈME VI.

On peut encore traiter le problème précédent avec des données différentes.

Ainsi, par exemple, au lieu que l'origine de la corde soit fixe, on peut la soumettre au même mouvement que l'extrémité, de sorte que, pour $x = 0$ comme pour $x = l$, on ait

$$y = r - r\cos\omega t.$$

On obtient alors les quatre formules types suivantes, pour tout entier i :

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}2il-l\\2il\end{pmatrix} = r - r\frac{\cos\frac{(2i-1)\omega l}{2a}\cos\frac{\omega}{k}(\zeta-il)}{\cos\frac{\omega l}{2a}}, \tag{134}$$

$$f(\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+l\end{pmatrix} = r\frac{\sin\frac{i\omega l}{a}\sin\frac{\omega}{a}\left(\zeta-il-\frac{l}{2}\right)}{\cos\frac{\omega l}{2a}}, \tag{135}$$

$$\mathrm{F}(-\zeta)\begin{pmatrix}2il-l\\2il\end{pmatrix} = r\frac{\sin\frac{i\omega l}{a}\sin\frac{\omega}{a}\left(\zeta-il+\frac{l}{2}\right)}{\cos\frac{\omega l}{2a}}, \tag{136}$$

$$\mathrm{F}(-\zeta)\begin{pmatrix}2il\\2il+l\end{pmatrix} = r - r\frac{\cos\frac{(2i+1)\omega l}{2a}\cos\frac{\omega}{a}(\zeta-il)}{\cos\frac{\omega l}{2a}}. \tag{137}$$

A l'aide de ces quatre types, on forme la valeur de y pour toutes celles de x et de t. On se rend compte aisément qu'il peut y avoir six combinaisons de ces formules.

On reconnaît aussi que, quand $\cos\frac{\omega l}{2a} = \pm 1$, c'est-à-dire quand $\frac{\omega l}{a}$ est un multiple de 2π, la valeur de y est périodique, et que, quand $\cos\frac{\omega l}{2a} = 0$ ou que, quand $\frac{\omega l}{a}$ est un multiple impair de π, la valeur de y tend à croître indéfiniment.

PROBLÈME VII.

On peut encore changer les données du problème précédent de la manière suivante :

On suppose que, pour $x=0$, on ait

$$y=-r+r\cos\omega t,$$

et que, pour $x=l$, on ait

$$y=r-r\cos\omega t.$$

Alors les deux extrémités du fil ont à chaque instant un mouvement inverse.

Voici quels sont les résultats auxquels on parvient. Il y a trois cas.

Premier cas :

$$il<x+at<il+l$$

et

$$il<at-x<il+l.$$

On a alors

$$(138)\qquad y=-r+r\frac{\cos\frac{\omega}{2a}(2at-2il-l)\sin\frac{\omega x}{a}-\cos\omega t\sin\frac{\omega}{2a}(2x-l)}{\sin\frac{\omega l}{2a}}.$$

Deuxième cas :

$$il<x+at<il+l,$$

$$il-l<at-x<il.$$

On a

$$(139)\qquad y=2r\frac{\sin\frac{i\omega l}{2a}\sin\frac{\omega}{2a}(2at-il)\sin\frac{\omega}{2a}(2x-l)}{\sin\frac{\omega l}{2a}}.$$

Troisième cas :

$$il<x+at<il+l,$$

$$il-2l<at-x<il-l.$$

On a

$$(140)\qquad y=r-r\frac{\cos\frac{\omega}{2a}(2at-2il+l)\sin\frac{\omega}{a}(l-x)+\cos\omega t\sin\frac{\omega}{2a}(2x-l)}{\sin\frac{\omega l}{2a}}.$$

L'origine de la corde qui répond à $x=0$ correspond toujours à l'équation (138). Et en effet, si l'on fait, dans cette dernière formule, $x=0$, on a

$$y=-r+r\cos\omega t.$$

De même, l'extrémité de la corde répond toujours à l'équation (140). Or, si l'on y fait $x=l$, on a, comme cela devait être,

$$y=r-r\cos\omega t.$$

Par une raison semblable, le milieu du fil répond toujours à l'équation (139). Or, si l'on fait $x=\frac{l}{2}$ dans cette formule, on a $y=0$, quel que soit t, ce qui montre que, dans ces circonstances, le milieu de la corde reste en repos pendant tout le mouvement.

CHAPITRE II.

Le principe du deuxième procédé que j'ai appliqué est de ramener la question au cas où les conditions imposées aux extrémités des corps sont invariables, au lieu d'être des fonctions du temps, problème que l'on résout ensuite par les méthodes ordinaires. Il suppose seulement que les fonctions dont il s'agit sont d'une certaine forme, mais qui se trouve être précisément celle que l'on rencontre le plus ordinairement dans les applications.

Soit d'abord l'équation déjà examinée dans le premier chapitre, et qui est le type de l'équation des cordes vibrantes ou des mouvements longitudinaux des tiges,

$$(1)\qquad \frac{d^2u}{dt^2}=h^2\frac{d^2u}{dx^2}.$$

Je fais

$$(2)\qquad u=u_1+U,$$

et je me propose de déterminer u_1 de telle manière que, dans les équations de condition relatives aux extrémités, cette fonction u_1 fasse disparaître les fonctions du temps dont il s'agit. Alors la recherche de U sera ramenée au problème ordinaire, c'est-à-dire que pour U les conditions relatives aux extrémités seront invariables, et U devra en outre satisfaire à l'état initial modifié par u_1.

Supposons que les fonctions arbitraires du temps dont il s'agit ne contiennent que des termes périodiques. C'est bien, en effet, ce qui arrive presque toujours dans les applications, particulièrement dans les machines. Soit, par exemple,

$$\mathrm{I}\sin\omega t$$

l'un de ces termes, entrant dans l'une quelconque des équations de condition, I et ω étant deux constantes.

J'introduirai, en conséquence, dans la valeur de u_1, une expression correspondante telle que

$$\left(\mathrm{A}_1 \sin\frac{\omega x}{k} + \mathrm{B}_1 \cos\frac{\omega x}{k}\right)\sin\omega t,$$

qui satisfait d'elle-même à l'équation (1) et qui contient deux constantes indéterminées A_1 et B_1. J'en fais autant pour chaque terme périodique entrant dans l'une ou l'autre des équations relatives aux extrémités, de sorte que u_1 contiendra deux fois autant de constantes indéterminées qu'il y a de ces termes dans l'une ou l'autre des équations de condition, et, comme ces dernières, d'après la nature de l'équation (1), sont elles-mêmes au nombre de deux, on aura précisément le nombre d'équations nécessaire pour déterminer toutes les constantes A_1, B_1, etc., en égalant séparément à zéro tous les facteurs des termes périodiques qui se trouveront dans les équations de condition, lorsqu'on y aura substitué u_1 pour u.

S'il se trouvait dans les équations de condition des termes

constants ou proportionnels à la première ou à la deuxième puissance de t, on les fera disparaître par une simple adjonction à u_1, comme on le verra dans les exemples qui suivent.

S'il entrait dans l'expression des fonctions du temps données des termes en exponentielles, on les ferait disparaître de même.

Soit maintenant l'équation aux différences partielles qui régit les vibrations transversales des verges, et qui est

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -k^2\frac{d^4y}{dx^4}, \tag{3}$$

où k^2 est un nombre généralement très-grand dont la valeur est

$$k^2 = \frac{\mathrm{M}g}{\varpi},$$

M étant le moment d'élasticité, ϖ le poids de l'unité de volume de la verge et g la gravité.

On fera encore

$$y = y_1 + \mathrm{Y}, \tag{4}$$

et il faudra que y_1 soit déterminé de manière à faire disparaître les fonctions du temps des équations de condition qui, dans ce genre de question, sont toujours au nombre de quatre.

Ici, il faut que, à part les termes constants et proportionnels à la première ou à la deuxième puissance de t, les équations de condition ne renferment que des termes périodiques, et c'est bien ainsi, en effet, que cela se présente dans les applications.

Soit donc, par exemple,

$$\mathrm{I}\cos\omega t$$

l'un de ces termes ; on introduira, dans la valeur de y, une expression correspondante

$$\left[A_1 \sin\sqrt{\frac{\omega}{k}}x+B_1\cos\sqrt{\frac{\omega}{k}}x+C_1\frac{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}x}-e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}x}}{2}+D_1\frac{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}x}+e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}x}}{2}\right]\cos\omega t,$$

laquelle satisfait à l'équation (3) et qui renferme quatre coefficients indéterminés

$$A_1,\ B_1,\ C_1 \text{ et } D_1.$$

On en fera autant pour tout terme périodique introduit dans l'une ou l'autre des quatre équations de condition par les fonctions arbitraires, et l'on voit qu'on pourra déterminer par de simples équations du premier degré tous ces coefficients A_1, B_1, C_1, D_1, etc., de manière à faire disparaître des équations relatives aux extrémités tout ce qui dépend du temps.

PROBLÈME I.

Déterminer le mouvement d'une tige douée d'un mouvement dans le sens de sa longueur.

L'origine a un mouvement alternatif donné et l'extrémité est libre.

On a, en conservant les notations du premier chapitre,

$$\frac{d^2u}{dt^2}=k^2\frac{d^2u}{dx^2}, \tag{1}$$

$$(u)_{x=0}=r-r\cos\omega t, \tag{2}$$

$$\left(\frac{du}{dx}\right)_{x=l}=1. \tag{3}$$

Puis l'état initial donné est

$$(u)_{t=0}=x, \tag{4}$$

et

$$\left(\frac{du}{dt}\right)_{t=0}=0. \tag{5}$$

On se rappelle que ce problème a été traité différemment dans le premier chapitre.

Posons

$$u=u_1+U, \tag{6}$$

et soit

$$u_1=M+Nx+\left(A_1\sin\frac{\omega x}{k}+B_1\cos\frac{\omega x}{k}\right)\cos\omega t, \tag{7}$$

M, N, A_1 et B_1 étant des coefficients à déterminer.

Je substitue cette valeur de u_1 à la place de u dans l'équation (2) et dans l'équation (3), et j'ai

$$M+B_1\cos\omega t=r-r\cos\omega t,$$

$$N+\frac{\omega}{k}\left(A_1\cos\frac{\omega l}{k}-B_1\sin\frac{\omega l}{k}\right)\cos\omega t=1,$$

relations auxquelles on satisfait identiquement en faisant

$$M=r,\qquad N=1,$$

$$A_1=-r\frac{\sin\frac{\omega l}{k}}{\cos\frac{\omega l}{k}}\quad\text{et}\quad B_1=-r.$$

La valeur de u_1 est donc

$$u_1=x+r-r\frac{\cos\frac{\omega}{k}(l-x)\cos\omega t}{\cos\frac{\omega l}{k}}. \tag{8}$$

On aura maintenant, pour déterminer U, les équations suivantes

$$\frac{d^2U}{dt^2} = k^2 \frac{d^2U}{dx^3}, \tag{9}$$

$$(U)_{x=0} = 0, \tag{10}$$

$$\left(\frac{dU}{dx}\right)_{x=l} = 0, \tag{11}$$

et pour l'état initial,

$$(U)_{t=0} = \varphi(x) \tag{12}$$

et

$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_{t=0} = \psi(x), \tag{13}$$

où

$$\varphi(x) = x - (u_1)_{t=0} \quad \text{et} \quad \psi(x) = -\left(\frac{du_1}{dt}\right)_{t=0}.$$

soit

$$\varphi(x) = -r + r\frac{\cos\frac{\omega}{k}(l-x)}{\cos\frac{\omega l}{k}} \tag{14}$$

et

$$\psi(x) = 0. \tag{15}$$

Or, U s'obtient par les méthodes connues. Posons

$$U = \sum (A_m \sin mx \sin kmt + B_m \sin mx \cos kmt). \tag{16}$$

Je ne mets pas des termes multipliés par $\cos mx$, puisque, pour $x = 0$, on doit avoir $U = 0$, de sorte que la condition (10) est déjà satisfaite. On satisfait aussi à la condition (11) en déterminant m d'après l'équation

$$\cos ml = 0$$

ou

$$m = \frac{(2i+1)\pi}{2l}, \tag{17}$$

où i est un nombre entier quelconque, que l'on peut supposer positif.

Les coefficients A_m et B_m se déterminent par les procédés d'élimination connus, et en appelant A_i et B_i ce que sont ces coefficients pour chaque valeur de i, on trouve très-facilement

$$A_i = 0,$$

$$B_i = \frac{2}{l}\int_0^l \varphi(x) \sin\frac{(2i+1)\pi x}{2l}\, dx.$$

On a donc, en résumé,

$$\left\{\begin{aligned} u &= x + r - r\frac{\cos\frac{\omega}{k}(l-x)\cos\omega t}{\cos\frac{\omega l}{k}} \\ &+ \frac{2}{l}\sum\left(\int_0^l \varphi(x)\sin\frac{(2i+1)\pi x}{2l}\,dx\right)\sin\frac{(2i+1)\pi x}{2l}\cos\frac{(2i+1)\pi kt}{2l}, \end{aligned}\right. \tag{18}$$

le signe $\sum$ s'étendant à toutes les valeurs i depuis 0 jusqu'à l'infini.

Même exemple que le précédent, sauf que l'origine de la tige, au lieu de recevoir un mouvement alternatif, a un mouvement uniformément varié.

Les calculs étant très-simples, je me borne à énoncer les résultats, qui sont

$$u_1 = \frac{1}{2}\gamma t^2 + \left(1 + \frac{\gamma l}{k^2}\right)x + \frac{\gamma x^2}{2k^2} \tag{19}$$

et

$$U = \frac{2}{l}\sum\left(\int_0^l \varphi(x)\sin\frac{(2i+1)\pi x}{2l}\,dx\right)\sin\frac{(2i+1)\pi x}{2l}\cos\frac{(2i+1)\pi kt}{2l}, \tag{20}$$

avec

$$\varphi(x) = \frac{\gamma l}{k^2}x - \frac{\gamma x^2}{2k^2}.$$

γ est l'accélération du mouvement de l'origine de la tige, de sorte que, pour $x=0$, on a, quel que soit t,

$$u=\frac{1}{2}\gamma t^2.$$

On a, d'ailleurs, pour toutes les valeurs de x et de t,

$$u=u_1+U.$$

PROBLÈME II.

Déterminer le mouvement d'une tige de piston dont l'origine a un mouvement alternatif et dont l'extrémité reçoit par l'intermédiaire d'un piston l'action de la vapeur.

Je conserve les mêmes notations que dans le chapitre I^er^.

Les équations du problème sont

$$(21)\quad \begin{cases} \dfrac{d^2u}{dt^2}=k^2\dfrac{d^2u}{dx^2}, \\ (u)_{t=0}=x, \qquad \left(\dfrac{du}{dt}\right)_{t=0}=0, \\ (u)_{x=0}=r-r\cos\omega t, \\ \dfrac{P}{g}\left(\dfrac{d^2x}{dt^2}\right)_{x=l}+E\sigma\left(\dfrac{du}{dx}\right)_{x=l}=G\sin\dfrac{\pi}{4}(\cos\omega t+\sin\omega t)+E\sigma. \end{cases}$$

Soit

$$(22)\qquad u=u_1+U.$$

Faisons ici

$$(23)\quad \begin{cases} u_1=M+Nx+\left(A_1\sin\dfrac{\omega x}{k}+B\cos\dfrac{\omega x}{k}\right)\sin\omega t \\ \qquad +\left(C_1\sin\dfrac{\omega x}{k}+D_1\cos\dfrac{\omega x}{k}\right)\cos\omega t. \end{cases}$$

En substituant cette valeur de u_1 pour u dans les deux

équations de condition relatives aux extrémités, nous avons :

$$(24)\qquad M+B_1\sin\omega t+D_1\cos\omega t=r-r\cos\omega t,$$

$$(25)\quad \begin{cases} -\dfrac{P\omega^2}{g}\left(A_1\sin\dfrac{\omega l}{k}+B_1\cos\dfrac{\omega l}{k}\right)\sin\omega t \\ -\dfrac{P\omega^2}{g}\left(C_1\sin\dfrac{\omega l}{k}+D_1\cos\dfrac{\omega l}{k}\right)\cos\omega t \\ +E\sigma N+E\sigma\dfrac{\omega}{k}\left(A_1\cos\dfrac{\omega l}{k}-B_1\sin\dfrac{\omega l}{k}\right)\sin\omega t \\ +E\sigma\dfrac{\omega}{k}\left(C_1\cos\dfrac{\omega l}{k}-D_1\sin\dfrac{\omega l}{k}\right)\cos\omega t \\ =E\sigma+G\sin\dfrac{\pi}{4}(\cos\omega t+\sin\omega t). \end{cases}$$

Or, on satisfait identiquement aux équations (24) et (25) par les valeurs suivantes des constantes

$$M=r, \qquad N=1,$$

$$A_1=\frac{G\sin\dfrac{\pi}{4}}{E\sigma\dfrac{\omega}{k}\cos\dfrac{\omega l}{k}-\dfrac{P\omega^2}{g}\sin\dfrac{\omega l}{k}},$$

$$B_1=0,$$

$$C_1=\frac{G\sin\dfrac{\pi}{4}-r\left(E\sigma\dfrac{\omega}{k}\sin\dfrac{\omega l}{k}+\dfrac{P\omega^2}{g}\cos\dfrac{\omega l}{k}\right)}{E\sigma\dfrac{\omega}{k}\cos\dfrac{\omega l}{k}-\dfrac{P\omega^2}{g}\sin\dfrac{\omega l}{k}},$$

$$D_1=-r.$$

Il résulte de là que

$$(26)\quad \begin{cases} u_1 = x + r + \dfrac{G \sin\frac{\pi}{4} \operatorname{sih}\frac{\omega x}{k}(\cos\omega t + \sin\omega t)}{E\sigma\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega l}{k} - \frac{P\omega^2}{g}\sin\frac{\omega l}{k}} \\ \quad - r\cos\omega t\,\dfrac{E\sigma\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega}{k}(l-x) - \frac{P\omega^2}{g}\sin\frac{\omega}{k}(l-x)}{E\sigma\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega l}{k} - \frac{P\omega^2}{g}\sin\frac{\omega l}{k}}. \end{cases}$$

On a maintenant pour déterminer U les équations suivantes :

$$(27)\quad \frac{d^2U}{dt^2} = k^2\frac{d^2U}{dx^2},$$

$$(28)\quad (U)_{x=0} = 0,$$

$$(29)\quad \frac{P}{g}\left(\frac{d^2U}{dt^2}\right)_{x=l} + E\sigma\left(\frac{dU}{dx}\right)_{x=l} = 0,$$

$$(30)\quad (U)_{t=0} = \varphi(x) = x - (u_1)_{t=0},$$

$$(31)\quad \left(\frac{dU}{dt}\right)_{t=0} = \psi(x) = -\left(\frac{du_1}{dt}\right)_{t=0}.$$

On vérifiera l'équation (27) par une somme telle que

$$(32)\quad U = \sum (A_m \sin mx \sin kmt + B_m \sin mx \cos kmt).$$

Je n'introduis pas de termes multipliés par $\cos mx$, afin de satisfaire tout d'abord à l'équation (28).

La condition (29) conduit ensuite à la relation

$$ml \sin ml = \frac{E\sigma ql}{Pk^2}\cos ml,$$

ou, en appelant p le poids de la tige qui est égal à $\varpi\sigma\, l$, on a

$$(33)\quad ml \operatorname{tang} ml = \frac{p}{P},$$

équation qui détermine les coefficients m.

En faisant $ml = \mu$, on a donc

$$(34)\quad \mu \operatorname{tang}\mu = \frac{p}{P}.$$

On voit de suite qu'il y a une infinité de valeurs de μ la première comprise entre o et $\frac{\pi}{2}$; la deuxième entre π et $\pi+\frac{\pi}{2}$; la troisième entre 2π et $2\pi+\frac{\pi}{2}$, et ainsi de suite. On a donc

$$U = \sum\left(A_\mu \sin\frac{\mu x}{l}\sin\frac{k\mu t}{l} + B_\mu \sin\frac{\mu x}{l}\cos\frac{k\mu t}{l}\right).$$

Les coefficients A_μ et B_μ se déterminent d'après l'état initial et par les méthodes d'élimination connues, en se fondant sur ce que, à cause de l'équation (34), on a toujours, pour deux valeurs différentes μ' et μ'' de μ, satisfaisant à l'équation (34),

$$\int_0^l \cos\frac{\mu' x}{l}\cos\frac{\mu'' x}{l}\,dx = 0,$$

relation qui n'a plus lieu quand $\mu' = \mu''$. On en conclut

$$(35)\quad A_\mu = \frac{2l}{k\mu(\mu+\sin\mu\cos\mu)}\int_0^l \frac{d\psi(x)}{dx}\cos\frac{\mu x}{l}\,dx,$$

et

$$(36)\quad B_\mu = \frac{2}{\mu+\sin\mu\cos\mu}\int_0^l \frac{d\varphi(x)}{dx}\cos\frac{\mu x}{l}\,dx.$$

En faisant les calculs, on trouve beaucoup de simplifications : d'une part, à cause de la relation (34), et ensuite en ayant égard à ce que

$$E\sigma\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega l}{k} - \frac{P\omega^2}{g}\sin\frac{\omega l}{k} = \frac{Pk\omega}{gl}\cos\frac{\omega l}{k}\left(\frac{p}{P} - \frac{\omega l}{k}\operatorname{tang}\frac{\omega l}{k}\right).$$

On obtient enfin

$$(37)\quad A_\mu = -\frac{2l^3 G g\omega \sin\frac{\pi}{4}}{Pk^3}\,\frac{\cos\mu}{\mu(\mu+\sin\mu\cos\mu)\left[\mu^2-\left(\frac{\omega l}{k}\right)^2\right]},$$

et

$$(38)\quad B_\mu = \frac{2l^2}{k^2}\,\frac{1}{(\mu+\sin\mu\cos\mu)\left[\mu^2-\left(\frac{\omega l}{k}\right)^2\right]}\left(-\frac{Gg}{P}\sin\frac{\pi}{4}\cos\mu+\omega^2 r\right).$$

On a donc, en résumé, pour la solution cherchée,

$$(39)\quad \left\{\begin{aligned} u = x + r &+ \frac{G\sin\frac{\pi}{4}\ n\frac{\omega x}{k}(\cos\omega t+\sin\omega t)}{E\sigma\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega l}{k}-\frac{P\omega^2}{g}\sin\frac{\omega l}{k}} \\ &- r\cos\omega t\,\frac{E\sigma\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega}{k}(l-x)-\frac{P\omega^2}{g}\sin\frac{\omega}{k}(l-x)}{E\sigma\frac{\omega}{k}\cos\frac{\omega l}{k}-\frac{P\omega^2}{g}\sin\frac{\omega l}{k}} \\ &- \frac{2l^3 G g\omega\sin\frac{\pi}{4}}{Pk^3}\sum\frac{\cos\mu\sin\frac{\mu x}{l}\sin\frac{k\mu t}{l}}{\mu(\mu+\sin\mu\cos\mu)\left[\mu^2-\left(\frac{\omega l}{k}\right)^2\right]} \\ &+ \frac{2l^2}{k^2}\sum\frac{\left(\omega^2 r-\frac{Gg}{P}\sin\frac{\pi}{4}\cos\mu\right)\sin\frac{\mu x}{l}\cos\frac{k\mu t}{l}}{(\mu+\sin\mu\cos\mu)\left[\mu^2-\left(\frac{\omega l}{k}\right)^2\right]}. \end{aligned}\right.$$

PROBLÈME III.

Oscillations de la corde vibrante.

Les données sont

$$(40)\quad \frac{d^2y}{dt^2} = a^2\frac{d^2y}{dx^2},$$

$$(41)\quad [(y)_{x=0}=0,\quad (y)_{x=l}=r-r\cos\omega t],$$

$$(42)\quad \left[(y)_{t=0}=0,\quad \left(\frac{dy}{dt}\right)_{t=0}=0\right].$$

Je fais

$$(43)\quad y = y_1 + Y,$$

et

$$y_1 = M + Mx + \left(A_1\sin\frac{\omega x}{a}+B_1\cos\frac{\omega x}{a}\right)\cos\omega t.$$

En substituant y_1 pour y dans les deux équations de condition (41), on en tire immédiatement

$$M=0,\quad N=\frac{r}{l},$$

$$A_1 = -\frac{r}{\sin\frac{\omega l}{a}}\quad\text{et}\quad B_1=0.$$

On a donc

$$(44)\quad y_1 = \frac{rx}{l}-\frac{r\sin\frac{\omega x}{a}\cos\omega t}{\sin\frac{\omega l}{a}}.$$

On a ensuite, pour déterminer Y, les équations

$$(45)\qquad \begin{cases} \dfrac{d^2Y}{dt^2} = a^2 \dfrac{d^2Y}{dx^2}, \\ (Y)_{x=0} = 0, \quad (Y)_{x=l} = 0, \\ (Y)_{t=0} = \varphi(x) = -(y_1)_{t=0}, \\ \left(\dfrac{dY}{dt}\right)_{t=0} = \psi(x) = -\left(\dfrac{dy_1}{dt}\right)_{t=0}. \end{cases}$$

On y satisfait par une expression

$$(46)\qquad Y = \sum \left(A_i \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \frac{i\pi a t}{l} + B_i \sin \frac{i\pi x}{l} \cos \frac{i\pi a t}{l} \right),$$

où les coefficients A_i et B_i se déterminent d'après l'état initial et par les méthodes d'élimination connues. On a

$$A_i = 0 \quad \text{et} \quad B_i = -2r \left(\frac{\omega l}{a}\right)^2 \frac{\cos i\pi}{i\pi \left[(i\pi)^2 - \left(\dfrac{\omega l}{a}\right)^2 \right]},$$

et l'on a en résumé

$$(47)\qquad \begin{cases} Y = \dfrac{rx}{l} - \dfrac{r \sin \dfrac{\omega x}{a}}{\sin \dfrac{\omega l}{a}} \cos \omega t \\ \qquad - 2r \left(\dfrac{\omega l}{a}\right)^2 \sum \dfrac{\cos i\pi \sin \dfrac{i\pi x}{l} \cos \dfrac{i\pi a t}{l}}{i\pi \left[(i\pi)^2 - \left(\dfrac{\omega l}{a}\right)^2 \right]}. \end{cases}$$

PROBLÈME IV.

Je passe maintenant à un exemple relatif à un autre type d'équations aux différences partielles. Il s'agit ici de celle qui régit les vibrations transversales des verges élastiques.

Je suppose une barre, comme une bielle d'accouplement de machines locomotives, dont les deux extrémités reçoivent directement un même mouvement alternatif perpendiculairement à l'axe de la bielle. Il s'agit de déterminer les mouvements moléculaires de toutes les parties de cette bielle.

L'équation aux différences partielles est

$$(48)\qquad \frac{d^2y}{dt^2} = -k^2 \frac{d^4y}{dx^4},$$

ou k^2 est un nombre très-grand dont la valeur est

$$k^2 = \frac{Mg}{\varpi},$$

M étant le moment d'élasticité de cette bielle, g la gravité et ϖ le poids de l'unité de volume de la matière.

Les conditions imposées aux extrémités sont

$$(49)\qquad (y)_{x=0} = r \sin \omega t,$$

$$(50)\qquad \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_{x=0} = 0,$$

$$(51)\qquad (y)_{x=l} = r \sin \omega t,$$

$$(52)\qquad \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)_{x=l} = 0.$$

Les conditions (50) et (52) expriment qu'aux deux extrémités de la bielle, lesquelles ne sont pas encastrées, le rayon de courbure est infini.

Je suppose de plus qu'à l'origine du mouvement on ait

$$(53)\qquad (y)_{t=0} = 0,$$

et

$$(54)\qquad \left(\frac{dy}{dt}\right)_{t=0} = \omega r.$$

Je ne suppose pas ici, comme dans les problèmes pré-

cédents, la vitesse initiale nulle, puisqu'il faut qu'elle soit compatible avec celle qui résulte des conditions imposées aux extrémités.

Je fais maintenant

$$y = y_1 + Y, \tag{55}$$

et

$$\left\{ y_1 = \left[A_1 \sin\left(\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, x\right) + B_1 \cos\left(\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, x\right) + C_1 \frac{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}x} - e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}x}}{2} + D_1 \frac{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}x} + e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}x}}{2} \right] \sin \omega t. \right. \tag{56}$$

Je détermine les quatre coefficients A_1, B_1, C_1 et D_1 en substituant y_1 pour y dans les quatre conditions relatives aux extrémités, ce qui donne immédiatement

$$A_1 = \frac{1}{2} r \frac{1 - \cos\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, l}{\sin\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, l},$$

$$B_1 = \frac{1}{2} r,$$

$$C_1 = r \frac{1 - \frac{1}{2}\left(e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, l} + e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, l}\right)}{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, l} - e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}\, l}},$$

$$D_1 = \frac{1}{2} r,$$

d'où l'on conclut, après quelques réductions,

$$y_1 = \frac{1}{2} r \sin \omega t \left[\frac{\cos\sqrt{\frac{\omega}{k}}\left(x - \frac{l}{2}\right)}{\cos\sqrt{\frac{\omega}{k}}\frac{l}{2}} + \frac{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}\left(x-\frac{l}{2}\right)} + e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}\left(x-\frac{l}{2}\right)}}{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}}\frac{l}{2}} + e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}}\frac{l}{2}}} \right], \tag{57}$$

On a maintenant pour déterminer Y les équations

$$\frac{d^2Y}{dt^2} = -k^2 \frac{d^4Y}{dx^4},$$

$$(Y)_{x=0} = 0, \quad (Y)_{x=l} = 0,$$

$$\left(\frac{d^2Y}{dx^2}\right)_{x=0} = 0, \quad \left(\frac{d^2Y}{dx^2}\right)_{x=l} = 0,$$

$$(Y)_{t=0} = 0, \quad \left(\frac{dY}{dt}\right)_{t=0} = \omega r - \left(\frac{dy_1}{dt}\right)_{t=0}.$$

Poisson a donné la solution, dans tous les cas possibles, de ce dernier genre de question, les conditions imposées aux extrémités ne variant pas avec le temps (*voir* sa *Mécanique* et son *Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques*, t. VIII des *Mémoires de l'Académie des Sciences*).

On a ici

$$\left\{ Y = \sum \left[\left(A_m \sin mx + A'_m \cos mx + B_m \frac{e^{mx} - e^{-mx}}{2} + B'_m \frac{e^{mx} + e^{-mx}}{2} \right) \sin m^2 kt + \left(C_m \sin mx + C'_m \cos mx + D_m \frac{e^{mx} - e^{-mx}}{2} + D'_m \frac{e^{mx} + e^{-mx}}{2} \right) \cos m^2 kt \right]. \right. \tag{8}$$

Les conditions imposées aux extrémités conduisent facilement à cette conséquence que tous les coefficients sont nuls, excepté A_m et C_m, et que

$$\sin ml = 0$$

ou

$$m = \frac{i\pi}{l}, \tag{59}$$

i étant un entier quelconque.

Mettant A_i et C_i au lieu de A_m et C_m, on a donc

$$Y = \sum \left[A_i \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \left(\frac{i\pi}{l}\right)^2 kt + C_i \sin \frac{i\pi x}{l} \cos \left(\frac{i\pi}{l}\right)^2 kt \right].$$

Les coefficients A_i et C_i se déterminent par les méthodes connues et d'après les valeurs initiales de Y et de $\frac{dY}{dt}$, d'où il résulte

$$C_i = 0$$

et

$$A_i = -2r \left(\frac{\omega l^2}{k}\right)^3 \frac{1 - \cos i\pi}{(i\pi)^3 \left[(i\pi)^4 - \left(\frac{\omega l^2}{k}\right)^2 \right]},$$

et l'on a en résumé

(60)
$$\left\{ \begin{aligned} y = {} & \frac{1}{2} r \sin \omega t \left[\frac{\cos \sqrt{\frac{\omega}{k}} \left(x - \frac{l}{2}\right)}{\cos \sqrt{\frac{\omega}{k}} \frac{l}{2}} + \frac{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}} \left(x - \frac{l}{2}\right)} + e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}} \left(x - \frac{l}{2}\right)}}{e^{\sqrt{\frac{\omega}{k}} \frac{l}{2}} + e^{-\sqrt{\frac{\omega}{k}} \frac{l}{2}}} \right] \\ & - 2r \left(\frac{\omega l^2}{k}\right) \sum \frac{(1 - \cos i\pi) \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \left(\frac{i\pi}{l}\right)^2 kt}{(i\pi)^3 \left[(i\pi)^4 - \left(\frac{\omega l^2}{k}\right)^2 \right]}, \end{aligned} \right.$$

ce qui est la solution générale de la question proposée.

Il est à remarquer que les intégrations effectuées ont fait disparaître les exponentielles de dessous le signe $\sum$, d'où il résulterait qu'à moins de certaines valeurs particulières de ω, l'ordonnée y ne tendrait pas à croître indéfiniment.

Il n'y aura lieu de tenir compte que des valeurs impaires de i, à cause du facteur $1 - \cos i\pi$.

Les données de ce problème pourraient être variées de bien des manières qui toutes se traiteraient par le même procédé.

NOTICE

SUR UNE EXPLORATION GÉOLOGIQUE A MADAGASCAR PENDANT L'ANNÉE 1863.

Par M. Ed. GUILLEMIN, ingénieur des mines (*).

On possède très-peu de données géologiques sur Madagascar; les indications des voyageurs et des marins sont restées complétement vagues sous ce rapport. On sait seulement d'une manière générale que les roches anciennes, les roches éruptives et les basaltes sont très-répandues sur la surface de cette terre.

Quant aux richesses minérales, on en a jusqu'ici développé la nomenclature sans fournir à leur égard la moindre indication précise.

J'ai dernièrement parcouru à la hâte les trois dixièmes environ des côtes de cette grande île et m'y suis livré à quelques études géologiques.

C'est le résultat de ce voyage, qui définit d'une manière générale la géologie de la partie nord de Madagascar, que je vais exposer.

Cette île, à laquelle conviendrait mieux le nom de *Grande-Terre* que lui donnent les Malgaches, s'étend du 11e degré 57′ de latitude sud au 25e degré 34′ latitude sud, du cap d'Ambre au cap Sainte-Marie.

Ses points extrêmes en longitude sont compris entre 41°,20′ et 48°,10′ de longitude est de la pointe du Manambar au cap Est.

Le grand axe de l'île, orienté N.,16°,35′,E. sur le méri-

(*) Voir aussi *Revue de géologie*, tome III, page 365.

dien central, a une longueur de 155 myriamètres, le rapport du grand axe au petit est :: 20 : 7.

La surface de l'île, plus grande que celle de la France, mesure 557.000 kilomètres carrés.

Elle est séparée du continent africain, dont elle fait géologiquement partie, par le canal de Mozambique, qui, au point le plus resserré, offre une largeur de 216 milles marins, soit près de 400 kilomètres, cette largeur étant prise entre la cap Saint-André de Madagascar et la pointe Bajone de Mozambique.

Description de la côte Est.

Lorsqu'on s'approche du Madagascar en venant de la Réunion, pour aborder à Tamatave, principal port de la côte Est, on découvre la terre dominée à l'horizon par une série de chaînes parallèles qui sont étagées et vont successivement en s'élevant jusqu'à d'autres chaînes qu'on n'aperçoit pas et dont la dernière, la chaîne d'Angove, forme le dernier gradin de cet ensemble et constitue le point culminant de l'île, dans sa partie centrale.

La région montagneuse commence à 30 ou 40 kilomètres des côtes, laissant entre la mer et la première chaîne une longue zone sablonneuse. On y reconnaît, aux collines arrondies et sans ordre qui mouvementent la plaine, une grande formation de dunes que la végétation a fixé en divers points.

Un cordon de sable continu, résultat de l'action actuelle de la mer, barre tous les cours d'eau qui viennent de l'intérieur et encaisse une série de lacs qui se succèdent depuis Yvondrou, au sud de Tamatave, jusqu'à Mananjary, sur une étendue de côte de près de 3 degrés soit 330 kilomètres.

Dans la saison des pluies le niveau des lacs s'élève, le trop plein se déverse par les dépressions du cordon littoral

et ouvre aux fleuves des embouchures nouvelles que la mer ne tarde pas à refermer.

Au delà des lacs, les dépressions de la plaine forment entre les collines de vastes marais couverts d'une végétation particulière. Sur les dunes voisines, le copalier, le grand nath, le petit nath et le vacoa se sont développés spontanément et ont fixé les sables.

La végétation est surtout très-vigoureuse sur les premières croupes de montagnes; et de vastes forêts couvrent du nord au sud toute la région montagneuse de ces chaînes parallèles dont le granite est la roche soulevante.

La partie montagneuse, située à l'ouest de Tamatave, porte le nom de forêt de l'Analamazotra. Le seul chemin conduisant à Tananarive la traverse et passe au pied d'un piton basaltique élevé que l'on aperçoit de Tamatave et qui a donné son nom à cette région.

Les voyageurs qui ont fait le trajet de Tananarive ont pu reconnaître la série des plissements parallèles qui a façonné les gradins successifs de ces montagnes; le sentier qui aborde transversalement les accidents du terrain, présente des pentes et des ressauts très-brusques, qui rendent son parcours difficile.

M. le commandant Dupré, dans son voyage de 1862, a fait relever quelques cotes barométriques qui peuvent servir à une coupe entre Tamatave et Tananarive.

L'attitude de l'extrémité de la plaine sablonneuse au pied de la première chaîne n'est que de 45 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La première chaîne franchie, on trouve un plateau marécageux d'une assez grande largeur; l'altitude à Véfourouna est de 447 mètres.

La région de l'Analamazotra d'une largeur de plusieurs myriamètres est composée de chaînons serrés et parallèles; au pied du pic basaltique l'altitude est de 742 mètres.

La large plaine d'Ankaie, qui vient ensuite, est bordée à

l'ouest par la rivière Mangourou qui coule au pied des monts Sfodi.

Le niveau de la rivière au point où on la traverse est de 804 mètres.

Au delà des monts Sfodi se trouve le plateau étroit d'Ambedinangave à une altitude de 914 mètres.

Le sentier franchit ensuite les monts Angoves par un col situé à 1597 mètres au-dessus de la mer.

L'altitude moyenne du plateau ondulé et tourmenté de l'Ankove est de 1230 mètres.

Tananarive, situé sur un soulèvement de roche ancienne, est à une altitude moyenne de 1345 mètres.

La roche la plus répandue, surtout dans la région de l'Analamazotra, est le basalte, puis viennent les quartzites; le granite se montre sur un grand nombre de points; les voyageurs signalent aussi des couches sédimentaires d'argile, de grès et même de calcaire.

Les basaltes se décomposent souvent et donnent lieu à des terres compactes argileuses, d'un aspect rouge, qui ont fait donner à ces montagnes le nom de *Ambohitsmena* ou montagnes rouges.

Les quartzites se décomposent et se désagrègent aussi sous l'influence des agents atmosphériques.

Ce sont les éléments provenant de la décomposition de ces roches, qui constituent les dunes du littoral.

Ces sables charriés par les fleuves qui présentent dans leurs méandres des atterrissements considérables, sont jetés à la mer par les grandes crues et rejetés par celles-ci sur le rivage.

L'action de la vague favorisée par des vents généraux variant du nord-est au sud-est augmente le cordon littoral et indique le mode de formation de la plaine dont l'insalubrité bien connue élève jusqu'ici une barrière contre les tentatives des Européens sur cette terre.

Il paraît aussi y avoir eu un mouvement de soulèvement

du sol le long du littoral. On serait amené à le penser par l'examen de fragments de basalte situés loin de la mer au pied des montagnes et à quelques mètres au-dessus de son niveau actuel.

Ces basaltes ont séjourné autrefois sous la mer comme le démontrent les coquilles marines qui y sont attachées.

Ce fait s'explique par la présence des basaltes comme roche éruptive dominante et rend très-vraisemblable l'hypothèse d'un mouvement du sol contemporain de la période moderne.

La détermination de l'âge des montagnes de Madagascar ne peut pas être établie sans une étude sur les couches sédimentaires soulevées. Malheureusement cette étude n'a pu être faite, et les nombreux voyageurs qui ont parcouru la route de Tananarive n'ont pas rapporté d'échantillons de ces roches sédimentaires.

La direction des chaînes parallèles qui constituent le système des montagnes de Madagascar, est de N. 24° à 25° E., orientation qui diffère de 8 à 9 degrés avec celle de l'axe de figure de Madagascar; la ligne générale du littoral depuis le cap Est jusqu'à Fort-Dauphin a la même orientation que l'axe de figure de l'île.

Le relief de Madagascar n'a donc pas été formé uniquement par l'action du soulèvement qui nous occupe. Sa forme est la résultante des efforts des divers systèmes de soulèvement qui se sont successivement produits sur cette terre.

Ce soulèvement N. 25° E. a eu cependant une grande action sur le relief actuel de l'île. On retrouve cette direction dans un grand nombre de localités sur le littoral: dans la ligne du rivage au-dessus de Tamatave jusqu'à Foulepointe, dans la ligne de récifs placés devant cette côte, à laquelle appartient l'île aux prunes et les récifs qui forment le port naturel de Tamatave.

L'extrémité supérieure de ces récifs sont des pâtés de

coraux qui se sont développés sur une ligne de bas-fonds, sorte de ride parallèle au rivage et aux montagnes de l'intérieur.

L'île de Sainte-Marie elle-même n'est qu'un chaînon du même système; son orientation, déterminée sur les cartes marines, est de N. 24° 30′ E.

Au nord de Sainte-Marie cet alignement se contourne par des bas-fonds et des récifs qui ont été indiqués par les officiers de la marine.

Enfin la même direction se retrouve presqu'en prolongement avec Sainte-Marie, dans la côte est de la presqu'île d'Autongil depuis la pointe sud jusqu'au cap est.

D'après M. Élie de Beaumont, cette direction continuée par un grand cercle sur le globe se trouve en relation dans le continent asiatique avec de grands accidents orographiques, tels que la chaîne de l'Altaï, le cours de la Léna, le lac Bal-ikal, etc.

La chaîne qui limite au sud-est le continent africain voisin de Madagascar est parallèle à cette direction de même que le canal de Mozambique.

Cette direction, d'après la théorie de l'illustre géologue, ne paraît pas avoir de représentant dans les systèmes reconnus en Europe.

En effet, de ces 21 systèmes, celui qui rapporté à Madagascar par long. 47° E. et lat. 13 S. s'en rapproche le plus est le *système de la côte d'Or* avec une direction de N. 20° 47′ E., qui diffère de plus de quatre degrés avec la direction du *système central de Madagascar*.

Il est très-probable que ce système ne rentre dans aucun de ceux qu'on a étudiés en Europe; la détermination de son âge présenterait, par cette raison, le plus grand intérêt.

Dans l'île de Sainte-Marie, au point où je l'ai visitée, je n'ai pas trouvé les sédiments qui sont signalés dans le système central.

Cette île, longue de 55 kilomètres sur une largeur maximum de 5 kil. 1/2 est comme, je l'ai dit, un chaînon du même système. Les basaltes se sont fait jour comme dans l'Analamazotra par les dislocations même du soulèvement. Leur pâte est poreuse, homogène, d'un gris foncé. Elle ne contient pas de pyroxène. Le péridot y est souvent accusé, mais presque toujours dans une faible proportion; ils contiennent fréquemment du fer titané en mouches noires.

La décomposition de ces basaltes donne ces terres rouges dont j'ai parlé plus haut. Ce sont des tufs argileux, très-compacts quand la décomposition est complète; leur pâte est d'une grande finesse et on n'y trouve pas les éléments difficilement décomposables tels que le fer titané qui a dû être éliminé par l'action des eaux, car ces masses de tufs argileux paraissent avoir été remaniées, avant d'occuper leur gisement actuel.

Les basaltes en voie de décomposition sont granuleux, on les emploie à Sainte-Marie comme pouzzolane; mêlés avec la chaux grasse provenant de la calcination des coraux, ils constituent un excellent mortier hydraulique.

On rencontre à Sainte-Marie des filons de quartz, ils coupent obliquement la direction du chaînon avec une orientation de N. 4 à 5° O. L'un de ces filons peut se suivre derrière le village d'Amboutifoutch. Le quartz est hyalin, mais légèrement laiteux, sans traces de cristallisation ni de stries; il a une cassure conchoïdale, semblable à celle du verre; aucune matière métallique ne l'accompagne; il se trouve subordonné à une couche de pétrosilex affectant presque la régularité d'une couche sédimentaire.

On peut s'étonner que les pétrosilex ne soient pas passés à l'état de jaspe, au contact du quartz.

Des quartz analogues, mais de la transparence la plus parfaite, se trouvent dans la région de la grande Terre qui est située en face de Sainte-Marie.

On en a rapporté des blocs volumineux des bords du Manangoro et du Tintinguy.

L'existence du cristal de roche dans cette région est connue depuis les premiers établissements français tentés à Madagascar : on ignore toutefois le véritable gisement de la roche ; il doit avoir beaucoup d'analogie avec celui qui a été constaté à Sainte-Marie.

Les naturels de la côte rapportent des fragments enlevés à des blocs volumineux qui sont détachés et hors de leur gisement, et qu'ils disent être trop considérables pour être charriés jusqu'au rivage.

Le quartz hyalin se trouve également sous le même état dans le nord-ouest de Madagascar, et probablement dans beaucoup de localités à l'intérieur.

Le rivage de la *grande Terre*, vis-à-vis de Sainte-Marie, est aussi formé de sables quartzeux rejetés par la mer ; mais le phénomène des dunes et des obstructions fluviales n'y est pas aussi marqué qu'au sud de Tamatave. L'action de la mer et des vents se traduit par un courant dirigé du sud au nord le long du canal qui sépare Sainte-Marie de la terre. Ce courant devient plus énergique en rasant l'île et le remous qu'il produit sur les plages basses de la grande Terre y dépose des sables, qui sont ensuite relevées par les raz de marée.

En face de Sainte-Marie, le voisinage de l'île empêche les raz de marée de se faire sentir, et cette tranquillité a permis aux sables de se déposer loin de la côte et de former cette longue pointe basse et triangulaire qu'on appelle Pointe à Larrée.

Entre cette pointe et l'île Sainte-Marie, le courant devient très-violent, ce qui empêche le plus grand accroissement de la pointe vers l'île ; les atterrissements latéraux seuls vont en augmentant.

Le fond de la mer présente non loin des côtes un sable gris, formé d'éléments quartzeux et des éléments des basaltes qui sont susceptibles de résister à la décomposition, c'est à-dire le fer titané qui, en divers endroits, est très-commun sur la côte. La mer rejette ces sables gris qui se trouvent quelquefois avoir été enrichis par le lavage des vagues, au point que l'élément ferrugineux y diminue.

La chaîne qui constitue le relief de Sainte-Marie est peu accentuée ; les plus grandes altitudes ne dépassent pas 100 mètres, et les hauteurs voisines du rivage ont généralement 50 mètres d'altitude moyenne. Elle présente comme aspect la forme ondulée et mamelonnée propre aux chaînons granitiques ; les pointements seuls appartiennent aux basaltes.

La chaîne s'étend à une grande distance au nord de l'île sous la forme de récifs et de bas-fonds, puis on retrouve cette direction dans la côte Est de la province d'Antongil.

Cette province a été visitée et parcourue pendant trois semaines par mon collaborateur M. Coignet.

Presqu'île d'Antongil et côte Nord-Ouest.

Cette presqu'île est limitée à l'Est par une côte qui présente en prolongement la direction de l'axe de l'île de Sainte-Marie N. 24° 30′ E.

A l'ouest des chaînons granitiques, qui se propagent en s'étageant jusqu'au milieu de la presqu'île, affectent la même direction que le rivage de la baie d'Antongil N. 35° O, et représentent le système du Morbihan, dont le grand cercle prolongé passe avec cette orientation par la baie d'Antongil.

Le granite qui constitue ces montagnes est formé d'éléments qui se décomposent assez facilement : feldspath rose, quartz laiteux et mica noir.

M. Coignet a rencontré en avant de ce massif à l'est un chaînon granitique d'une orientation différente et se rapportant suivant lui au système des ballons. La direction con-

statée a été de N. 45° O, direction très-voisine de celle du système rapporté par le calcul à 47° O longitude et 15° latitude et qui est N, 46°44′ O.

Les basaltes occupent au pied occidental de cette chaîne presque tout l'espace jusqu'au rivage, ils forment une série de chaînons parallèles, interrompus par des vallées qui viennent transversalement déverser à la mer les eaux du versant oriental de la chaîne granitique.

L'orientation des basaltes est la même que celle de la côte jusqu'au cap Est N. 24°30′ E; ils sont donc en relation avec les basaltes de Sainte-Marie et ceux de l'Analamazotra dans les montagnes de l'intérieur.

A partir du cap de l'Est, la direction de la côte change, les parties rectilignes sont rigoureusement orientées N. 13° à 14° O., et les chaînons de basaltes se continuent avec cette nouvelle direction jusque près du treizième degré de latitude, constituant une zone basaltique très-étendue.

La topographie de ce pays a pu être examinée de la mer dans deux passages successifs le long des côtes. Les croquis, et les relèvements que j'ai pris m'ont permis d'indiquer sur la carte les chaînons de basalte les plus rapprochés du rivage.

Entre ces chaînons, le pays forme des plaines plus ou moins étendues que l'on dit d'une prodigieuse fertilité; fait qui s'explique par les alluvions basaltiques dont le sol est formé.

Il est probable que d'autres roches sont associées aux basaltes, et que la présence de ces derniers a eu lieu postérieurement par les dislocations du sol.

A partir du quatorzième degré de latitude, la zone voisine du rivage forme une plaine basse et large de quelques kilomètres sur laquelle se sont déposés des calcaires coquilliers que l'on peut rapporter à la période la plus récente du pliocène.

La disposition géologique de la contrée paraît identique

jusqu'à la baie de Vohémar; d'abord les sables du rivage quartzeux et basaltiques, puis les calcaires, enfin les chaînons basaltiques se succèdant parallèlement jusqu'à une grande distance dans l'intérieur, en conservant la même orientation.

Les basaltes tiennent une grande place dans la constitution de Madagascar et leur présence produit un résultat très-marqué sur la végétation; toute cette région du Nord-Est est d'une fertilité surprenante. Le *copalier* se développe en immenses forêts dans la province de Vohémar, située entre le 14e et le 15e degrés de latitude.

Cette province a été visitée fréquemment par les européens dans ces dernières années. M. le docteur Bernier en a fait l'exploration : les détails de son voyage sont consignés dans un manuscrit qui fait partie des archives de la marine.

Au nord de Vohémar, les accidents orographiques de l'intérieur sont moins marqués; les plaines s'étendent dans l'intérieur du pays et avec elles les dépôts calcaires des différents âges qui paraissent couvrir tout le versant du nord de l'île.

Quelques pitons, comme le *Pouce*, viennent offrir des pointements granitiques. Un chaînon de même nature domine le port *Longuez*.

On peut remarquer que la direction des différentes portions rectilignes des côtes depuis le cap Est, offre un parallèlisme complet avec la direction qui caractérise le soulèvement des basaltes N. 15° O.

Ces alignements parallèles forment une ligne brisée dont les ressauts sont occupés par des baies, ports naturels ou criques, tels que la baie de Vohémar, les ports Leven et Longuez.

Auprès de ce dernier, se trouve le mont *Rénant*, accident assez remarquable où le calcaire a été soulevé.

Au Nord se trouve le mont Carré avec son massif de ma-

drépores au sommet. La plaine qui s'étend à l'intérieur est mouvementée par des collines qui affectent dans leur arrangement la disposition de petites chaînes parallèles qui ont relevé et plissé la stratification des calcaires tertiaires. La direction est la même que celle affectée par les basaltes, ce qui peut induire à penser que ce soulèvement serait très-récent et propre au basalte; le rivage continue à affecter cette direction depuis le port Longuez jusqu'à l'entrée de la baie de Rigny et se continue, en limitant le côté Est du plateau triangulaire qui forme au nord, comme le dernier appendice de Madagascar.

Ce plateau est une presqu'île qui emprisonne entre la grande Terre et le cap d'Ambre, le beau port de Diégo-Suarez. Sa surface est couverte de collines arrondies et basses, presqu'entièrement composées de calcaires coquilliers; d'après les échantillons rapportés par le docteur Guntz, quelques-uns de ces calcaires seraient très-récents; on y reconnaît des espèces dont les représentants vivent encore sur les côtes.

L'isthme qui réunit cette presqu'île limite à l'ouest le fond du port de Diégo-Suarez. Le terrain qui la constitue est formé de granit et de basalte. Le basalte forme un massif au centre de l'isthme. Les hydrographes anglais l'ont appelé *Windsor Castle*, à cause de son aspect de forteresse. Les granites et les basaltes sont ferrugineux dans cette localité; aussi le terrain produit par leur décomposition est-il fortement coloré.

Description de la côte Nord-Ouest.

Le point de reconnaissance pour doubler le cap d'Ambre est la montagne du même nom.

Cet accident orographique, le plus considérable de la partie nord de Madagascar, est situé à 40 milles au sud du cap; il s'aperçoit très-distinctement de la côte N.-E., tandis que le cap formé de deux collines arrondies et basses

ne se voit qu'à une petite distance; il est imprudent d'approcher de trop près à cause d'un ensemble de bas-fonds qui forme un plateau limité un peu au nord du cap d'Ambre, par une ligne qui va passer par les îlots Delight et Woody avec une orientation de N. 62° 30' E.

Le grand massif, qui constitue la montagne d'Ambre, s'allonge dans le sens du méridien et domine la côte N.-O. Son profil est celui d'un trapèze très-surbaissé, dont le haut est limité par deux sommets réunis par une ligne de faîte légèrement infléchie et sans dentelures. La distance qui sépare les deux sommets est de 5 milles marins ou 9 kil. 1/2; les flancs de la montagne sont très-peu inclinés, et on peut évaluer à 25 kilomètres la longueur de la base dans le sens du nord au sud, qui est celui de l'allongement.

Au premier aspect, on serait tenté de prendre cette montagne pour un volcan; elle offre du côté du nord-ouest ou du nord-est la forme d'un cône tronqué. Seulement en la voyant sous divers aspects, on se rend compte de sa forme allongée et de son arête rectiligne.

Les différentes cartes donnent de cette arête une orientation qui varie de quelques degrés de part et d'autre du méridien, mais principalement au N.-E. Je n'ai pu vérifier l'orientation.

La hauteur de cette montagne n'était pas encore connue, je la déterminai de trois stations maritimes. Pendant la marche du navire j'obtins trois nombres plus voisins qu'il n'était permis de s'y attendre pour une détermination au sextant, qui à la distance moyenne des stations, ne comportait pas une approximation aussi grande; les trois résultats ont été pour le sommet sud qui est plus élevé 2.722, 2.714 et 2.727 mètres.

On peut donc considérer la montagne d'Ambre comme dépassant en altitude 2.700 mètres; par un temps clair on la voit bien de Nossibé, située à une distance de 70 milles. Je n'ai pas eu la faculté de faire une constatation directe

sur les flancs de ce massif, pour m'assurer de la nature de la roche. Notre voyage à la côte occidentale avait plutôt le caractère d'une excursion que celui d'une exploration.

L'absence de caractères stratigraphiques visibles et la présence de la chaîne granitique qui occupe l'intérieur en commençant plus au sud, et se prolongeant jusqu'au 14e degré de latitude S., avec la direction du massif de la montagne d'Ambre, autorisent à penser que cette montagne est de même nature et même âge.

Au sud de la montagne et dans la direction de son soulèvement existe, dit-on, un effondrement à parois verticales, formant une vallée inaccessible; les Antonkares, peuplade de cette partie de Madagascar, connaissent un passage souterrain qui y donne accès, ils s'y sont retirés à plusieurs reprises, lors des incursions récentes des Hovas sur leur territoire. Le commandant Guilain en parle dans son ouvrage sur la côte N.-O.; j'en ai eu la confirmation par les habitants de ces contrées qui l'appellent le *trou* de Tsimiaro, du nom de leur chef.

On trouve de l'ambre gris rejeté par la mer sur ces côtes; les habitants le recueillent, de là le nom donné, aux deux points remarquables de la partie nord du Madagascar, par les navigateurs, au cap et à la montagne; peut-être encore y ont-ils été conduits par euphonie du nom d'*Ambaro* qui est le nom malgache de la montagne.

L'ambre gris se trouve assez fréquemment sur les côtes de Madagascar; on cite, sur la côte Est, les parages de Sainte-Marie et ceux de la baie d'Antongil, qui en fournissent. Mais c'est surtout à la côte Ouest qu'on en trouve en quantité notable; le commerce en est fait par les arabes de Zanzibar.

Terrain houiller de la côte Nord-Ouest.

Le cap Saint-Sébastien situé au sud-ouest de la montagne d'Ambre par 12° 36′ de latitude sud, est la dernière colline d'une petite chaîne granitique formant l'arête d'une presqu'île de 12 milles de longueur.

Cette chaîne se prolonge dans l'intérieur des terres par des accidents qui sont tangents à la base de la montagne d'Ambre.

Cette direction orientée N. 47° 30′ O. coïncide avec la direction du système des Ballons rapportés à Madagascar.

En effet le calcul donne N. 46° 44′ O. pour cette direction rapportée à 47° longitude Est et à 13° latitude Sud.

La coïncidence est d'autant plus autorisée que cette direction encaisse, sur la côte N.-O., un vaste bassin houiller qui s'étend au sud et dont les limites extrêmes ne sont pas encore connues.

Ce bassin est déjà assez remarquable par l'étendue des côtes le long desquelles il a été reconnu, et il mérite une description détaillée.

C'est principalement sur les baies de Bavatoubé et de Passandova que l'étude en a été faite.

A Bavatoubé, des tentatives de recherches avaient été effectuées il y a dix ans par M. Darvoy à l'instigation de M. Lambert, et avaient amené la constatation de quelques affleurements de schiste charbonneux accompagné de minces filets de houille. Ces travaux furent bientôt interrompus par les Hovas qui dispersèrent les travailleurs et tuèrent leur chef.

Cependant l'espoir de trouver de la houille à Madagascar en face de notre colonie de Nossi-Bé, appela l'attention des chefs de la division navale, qui se succédèrent dans ces parages. M. le commandant Delangle en 1859 et M. le com-

mandant Dupré en 1861, visitèrent ces parages et en rapportèrent quelques échantillons.

Ces échantillons mal caractérisés, comme presque tous ceux qui proviennent des affleurements, ne suffirent pas à déterminer la nature précise du terrain dont ils provenaient. Des lignites ou plutôt des Bog-Heads rapportés des mêmes terrains firent croire à l'existence de combustibles d'un âge plus récent.

Le commandant Dupré que j'accompagnai dans le voyage de reconnaissance de 1863, s'empressa de me mettre en présence du gisement de lignite.

Après avoir doublé le cap Angadouka situé à l'ouest de la baie de Bavatoubé, on rencontre vis à vis de l'îlot d'Ansouva une grande faille dans les grès houillers (Pl. VII, *fig.* 2).

Cette faille et les fissures latérales sont remplies sur une épaisseur de 2 à 3 centimètres d'une matière charbonneuse se coupant au couteau, brûlant avec flamme fuligineuse et répandant l'odeur caractéristique des lignites et du Bog-Head.

Ce combustible paraît être le résultat du remplissage de la faille par des végétaux de la surface. La roche sans consistance qui accompagne le combustible dans la faille, est composée de sable et d'argile qui y ont été introduits de la surface par les infiltrations d'eau. Le remplissage de cette faille date de sa formation, c'est-à-dire de l'époque de soulèvement des diorites dont elle a l'orientation.

Ce fait accidentel met la présence du lignite hors de cause pour l'étude d'ensemble.

La baie de Bavatoubé, immense port naturel, a 6 kilomètres de profondeur vers le sud, sur 8 de large de l'est à l'ouest; elle est séparée par deux presqu'îles en trois parties ou baies secondaires.

La baie de l'Est sur le rivage de laquelle avaient été tentées les premières recherches, présente des couches dirigées de l'est à l'ouest avec un pendage nord de 10 à 12 degrés; de sorte qu'en allant vers le sud, on rencontre successivement des couches qui sont inférieures aux précédentes.

On peut ainsi reconnaître, à partir de la pointe Magambey située à l'est de la passe, la succession suivante :

	mèt.
Grès ferrugineux. Grès compacte. Grès schisteux.	15,00
Grès. Schiste gris avec fer carbonaté.	2,00
Grès tendre.	1,00
Grès charbonneux.	1,00
Schiste et grès schisteux.	12,50
Grès dur. Schiste gris feuilleté. Grès.	10,00
Grès dur.	4,00
Grès ferrugineux.	1,00
Grès massif (grandes assises).	12,00
Grès ferrugineux.	1,00
Grès compacte.	10,00
Schiste gris.	0,40
Grès.	6,00
Schistes noirs.	11,00
Grès.	2,00
Schistes et grès.	1,20
Schistes et grès schisteux.	3,00
Grès dur ferrugineux.	0,60
Schiste ferrugineux. Schiste et grès dur. Schiste charbonneux.	2,50
Grès et schistes intercalés.	48,20
	144,40

Ces couches dirigées N. 86°, O. (méridien vrai) et inclinées de 12 degrés vers le nord, offrent une régularité parfaite dans leur allure, elles sont fracturées verticalement par deux systèmes de cassures dont le plus apparent est dirigé N. 68° O.

Dans cette coupe, les grès dominent ; ils sont généralement tendres et d'un grain grossier ; les grès durs sont ordinairement micacés.

Les grès ferrugineux que l'on rencontre offrent une particularité assez remarquable ; le fer à l'état d'oxyde rouge, a rempli le double système des plans parallèles de fracture et a formé de véritables cloisons qui emprisonnent le grès en fragments prismatiques réguliers. Cette disposition peut leur faire donner le nom de *grès cloisonnés*.

La formation de ces cloisons indique l'action de sources ferrugineuses sur certains niveaux du terrain postérieurement à sa formation. Dans d'autres points, elles ont laissé comme trace des concrétions ferrugineuses en poches plus ou moins considérables.

Les schistes présentent aussi, mais moins fréquemment que les grès, une disposition semblable.

Quand ces schistes se trouvent sur le rivage, exposés à l'action de la vague, ils se désagrègent et mettent à découvert les cloisons de minerai de fer formant des grillages réguliers.

Ces niveaux de grès et de schistes cloisonnés, sont si répandus dans la stratification, qu'ils ne peuvent servir de repère pour l'étude stratigraphique du terrain.

Les schistes sont d'une dureté moyenne, d'un gris foncé, allant quelquefois au noir. Ils sont rarement ocreux ou d'une teinte claire.

En continuant à suivre la rive Est de la baie, on rencontre une série de mornes présentant des coupures de terrain qui permettent d'en étudier la stratification (Pl. VII, *fig.* 2).

Dans les anses qui séparent ces mornes, il est souvent impossible de reconnaître le terrain ; les bords bas et marécageux du rivage sont couverts de palétuviers dont les racines extérieures barrent tout passage à l'observateur. La déclivité du sol vers les collines est ensuite très-boisée et

couverte d'arbres entrelacés de lianes avec cette exubérance de végétation propre aux régions tropicales.

Les mornes sont cependant assez rapprochés les uns des autres pour que leur coupe offre une succession presque continue de la stratification.

Le premier que l'on rencontre, présente à sa base des schistes charbonneux dans lesquels une reconnaissance en galerie avait été faite et poussée à 4 ou 5 mètres de l'affleurement. On distingue à peine quelques petits feuillets de houille dans la partie inférieure de la couche de schiste dont les deux mètres de puissance ont été mis à nu par la galerie. A ces schistes sont superposées trois assises de grès séparées par des nappes minces de schistes.

Le morne suivant, situé à 300 mètres au sud du précédent, est élevé de 12 mètres au-dessus de la mer ; il est formé de grès tendres dirigés N. 86°, O. avec une inclinaison nord de 15 degrés.

C'est sur le plateau qui couronne ce morne qu'avait été établi le campement des travailleurs de M. Darvoy.

Les Hovas s'en emparèrent en 1856 et mirent fin aux premières recherches qui restèrent infructueuses.

Le troisième morne a une hauteur de 16 mètres au-dessus de la mer ; les grès tendres que l'on trouve à la base sont surmontés de grès durs et de schistes intercalés, enfin à 15 mètres environ, on trouve des grès cloisonnés. La direction de ces couches est N. 80°, O. et leur inclinaison 15 degrés. En suivant le rivage dans le sens du relèvement des couches, on trouve une assise de schiste charbonneux immédiatement inférieure aux grès trouvés à l'extrémité du morne ; une galerie avait été pratiquée dans ces schistes sur une profondeur de 8 mètres, elle montre quelques veines de houille placées dans les schistes et contre le grès du toit ; leur ensemble ne forme pas une épaisseur de 4 centimètres.

Dans l'anse voisine un éboulement qui ébrèche un petit

morne marque l'emplacement d'une ancienne galerie de recherche. On y remarque des couches puissantes de 5 à 6 mètres de schistes gris-noirs, subordonnés à une belle masse de grès.

C'est dans la couche de schiste noir, qui affleure, presqu'au niveau de la mer, qu'une ou deux galeries avaient été poussées. L'éboulement déblayé, l'affleurement n'a présenté qu'un schiste très-charbonneux, sans trace de houille brillante.

Les couches sont traversées par une faille dirigée approximativement nord-sud et qui a donné un rejet de $2^{m},50$ vers l'ouest.

Le quatrième morne laisse voir sur une vingtaine de mètres de hauteur, une succession de grès schisteux, schistes durs et micacés avec la direction N. 86° O et l'inclinaison de 10° N.

Le cinquième morne est composé en grande partie de grès avec schistes à la base; en marchant vers le sud, on voit les schistes inférieurs prendre une grande puissance (25 mètres environ) et se pénétrer de rognons de fer carbonaté assez généralement pyriteux. La direction générale des couches est N. 81° O. et l'inclinaison 10 degrés.

La pointe suivante présente une assise puissante de grès au-dessous de laquelle, se trouvent des schistes gris; la direction est un peu différente N. 71° O.

Le morne placé au fond de la partie Est de la baie, offre une coupe étendue, composée de l'alternance de schistes peu colorés et de nombreux bancs étroits de grès. Cette succession constitue une épaisseur de terrain de 54 mètres; les couches sont dirigées N. 60° O. On trouve la même direction de couches dans le morne qui fait face à l'ouest au précédent, et qui présente des couches inférieures.

On y remarque au milieu de grès massifs et de grès cloisonnés, une couche de 3 mètres de schiste noir.

Pour compléter l'examen de la partie Est de la baie de

Bavatoubé, je crus nécessaire d'explorer l'intérieur de la presqu'île qui la sépare de la baie de Passandava.

Toute cette région est très-boisée, et il est impossible de s'y frayer un passage sans le secours de la hache; j'envoyai quelques noirs tracer un sentier jusqu'au village de Pouhang (Pl. VII, *fig.* 2). Ce sentier de 5 kilomètres de développement fut ouvert en trois jours. Je pus ainsi parcourir la forêt, sans qu'il me fut, toutefois, bien aisé de suivre l'allure des couches sous l'épaisseur de la végétation. C'est au fond des vallées et le long des ruisseaux seulement qu'on rencontre les roches à découvert. A mi-chemin en traversant un ruisseau situé dans une vallée étroite orientée N.-N.-O., je constatai des grès en couches régulières dirigés N. 80° O. avec une inclinaison de 12° N. qui m'offrirent la même allure que les couches du rivage de la baie. En divers endroits de ce parcours, je trouvai les mêmes directions jusqu'au village de Pouhang.

La végétation des forêts est aussi variée que développée; les plantes tropicales y sont représentées par le bananier, le cotonier, le rafia et le ravenal; ces deux dernières espèces sont particulières à la flore de l'île, et se développent surtout à la lisière des forêts ou dans les clairières.

Parmi les grandes essences, on remarque le tamarinier, le palissandre, le grand nath et divers bois de teinture; les petites essences sont généralement des bois durs, comme le bois de fer et le bois d'ébène, qui est très-exploité dans ces parages. On rencontre en divers endroits et généralement près du littoral, le baobab, ce géant de la végétation tropicale, aux formes aussi monstrueuses qu'inattendues.

Quelques-uns atteignent la hauteur de 50 mètres et leur diamètre près des racines est toujours moitié de celui qu'ils ont à la naissance des branches.

Si maintenant partant de Pouhang, on côtoie en pirogue, le littoral jusqu'à l'entrée de la passe de Bavatoubé, comme je le fis au retour de cette course, on constate d'abord à

l'extrémité ouest de la plage de sable sur laquelle est situé le village, une assise puissante de grès feuilletés, ferrugineux, qui forme un promontoire; l'anse de Madirou cache les affleurements sous le sable de sa plage, mais bientôt la pointe Ancarabou vient offrir une coupe de grès subordonnés à des schistes; les grès occupent 25 à 26 mètres de hauteur et les schistes 14 mètres.

Sur la grande plage que l'on côtoie ensuite, des affleurements de grès inférieurs aux schistes se font jour à travers les sables. Le morne qui sépare cette anse de celle d'Ampamakia, montre une épaisseur considérable de grès schisteux qui affectent comme les précédents la direction générale N. 80° O.

On peut constater ainsi jusqu'à la pointe Magambey, les alternances de schiste, de grès, de grès schisteux ou ferrugineux, de manière à obtenir la série des couches qui depuis le cap Ancarabou sont supérieures à celles qui se montrent au sud de la pointe Magambey.

On a réuni ainsi tous les éléments pour construire une coupe du terrain depuis le cap Ancarabou jusqu'au fond de la baie de l'est (distance 5 kilomètres environ).

Dans cette coupe, il y a forcément quelques lacunes, dont il est facile d'évaluer la place dans l'échelle, en calculant les épaisseurs de terrain correspondantes, au moyen de l'inclinaison et de la distance horizontale qui sépare deux affleurements connus de part et d'autre.

On rencontre aussi plusieurs failles N.-S. qui ont de faibles rejets. Il se peut que d'autres failles aient échappé à l'examen, mais si leurs rejets ne sont pas plus considérables que ceux qui ont été constatés, leur omission changera peu l'épaisseur totale que donne la coupe ainsi établie.

Elle comprend une épaisseur de 740 mètres, dont plus de 600 mètres sont déterminés comme le fait voir la coupe, *fig.* 1, Pl. VII.

On peut reconnaître dans cette coupe, toutes les roches qui constituent la formation houillère. Toutefois, la houille y est bien faiblement représentée. Quelques minces filets de houille, dont l'ensemble ne formerait que quelques centimètres, paraissent constituer la teneur apparente d'un étage de plus de 800 mètres d'épaisseur; tout cet étage peut donc être regardé comme stérile et les recherches qu'on y avait tentées autrefois devaient être vaines, et n'auraient pu donner de meilleurs résultats, si elles avaient été continuées.

La partie Est de la baie est séparée de la partie Ouest par une grande faille dirigée nord-sud. C'est cette faille qui a ouvert la passe et produit l'enfoncement de la baie vers le sud. De part et d'autre de cette grande cassure l'allure du terrain est différente.

Nous avons vu que dans la partie Est la direction des couches variait de N. 80°, O. à N. 86°, O.

Dans la partie Ouest, elle varie progressivement de N. 70°, O. à N. 20°, E. en passant par ouest-est, depuis la passe nord jusqu'au fond de la baie du sud.

Sur les deux rives de la passe, on rencontre des couches qui n'ont aucune concordance entre elles et qui n'appartiennent pas au même étage.

Il y a là un rejet compliqué de l'action de deux failles comme le démontre la *fig.* 2, Pl. VII. Les directions de couches y sont indiquées en plan horizontal ainsi que la position et l'orientation des principaux accidents stratigraphiques.

Le terrain présente à l'Est des failles élémentaires parallèles à la faille centrale; leur rejet a lieu de l'est à l'ouest, formant dans ce sens des gradins ascendants, ce qui revient à dire qu'en plan horizontal, les rejets ont lieu vers le nord, de l'est à l'ouest.

La faille centrale, dirigée N. 3°, O. paraît avoir donné lieu à un rejet beaucoup plus considérable, car autant

qu'il est permis de le constater, les couches situées à l'ouest de l'entrée de la passe, paraissent correspondre à celles du fond de la baie Est, qui occupent le niveau inférieur de la coupe (*fig.* 1, Pl. VII), de sorte que l'ensemble des couches de la baie Ouest serait inférieur à celui de la baie Est.

Un second soulèvement traverse les deux baies avec l'orientation N. 48°, O. C'est à son action qu'est dû le changement progressif de direction qu'on remarque dans les couches du fond de la baie Est.

A la grande île, il donne lieu à une faille à l'ouest de laquelle les couches de grès présentent un pendage de 52°, O. La direction de cette faille prolongée va aboutir, avec la même orientation N. 48°, O., et à l'ouest en dehors de la baie, à deux îlots de diorites qui sont comme les témoins de ce soulèvement. On peut remarquer encore que cet alignement est parallèle à un grand massif de même roche de 800 mètres d'élévation qui est situé à 16 kilomètres au sud de la baie et qui forme l'arête saillante de la presqu'île qui sépare la baie de Passandava du port Radama.

Cet accident est donc de l'âge de l'apparition des diorites. On peut reconnaître qu'il traverse la faille centrale nord-sud en conservant le même alignement de part et d'autre, ce qui indique qu'il lui est postérieur.

Or nous verrons plus loin que la faille centrale N. 5°, O. est en relation avec les granites éruptifs et les porphyres et qu'elle est de leur âge.

Pour rendre compte des changements de direction qu'on remarque dans les couches de la baie Ouest, nous avons encore à considérer l'action d'un troisième soulèvement.

Ce soulèvement est défini, comme nous le verrons, par l'apparition des basaltes sur un alignement qui a été suivi et reconnu sur près de 200 kilomètres depuis Windsor Castle, au nord de la montagne d'Ambre, jusqu'à l'île de Cacazou-Béravi située près du cap Angadouka. Les couches de grès qui forment ce cap, ont en effet été soulevées et

présentent à l'extrémité du cap la direction même du soulèvement N. 42°, 30', E.

Le changement de direction est progressif, cependant, il en est résulté une faille au sud du cap. C'est cette faille, dont nous avons déjà parlé, qui présente des échantillons d'un *lignite accidentel*.

Les couches au sud de la baie Ouest se rapprochent progressivement de cette direction, qu'elles atteignent dans la partie moyenne, pour se rapprocher ensuite de la direction déterminée par la ligne de fracture de la faille nord-sud.

Les grands massifs de basaltes de la presqu'île et principalement ceux qui sont près du cap Bernahomaï indiquent la cause de cette allure des couches.

Ces trois systèmes de soulèvement rendent bien compte de tous les accidents stratigraphiques qu'on peut remarquer dans la baie de Bavatoubé ; on les retrouvera dans l'étude des autres parties du terrain houiller.

Un fait important à remarquer tout d'abord, c'est que les deux derniers systèmes forment entre eux un angle droit et sont à 45 degrés sur le premier.

En parcourant les rives de la seconde partie de la baie, j'ai relevé une série de coupes partielles, qui ne sont pas assez rapprochées pour former une coupe d'ensemble. Dans cette région qui n'avait pas encore été explorée, mon attention s'est surtout portée sur des affleurements de houille qui m'ont paru être intéressants en ce sens, qu'ils montrent une suite de nappes houillères dont l'épaisseur augmente à mesure qu'on s'éloigne dans l'échelle de la stratification de l'étage que nous avons trouvé stérile et qui occupe les rives de la baie Est.

Le premier affleurement rencontré entre le cap Angadouka et la pointe d'Ansirac en dehors de la baie présente $0^m.04$ d'épaisseur et paraît correspondre à celui du troisième morne (coupe *fig.* 1, Pl. VII).

Le second affleurement qui n'a pas plus d'importance se

trouve sur la rive nord de la baie Ouest, au pied d'un tertre composé de grès et de schiste; leur direction est N. 85° O. avec l'inclinaison 12°, N.

La coupe (*fig.* 3, Pl. VII) indique la succession et la puissance des couches; les nappes de houille sont de faible épaisseur, 2 centimètres environ chacune. On trouve à leur niveau dans la stratification, quelques échantillons de gros troncs de plantes houillères qui semblent être du genre Sigillaria. Leur moule intérieur aplati est formé d'un grès à grains arrondis et leur surface présente une épaisseur de 1 centimètre de houille brillante, brûlant facilement avec une odeur prononcée de bitume.

Le troisième affleurement se rencontre à l'ouest sur la pointe suivante, et se trouve compris entre des schistes et des grès comme le montre la coupe (*fig.* 4, Pl. VII). La partie de cette coupe imprégnée de houille constitue un affleurement de $1^{m},15$; le grès est uniformément pénétré de veines et de veinules vermiculées. Si la houille ainsi disséminée était condensée, elle formerait une couche de 12 à 15 centimètres. Il pourrait être intéressant de s'assurer, si, en profondeur et loin des affleurements, cette proportion irait en croissant. La formation de ce niveau correspond à une époque où l'activité végétale était plus considérable que lors du dépôt des strates supérieurs, ce qui indiquerait que l'enrichissement en houille se trouverait dans des couches inférieures et plus rapprochées de la base du terrain.

Comme pour appuyer cette hypothèse, le quatrième affleurement, inférieur au dernier de plus de 100 mètres dans l'échelle de la stratification présente condensé en deux ou trois nappes très-voisines une épaisseur de $0^{m},15$ de houille. La coupe montre (*fig.* 5, Pl. VII), à la base, des grès et des schistes durs, plus loin, une succession de schiste gris, puis des schistes noirs charbonneux avec couche de houille, enfin au-dessus un massif important de grès, la direction est N. 40° E. et l'inclinaison 10° (N.-O.).

Le charbon est dur, brillant avec reflet métallique un peu violet dans l'échantillon pris à l'affleurement, cette teinte tient à l'oxyde de fer qui constitue un grande partie des cendres.

L'affleurement mis à découvert sur une vingtaine de mètres présente la houille tantôt dure et sèche, d'autres fois pulvérulente; plus loin, on trouvait exceptionnellement des fragments d'une houille plus légère et se boursoufflant au feu.

La houille ne présente un peu d'homogénéité qu'à quelques distances de l'affleurement. L'échantillon moyen qui fut analysé au bureau d'essai de l'école des mines peut être considéré comme appartenant à une houille maigre. Les résultats de l'analyse ont été:

Matières volatiles.	17
Carbone.	70
Cendres.	13
	100

360 kilos enlevés aux affleurements, furent essayés à bord de l'aviso de l'État le Surcouf. Brûlés sous la chaudière de distillation, ils volatilisèrent les 4/10 de l'eau, qui eût été réduite en vapeur par le même poids de bonne houille anglaise, résultat assez important pour des charbons d'affleurement qui souvent ne s'enflamment pas.

Un commencement de galerie poussée à 2 mètres dans la couche de schiste de $0^{m}.80$ d'épaisseur, fit reconnaître la houille formant deux couches à la partie supérieure. D'autres couches minces sont intercalées dans les schistes, dans toute l'épaisseur de l'affleurement charbonneux qui se trouve compris entre un toit et un mur de grès. La proportion de houille dans cet affleurement est de 2/10 de l'épaisseur totale, proportion double de celle du précédent affleurement.

Il eût été intéressant de s'assurer, si cette proportion

plus considérable de houille, se suivait dans les couches inférieures. Je poursuivis cette étude dans la baie du sud. Malheureusement les rives basses et peu accidentées de cette partie de la baie ne me permirent pas d'étudier la stratification d'assez près pour trouver d'autres affleurements charbonneux : je dus me borner presque toujours à constater l'allure générale, partout où il me fut possible d'aborder ou de pénétrer. Sous ce rapport le fond de la baie peut être considéré comme tout à fait inaccessible, mais je constatai sur un ilôt isolé et de très-peu d'étendue, un cinquième affleurement de houille, de 2 à 3 centimètres d'épaisseur.

Il paraît néanmoins probable que la houille doit se rencontrer plus fréquemment dans les niveaux inférieurs. Avant de continuer cette étude dans la baie de Passandova, je dirai un mot sur une particularité que présente la baie de Bavatoubé et qui se rapporte à l'époque quaternaire.

Au sud de la pointe Amboubouka, on rencontre des grès ferrugineux et des schistes subordonnés à ceux qui forment la pointe. Ils ont même direction N. 50° E. et 12° d'inclinaison N., puis viennent des grès avec un changement brusque de direction N. 80° E. qui indique le voisinage d'un accident ; en effet, un peu plus loin sur une plage basse qui se trouve au niveau de la mer, les grès sont fortement bosselés et concrétionnés ; dans un endroit ils sont déchirés et présentent autour des crevasses un espace de plusieurs mètres couvert d'une masse de roche noire calcaire à contours arrondis et imitant l'aspect d'une lave.

Ces concrétions sont le résultat de dépôts d'eaux chaudes, calcaires, qui se sont échappées de cette faille. La roche noire à grains fins rappelle le calcaire carbonifère comme aspect. On n'y remarque aucune trace de corps organisés. Cependant aux environs, quelques moules de plantes houillères ont été remplis de cette roche calcaire. En outre, il y a de la pyrite de fer dans ces échantillons.

Ces sources calcaires succédant probablement aux sources ferrugineuses qui ont formé les grès cloisonnés, ont jeté dans les eaux de la baie des sels calcaires, auxquels j'attribuerais volontiers la formation d'une roche calcaire moderne, composée de débris de coquilles et de coraux que l'on remarque sur la plage à l'ouest de la pointe d'Ansirac.

Reconnaissance de la baie de Passandova.

La grande baie de Passandova, située à l'est de celle de Bavatoubé, est une des plus belles qu'il soit donné de rencontrer. De l'île de Nossi-bé, qui la ferme au nord et nord-est jusqu'à son extrémité sud, elle présente une profondeur de près de 40 kilomètres ; sa largeur, mesurée du cap Pouhang au cap d'Ankefi, est de 28 kilomètres.

Depuis le cap Pouhang jusqu'aux îles Bararata, l'allure des couches présente un brusque changement sur leur direction dans la baie de Bavatoubé.

Une faille N.-S., qui marque le cours d'un ruisseau dont on rencontre l'embouchure à l'ouest du cap, est le point de départ de ce changement de direction. Les couches infléchissent leur direction vers le nord et prennent un pendage Est. C'est ainsi qu'on retrouve jusqu'aux îles Bararata les couches de la partie Est de Bavatoubé.

En continuant vers le sud, on rencontre après la large embouchure de la rivière Vavalasse, le cap Rinserando, formé d'un massif considérable de grès au-dessous desquels on constate une couche de schiste noir. La stratification a changé encore d'allure. La direction est N. 60° E., avec inclinaison vers le nord, en marchant vers le sud on peut relever la coupe figurée (*fig.* 1, Pl. VIII).

Le cap suivant présente des couches de même allure ; les trois derniers mornes que l'on rencontre avant d'atteindre l'anse de Badani, découvrent à leur base une couche de

schiste charbonneux à laquelle est superposée une assise puissante de grès feuilleté qui atteint 20 mètres d'épaisseur.

En sortant de Badani, on peut suivre au bord de la mer, une série de couches régulières et en prendre la coupe sur une grande étendue, à partir d'une faille dirigée N. 55° O. et plongeant de 50° vers l'est.

La direction générale des couches est N. 30° E., le pendage a lieu vers le S.-E.

Le caractère dominant des roches de cette coupe (*fig.* 2, Pl. VIII, est d'une dureté plus grande que celle des roches rencontrées jusqu'ici. Cette dureté peut être attribuée à l'action de filons de quartz qui traversent parallèlement le terrain avec la direction N. 40° E. Ces filons sont stériles. Les pyrites sont très-développées dans les rognons de fer carbonaté; on les trouve aussi en gros cristaux dans une couche de grès argileux, dont la pâte contient à la fois du fer carbonaté et de la chaux carbonatée.

En gagnant vers les îles Mamoukou dans le sud-ouest, on découvre à peu de distance du littoral, dans l'intérieur des terres, des montagnes en direction avec celle qu'on nomme *les deux Sœurs* à cause de son double sommet; elles forment ensemble un chaînon éruptif dirigé N. 42° E. et, par conséquent, parallèle à la grande ligne basaltique. On voit les couches de la stratification houillère s'appuyer sur leurs flancs (*fig.* 3, Pl. VIII).

Les îles Mamoukou forment un ensemble de trois îles voisines.

La grande île porte des ruines assez importantes qu'on a attribuées aux Portugais, aux pirates Malais ou aux Arabes; leur caractère les rapproche plutôt de cette dernière origine.

Le rivage ouest de l'île est formé par une grande assise de schiste noir qui plonge vers l'est; la direction est N. 10° E., l'inclinaison 16°. Ces schistes sont doués d'une assez grande dureté, qui rappelle les derniers rencontrés près de Badani;

ils renferment de nombreux rognons aplatis de fer carbonaté; les plans de fracture de la roche sont dirigés N.-S. et E.-O.

La coupe de cette île n'offre pas beaucoup d'intérêt : la direction des couches varie de N. 5° E. à N. 20° E.; l'inclinaison est 26° en moyenne. Les schistes dominent; ils sont souvent très-noirs sans être charbonneux. Le même système de filons de quartz N. 4° E. traverse fréquemment la stratification.

La petite île d'Ambou-Outouli, tout entière, est composée de couches de schiste feuilleté, dur, gris foncé passant au noir. Ces schistes rappellent ceux de la grande île. Au bord et au niveau de la mer, on rencontre des grès et des schistes cloisonnés. La direction des couches dans la partie ouest est N. 38° O., avec une inclinaison de 14° E.

Les deux sens de fractures de roches sont N. 35° E. et N. 80° E., dirigées N. 40° O., N. 25° O., N. 18° O., moyenne : N. 27° 40′ O., avec une inclinaison de 14°.

A la pointe nord, on rencontre un accident : les couches sont brusquement redressées suivant la direction N. 30° E.; il y a, comme dans la baie de Bavatoubé, une roche concrétionnée de nature calcaire.

La partie supérieure des couches qui forment l'île est composée de schiste et de grès alternés sur une épaisseur de 12 mètres. L'ensemble du terrain découvert forme une épaisseur totale de 39 mètres.

La seconde île présente au nord-est un relèvement brusque, qui a redressé des bancs de grès en direction et en alignement avec l'accident précédent. Cette île est formée, comme la première, d'assises puissantes de schiste noir et gris; leur direction varie de N. 28° O. à N. 26° O., avec une inclinaison de 12 à 14°. L'épaisseur totale des schistes, en y comprenant celle des grès de la base, peut être évaluée à 47 mètres.

Ce sont les mêmes couches qui sont émergées dans les

deux îles. L'accident dont nous avons parlé plus haut forme *faille* entre les îles et rejette les couches de la seconde en contre-haut de 15 à 20 mètres, de l'est à l'ouest.

La direction de cette faille aboutit sur le rivage de la baie, à une anse, à la pointe nord de laquelle on trouve du grès tendre et des grès durs dirigés N. 15° E. Les grès sont couverts par des schistes durs, dont l'inclinaison générale est 14 à 15°; on trouve dans ces strates un filon d'hématite rouge orienté N. 5° E.

Le cap voisin placé en face de la grande Mamoukou laisse à découvert une coupe de terrain composé d'alternances de schiste et de grès; la direction est N. 20° E., l'inclinaison 17°.

Au pied de l'escarpement et au bord de la mer, un banc de grès brusquement redressé est dirigé N.-S. Des accidents semblables se remarquent sur la plage du sud-est.

Plus loin, la pointe que l'on rencontre au sud après une longue plage sablonneuse présente des grès cloisonnés subordonnés à des grès schisteux, tendres, faiblement colorés en jaune. Leur direction est N. 10° E., et leur inclinaison 15 à 16° vers l'est.

Tous les points qui viennent d'être parcourus appartiennent à une presqu'île placée devant la grande Mamoukou, et dans laquelle les lignes de faîtes et les dépressions du rivage sont orientés N.-S.

Au sud-ouest de cette presqu'île, près d'un lieu habité nommé Andimakabo, on trouve le littoral composé de schistes noirs charbonneux très-tendres recouverts par des schistes feuilletés ferrugineux. La direction est N. 10° E.

On rencontre le long de cette plage des fragments très-arrondis par la vague de *scories anciennes* d'un traitement de minerai de fer très-riche, à en juger par la teneur des scories. A quelle époque et à quel peuple appartiennent ces restes d'industrie? Ils doivent avoir la même origine que les constructions dont les ruines subsistent à l'île Mamoukou;

dans tous les cas, on ne peut en attribuer l'honneur aux populations indigènes de ces côtes.

Au sud d'Andimakabo, une rivière d'une certaine importance se jette à la mer. D'après les renseignements des naturels, ce cours d'eau serait navigable par les boutres (bateaux pontés des Arabes) jusqu'à une assez grande distance; ils n'en donnaient d'autre évaluation que le nombre des villages que l'on rencontre et qui sont au nombre de douze.

Je remontai le cours de ce fleuve jusqu'à deux kilomètres. Les bords de l'embouchure jusqu'à une grande distance sont couverts de palétuviers; le courant n'est pas sensible dans la saison sèche, et l'eau était aussi salée à deux kilomètres qu'à l'embouchure.

La vallée se dirige vers la montagne des *deux Sœurs*, dont ce fleuve doit baigner le pied. La distance est de 9 kilomètres jusqu'à cette montagne.

Je déplore que ma course rapide ne m'ait pas permis de pousser plus loin; car, au point de vue de l'exploration utile du terrain, cette vallée est admirablement située. On a pu remarquer, par la direction des couches trouvées sur la rive ouest de la baie de Passandova, qu'après avoir retrouvé les mêmes niveaux que dans la baie de Bavatoubé, on avait rencontré, à partir du cap Rincerando, des couches qui sont d'un niveau supérieur dans la stratification générale et plus dépourvues encore d'indices charbonneux, tandis que le plus grand intérêt reposait sur l'examen de l'étage inférieur. Cette vallée permettrait de compléter cette étude, peut-être par la découverte de couches exploitables.

La rive droite, près de l'embouchure, est élevée de 180 à 200 mètres; on voit, dans la partie supérieure de l'escarpement, une couche épaisse de grès compacte, qui plonge de 15° environ vers le rivage avec la direction générale du terrain.

Dans le bas de l'escarpement, près du rivage, on trouve des schistes; N. 10° E., inclinaison 10°. Puis vient le village

d'Ambagnaba, et 200 mètres plus au sud une agglomération plus considérable de cases, auprès desquelles on remarque des grès dirigés N. 20 à 15° E. Des grès feuilletés leur sont superposés sur une étendue de 500 mètres le long des côtes; à ces derniers succède une puissante assise de grès, qui a onché la plage de gros blocs détachés; d'après le prolongement et la distance, ces grès appartiennent à la couche puissante constatée plus haut, au-dessus de l'embouchure, dans l'escarpement droit de la vallée. Une crique de 500 à 400 mètres d'ouverture se présente ensuite, le village de Banmantoraka en occupe le fond; un torrent y jette ses eaux qui sont peu abondantes dans la saison sèche; son lit est un ravin rapide, dont les parois sont formées d'une roche faisant feu au briquet et qu'on reconnaît facilement appartenir à des schistes houillers qui ont été métamorphosés par l'action de quelque roche de soulèvement. La direction de ces schistes est N. 10° E., et l'inclinaison 18°. Cette direction est celle des dernières couches rencontrées: il y a donc concordance de stratification. Nous verrons la même roche à Nossi-Bé en contact avec les granites éruptifs.

Depuis Banmantoraka, on peut suivre vers l'Est les mêmes schistes sur une grande distance; ils présentent partout même direction et même inclinaison.

La masse paraît toutefois craquelée et tourmentée en divers endroits.

Plus loin, on trouve des grès durcis par la même cause; ces rochers forment un cap qui limite à l'ouest l'embouchure d'un fleuve, qui paraît être le Sambérano dont on voit le delta plus loin au nord-est.

La vallée de Sambérano est une grande dépression rectiligne dirigée N. 48° O., qui va jusqu'à la chaîne granitique centrale, en traversant tous les étages du terrain houiller; son cours est navigable jusqu'à une assez grande distance par les bâtiments pontés. Les Antonkares le remontent en trois jours jusqu'à la source dans leurs pirogues légères. Ce

parcours offrirait à l'observateur la coupe la plus complète et la plus concluante de la composition du terrain houiller. Arrêté par la brieveté du séjour et par des ordres supérieurs, je me borne à indiquer cette lacune aux explorateurs futurs.

Le croquis (*fig.* 4, Pl. VIII), pris du fond de la baie de Passandava, indique la disposition du terrain. Le premier plan est du terrain houiller. La montagne du second plan, qui court au nord-est, est probablement de nature éruptive; à son voisinage doit être dû la métamorphose des roches constatée plus haut. Au troisième plan reparaît le terrain houiller. Le quatrième plan peut être, ou une roche éruptive, ou du terrain de transition encaissant le terrain houiller; il est impossible d'émettre à cet égard une hypothèse suffisamment justifiée. Quant au piton de la chaîne centrale qu'on aperçoit au fond, j'ai pu déterminer sa distance de la côte par un second relèvement : il est situé à 120 kilomètres de la baie de Passandava.

Le cap Amboulabouza, situé sur la côte Est de la baie de Passandava, au nord du delta du Sambérano, appartient à la chaîne granitique qui a fait éruption du sud au nord, à travers les strates du terrain houiller, et qui a produit le cap Ankéfi, l'île Nossi-Cumba et la montagne de Loucoubé. Dans cette dernière localité plus particulièrement, on rencontre des schistes métamorphiques identiques à ceux de Banmantoraka (*fig.* 4).

En dehors des pointements de cette chaîne, la côte Est de la baie de Passandava présente des terrains très-bas : c'est d'abord le delta du Sambérano entouré de marais. Entre les caps Amboulabouza et Ankéfi, les strates du terrain houiller forment le fond de bateau et la dépression est couverte de marais. Ces terrains bas et marécageux se continuent au nord-ouest, avec quelques accidents qui permettent de suivre l'allure du terrain houiller jusqu'à sa limite nord.

Lorsqu'on a dépassé Ankéfi, on a au sud-est une étendue

de côtes dont le premier plan est le fond de la baie de Bacouli ; on voit les strates du terrain houiller se redresser légèrement vers l'est; à Ambatou, elles présentent un relèvement brusque dû à l'apparition des granites comme à Loucoubé. Les schistes métamorphiques qui constituent la masse principale de cette montagne sont, en effet, dirigés parallèlement à la chaîne qui ferme à l'est la baie de Passandava (*fig.* 5, Pl. VIII).

Ambatou veut dire *roche* en malgache, c'est la seule montagne qui soit près du rivage sur cette côte basse. Dans le lointain, au second plan, une chaîne éruptive déroule ses accidents arrondis et mamelonnés ; comme elle n'est indiqué sur aucune carte, j'en relevai les points remarquables de trois stations différentes, afin d'obtenir une vérification. Je trouvais ainsi, pour l'orientation de cette chaîne, N. 50° O., direction parallèle à 2° près avec celle de la chaîne granitique précédente.

Malgré ce parallélisme, qui indiquerait identité de roche, il semble que la forme du profil de cette chaîne annoncerait plutôt des porphyres que des granites, les deux roches seraient alors du même âge : cette association des granites et des porphyres est du reste assez fréquente.

Le troisième plan est le prolongement de la chaîne centrale. Je déterminai également la position du piton, que je trouvai situé par 15° 58′ latitude sud, et 46° 56′ longitude est.

La direction de la chaîne porphyrique détermine nettement l'encaissement Est du fleuve Malao-lari qui se jette dans la baie d'Ambatou.

Les rives de ce fleuve se prêteraient facilement à une reconnaissance de terrains houillers; les niveaux qu'on y rencontre appartiennent à la partie inférieure du territoire, comme l'indique le pendage ouest de toute cette région. C'est dans cette partie qu'il y a surtout espoir de rencontrer quelque richesse houillère.

Nossi-Faly, que l'on rencontre près d'Ambatou, est une île basse de peu d'étendue, elle est cependant très-peuplée ; c'est une résidence des chefs Antonkares, qui en ont donné le protectorat à la France, ainsi que de tout leur territoire de côte ferme s'étendant de la montagne d'Ambre à la baie de Passandava.

Les côtes de la baie d'Ambatou et celles qui s'étendent au Nord jusqu'au parallèle de Nossi-Mitziou, sont très-basses et très-marécageuses; elles sont couvertes à une grande distance dans l'intérieur par des palétuviers dont la marée vient chaque jour baigner le pied. Arrivé un peu au-dessous de Nossi-Mitziou (l'île longue), on voit encore la continuation des strates houillères se relevant légèrement vers l'Est ; plus loin une chaîne parallèle à celle du Malao-lari présente le même genre de profil que cette dernière ; une ligne de hauteur appartenant à la stratification générale montre les couches houillères ; elles sont pénétrées par quelques pointements de roche éruptive, qui sont comme noyés dans leur masse. Les pendages sont inclinés de part et d'autre ; plus loin les couches arrivent en stratifications presque horizontale, le long du cap Saint-Sébastien.

La ligne de collines qui forme l'arête de la presqu'île paraît enfin la limite de ces strates puissantes qui caractérisent le terrain houiller de ces côtes.

Tous les caractères que présente ce terrain, son étendue, sa position, sa puissance et l'homogénéité des couches qui le constituent, lui assignent une origine marine. Son étendue reconnue, indique un immense bassin dont la limite nord et est, se trouve dans les granites anciens de l'intérieur. Au sud, son prolongement est inconnu ; à l'ouest, ce pendage va sous le canal de Mozambique à une distance indéterminée. Son prolongement sous-marin est mis en évidence par le grand soulèvement basaltique orienté N. 42°.30′,E qui s'étend de Windsor-Castle au cap Angadouka ; ce soulèvement relève le terrain houiller à Nossi-

la stratification. Cette recherche sera longue et pénible, le climat, la disposition physique du pays seront les deux premiers obstacles; après une exploration minutieuse du terrain, des sondages nombreux seront ensuite nécessaires; enfin l'exploitation ne rencontrera dans le pays aucun secours de main-d'œuvre. Malgré toutes ces difficultés la tâche est assez belle pour soutenir ceux qui l'entreprendront.

—Les roches éruptives rencontrées au nord-ouest de Madagascar, sont, comme nous l'avons vu :

Les granites et peut être les porphyres, puis les diorites et les basaltes.

Les granites définis par la direction N. 5° O., de leur soulèvement, se trouvent en relation avec des quartzites et des quartz hyalins.

Nous avons vu sur la côte est, les quartz hyalins qui sont associés aux quartzites et suivent la même direction.

Dans le nord-ouest, le cristal de roche se trouve principalement dans la vallée du Malao-lari, en relation avec la chaîne qui limite à l'ouest cette vallée. On en trouve encore à l'extrémité de Nossi-bé en relation avec les granites de la chaîne que limite à l'est la baie de Passandava. A Nossi-Cumba, le granite est accompagné à la base du massif par des conglomérats serpentineux qui sont ordinairement en relation avec des syénites.

En dehors des points où ces roches ont soulevé et traversé le terrain houiller; elles ont encore formé une série de failles parallèles dont quelques-unes existent dans la baie de Bavatoubé. La faille centrale qui partage cette baie est du même système, et la disposition du terrain démontre qu'elle est plus ancienne que celle produite par les diorites. Ce qui détermine pour les granites et les roches de même orientation un âge antérieur à celui des diorites.

Le filon d'hématite de la baie de Passandava est de l'époque des granites ou immédiatement postérieur.

La diorite se montre à Ansouva sous une apparence confuse; quant aux éléments qui la composent, l'amphibole y domine, et il n'est pas très-aisé de déterminer l'espèce de son feldspath. Les éléments paraissent cependant identiques à ceux qui constituent la diorite de l'île de la Réunion. Dans cette dernière localité la roche est à éléments plus nets. Le feldspath y domine et présente les caractères de l'oligoclase. Quelques points noirs paraissent être de l'oxydule de fer ou du fer titané. Le soulèvement des diorites a été acccompagné de dégagement de pyrite de fer; on le remarque aussi bien à la Réunion qu'à la côte nord-ouest de Madagascar. Les roches en contact se sont pénétrées de cristaux de pyrite. On peut remarquer dans la baie de Passandava, que les schistes les plus riches en pyrite sont dans le voisinage des diorites.

L'identité des diorites du nord-ouest de Madagascar et de la Réunion, s'explique par leur direction qui est la même dans les deux localités. Cette direction qui est N. 47°,30 O. à la côte nord-ouest devient N. 48 à 49° O. à la Réunion.

Les diorites de la presqu'île de Passandava forment un chaînon dont on retrouve la suite dans la presqu'île d'Antongil. On peut remarquer encore, que le fleuve Tangumbaly qui se jette dans la même baie, a son cours orienté, suivant cette direction. Sa vallée forme une dépression symétrique à celle de Somberano, de part et d'autre de la ligne de soulèvement qui, prolongée, va passer à une petite distance au nord de l'île de la Réunion, parallèlement au grand axe de cette île.

Cette même direction prolongée dans le canal de Mozambique passe dans le voisinage des îles Comores qui, d'après ce que l'on sait, sont de nature volcanique.

L'axe basaltique de la côte nord-ouest dirigé à angle droit sur le précédent avec l'orientation N. 42° 30′ E., présente des basaltes identiques dans leur composition avec ceux de la côte est et nord-est. Ces basaltes d'un âge plus récent

que les diorites, s'en rapprochent par les éléments constitutifs. Si l'on remarque la grande place qu'occupent ses roches dans la constitution géologique de Madagascar, on se rendra facilement compte de l'importance et de l'étendue du foyer éruptif qui leur a donné naissance.

Les filons de quartz de la baie de Passandava paraîtraient se rapporter par leur orientation N. 40° E. à l'âge de soulèvement des basaltes, Les plus considérables ne dépassent pas 0m,05 d'épaisseur. Le quartz y est laiteux à éclat gras et nacré, à cassure striée et sans trace de cristallisation. Les basaltes constituent au nord de Nossi-Bé des massifs importants qui se lient dans le centre de l'île avec des volcans modernes à éruption cinériforme; ces volcans ont couvert toute la partie centrale de lapilli, en y laissant une dizaine de cratères dont les plus rapprochés de la côte sud, les seuls que j'aie vus, m'ont rappelé comme dimensions et comme forme le *Monte-Nuevo* de la baie de Pouzzole.

D'après M. Herland, chirurgien de la marine, qui a fait une étude sur les volcans de Nossi-Bé (*), on ne rencontre nulle part de laves modernes.

Les éruptions gazeuses qui ont donné naissance à ces volcans, se sont fait jour à travers la stratification houillère, et il m'a paru que les cendres rejetées étaient formées des éléments broyés et frités des schistes de ce terrain.

Au pied de la montagne de Loucoubé, on trouve encore, déposée sur les schistes métamorphiques au bord de la mer, la roche moderne composée de coquilles et de coraux qui a déjà été rencontrée dans la baie de Bavatoubé.

— Pour résumer cet ensemble, on voit qu'une coupe faite de l'est à l'ouest, à travers la partie nord de Madagascar par le 13e ou 14e degré latitude, se compose de deux ver-

(*) *Nouvelles annales coloniales*, 1854, et *Annales des mines*.

sants séparés par un massif granitique ancien qui paraît être orienté N. 10° E.

Le versant Est présenterait une succession de chaînons ou plutôt de plateaux basaltiques échelonnés en gradins jusqu'aux alluvions du rivage.

Le versant Ouest offrirait les strates puissantes du terrain houiller, et peut-être à leur base le calcaire carbonifère dont la présence n'a pu toutefois être constatée à la côte.

Les roches éruptives granites, porphyres, diorites, basaltes, soulèvent les couches des terrains houillers en un grand nombre de points, et forment les accidents orographiques de la côte N.-O., au delà desquels la formation houillère paraît s'étendre encore vers le canal de Mozambique.

Sans faire ici un rapprochement que la grande distance et le manque d'étude m'interdit, j'ajouterai cependant, à titre de simple renseignement, que le terrain houiller a été constaté récemment par les Portugais dans leurs possessions de Mozambique.

NOTE

SUR LES GISEMENTS STANNIFÈRES DU LIMOUSIN ET DE LA MARCHE

ET

SUR QUELQUES ANCIENNES FOUILLES QUI PARAISSENT S'Y RATTACHER.

Par M. MALLARD, ingénieur des mines.

L'intérêt excité par la belle découverte, dans l'étain oxydé de Montebras (Creuse), d'une substance jusqu'alors fort rare, et qui y est contenue en grande quantité, le niobium, m'engage à donner quelques détails sur les gisements stannifères du Limousin et de la Marche.

C'est par l'étude du gisement de Vaulry que j'ai été amené à découvrir, en 1859, celui de Montebras; je commencerai donc ce travail par la description sommaire de la mine d'étain de Vaulry.

§ I. — Gisement stannifère de Vaulry.

Historique. — La mine d'étain de Vaulry, découverte en 1812, par MM. de Villeluna et Alluaud, explorée par les ingénieurs des mines, avec les fonds de l'État, de 1813 à 1826, a été, de 1856 à 1859, l'objet de nouveaux travaux de recherches entrepris par la société Destrem et compagnie. J'ai eu à suivre ces travaux dans un intérêt administratif, et j'ai consigné, à cette époque, dans un rapport spécial, les connaissances acquises, soit par des recherches nouvelles, soit par les recherches anciennes connues par les publications de MM. de Cressac, Allou et Manès. Je n'aurai qu'à résumer ici les principales indications de ce rapport qui n'a reçu aucune publicité et qui, à défaut d'autre intérêt, acquiert

aujourd'hui, par suite de l'abandon complet des recherches commencées, un certain intérêt historique.

Avant de parler des filons métallurgiques eux-mêmes, quelques mots sur l'orographie et la géologie de la contrée sont indispensables.

Constitution orographique et géologique de la contrée. — Le plateau, relativement fertile, sur lequel sont bâties les petites villes de Magnac-Laval, le Dorat et Bellac est formé par des roches schisteuses percées de loin en loin par la droite, et uniformément recouvertes d'un vaste manteau d'argile tertiaire. Ce manteau a été enlevé en partie par des érosions postérieures qui ont mis à nu les gneiss dans toutes les vallées. L'altitude de ce plateau, très-légèrement incliné vers le Nord, ne dépasse pas 300 mètres et est en moyenne de 265 mètres.

Les terrains schisteux sont limités au sud par une ligne E.-O., allant à peu près de Bunière Boffy à Bresailoufa, et prenant par Mortemart et Blond. Au sud de cette ligne, le sol s'élève brusquement et forme comme un bourrelet allongé aussi E.-O. Ce bourrelet a une largeur d'environ 4000 mètres avec une longueur d'à peu près 14000 mètres, se termine en pointe vers l'Ouest à la hauteur de Vaulry, et est coupé brusquement à l'Est par un grand filon de quartz dirigé N.-O. Désigné par M. de Cressac (*Journal des mines, juin* 1813) sous le nom de Chaîne de Blond, il atteint son altitude maximum (515 mètres) vers son extrémité ouest ; le sommet culminant de la partie médiane atteint 498 mètres. Cette chaîne est exclusivement formée par un granit à deux micas (micas noir et blanc) qui joue un rôle fort important dans la constitution géologique du plateau central et probablement de toutes les contrées granitiques. C'est le granit des Vosges de M. Delesse ; le granit proprement dit de M. Gustave Rose.

Au sud de cette chaîne granitique se trouve un plateau ondulé, présentant une inclinaison plus forte que le plateau

gneissique et en sens contraire, c'est-à-dire du nord au sud, et possédant une altitude plus considérable que ce dernier. Ce plateau, au moins dans la partie voisine de la chaîne de Blond, est occupé par le granit à mica exclusivement noir (granit des Ballons de M. Delesse, granitite de M. Rose).

La petite chaîne de Blond me semble, d'après cela, devoir être considérée comme une véritable chaîne éruptive, reproduisant même dans ses traits principaux, et toute proportion gardée, tous les caractères signalés par M. Élie de Beaumont dans les grandes chaînes éruptives des Alpes, de l'Himalaya, etc. Le granit à deux micas est donc une roche éruptive qui s'est produite postérieurement au gneiss à mica noir et qui, dans la localité qui nous occupe, a formé un puissant filon, précisément à la limite de séparation du granit à mica noir et du gneiss.

Ce n'est là qu'un exemple d'un fait géologique que j'espère pouvoir appuyer sur des preuves plus nombreuses en décrivant, dans une publication prochaine, la constitution géologique de la Haute-Vienne et de la Creuse. Je distingue, en effet, dans ces deux départements, deux formations granitiques très-différentes, mais toutes deux d'origine éruptive. L'une, la plus ancienne, est constituée par un granit à mica noir, contenant assez fréquemment de la pinite. Il faut peut-être y rattacher des roches granitiques contenant de la pinite, du grenat, du fer oxydulé, et que l'on rencontre en filons abondants, soit dans les environs de Bourganeuf, soit dans le sud-ouest de la Haute-Vienne, entre Cholus et Rochechouart.

L'autre formation, plus récente, est principalement constituée par un granit contenant deux micas, un mica noir et un mica blanc ; le mica blanc, qui est le mica caractéristique, pouvant se présenter seul. Je considère cette roche comme le type d'une grande famille comprenant les pegmatites à grands éléments, plus ou moins tourmalinifères, et les leptynites à petits grains et à mica blanc. Les roches

assez diverses, qui composent cette grande famille, ont sans doute fait éruption à des époques non pas contemporaines, mais consécutives, ainsi qu'on le remarque par exemple pour les diverses variétés de porphyre, dont les éruptions se sont échelonnées depuis le milieu de la période carbonifère jusque vers la fin de la période triasique.

Ces deux formations granitiques ont du reste été déjà distinguées en Allemagne par M. Rose, et dans les Vosges par M. Delesse. La description pétrologique, faite par ce dernier géologue, mérite de devenir classique; mais je ne saurais adopter son opinion sur l'origine métamorphique du granit à deux micas.

Les filons stannifères ont été reconnus sur les deux versants de la chaîne de Blond; les uns, sur le versant nord, non loin du bourg de Vaulry, ont été l'objet des recherches anciennes de l'Administration des mines; les autres, situés sur le versant sud, ont été découverts par les explorations de 1856.

Filons de Vaulry. — Les filons de Vaulry sont des filons miniers, de véritables veines quartzeuses, dont la puissance ne dépasse guère 3 à 5 centimètres. Ils présentent, avec une inclinaison de 70° à 80° vers l'ouest, une direction habituelle N. 5° à 10° E., direction qui est à fort peu près celle des fissures ou fentes de retrait qui découpent le granit. Ces veines parallèles, disséminées en assez grand nombre au milieu du granit à deux micas, y forment un véritable stockwerk. Elles se prolongent du reste, sans se déranger, au milieu des gneiss et des amphibolites du versant nord, ainsi que l'a constaté M. Manès.

Les veines métallifères sont principalement composées d'un quartz grisâtre, translucide, vanié, au milieu duquel sont disséminés des minéraux assez divers. Le minerai est le plus souvent placé près des épontes. Celles-ci sont remarquables par l'altération qu'y présente le granit. Le feldspath

y a disparu presque entièrement, et les espèces de géodes que laisse cette disparition sont tapissées d'une matière argileuse. Ce granit varié passe à une roche que nous désignerons avec M. Manès sous le nom de greisen ou *hyalomicte*.

Elle est essentiellement composée d'un quartz grisâtre, translucide, comme celui des filons, et d'un mica blanc grisâtre à reflet un peu cireux. Ce mica est en lamelles très-minces, ordinairement empilées sans ordre les unes sur les autres: le contour n'en présente aucune régularité. La roche, formée ainsi de fragments de mica et de quartz fort irréguliers, présente en masse l'aspect d'une sorte de poudingue. Elle tient fréquemment disséminés des wolframs et de l'étain oxydé dont la cristallisation est même beaucoup plus nette que celle qu'il affecte dans le quartz des filons proprement dits. Il me paraît évident que ce greisen et les filons ont une origine identique.

Les minéraux rencontrés dans les filons de Vaulry sont nombreux, en voici la liste donnée par M. Manès (*Description géologique et industrielle du département de la Haute-Vienne*) :

1° Le *wolfram*, disséminé dans le quartz de la gangue ou dans le greisen des parois;

2° L'*étain oxydé* associé au wolfram ou au mispickel;

3° Le *mispickel* qui est, avec le wolfram, le minéral plus abondant;

4° Le *fer arséniaté*, provenant probablement de la décomposition de mispickel;

5° Le *cuivre natif* en filaments plus ou moins allongés très-rare;

6° Le *cuivre oxydé noir terreux*;

7° Le *molybdène sulfuré* en petites lamelles isolées, disséminées dans le quartz;

8° L'*urane phosphaté* qui n'a été trouvé que près du filon de chaux fluatée, recouvrant superficiellement le granit de parois;

9° La *chaux fluatée* cubique incolore, trouvée dans quelques filons riches en fer arsenical. Une chaux fluatée violette laminaire compose, à elle seule, un filon de 5 centimètres de puissance, dirigé N. 40° E.

10°. La *chaux phosphatée* très-rare;

11°. La *baryte sulfatée* associée à la chaux fluatée violette ou au fer arsenical capillaires.

A ces minéraux que signale M. Manès, il importe d'en ajouter un autre des plus intéressants et dont la présence mérite de fixer l'attention; ce minéral est l'*or*, dont la découverte est due aux explorations de 1856, et qui paraît être un des éléments les plus constants des gisements stannifères du Limousin. L'or est disséminé dans les filons de Vaulry en particules tout à fait invisibles, et sa présence n'est décélée que par le lavage. Il s'y rencontre du reste en très-faible proportion.

Filons de Cieux.—MM. Destrem, Godefroy et compagnie, ont découvert, en 1856, sur le versant sud de la chaîne de Blond, près du hameau de Monsac, à peu de distance du village de Cieux, et sur la limite même du granit à mica noir et du granit à deux micas, un filon stannifère, peu riche, il est vrai, mais digne d'attention.

Ce filon, qui paraît accompagné d'autres filons parallèles, est principalement quartzeux. Sa puissance, supérieure à celle des veinules de Vaulry, atteint près de 1 mètre. Il présente généralement, vu de sa partie médiane, des druses occupées par des cristaux de quartz assez volumineux. L'étain oxydé se rencontre principalement au contact des épontes. Celles-ci sont quelquefois formées par le greisen, mais cette roche paraît moins abondante qu'à Vaulry.

Les minéraux rencontrés dans les filons de Cieux sont les mêmes que ceux de Vaulry; on y rencontre, avec l'étain oxydé, le wolfram, le fer arsenical, qui est là le minéral prédominant, le molybdène sulfuré et l'or plus abondant qu'à Vaulry, enfin la tourmaline en masses bacillaires qui n'est point signalée par M. Manès dans cette dernière localité.

Le filon de Monsac est accompagné d'une roche particulière, blanchâtre, compacte, d'une faible dureté, se brisant en fragments pseudo-réguliers. Essentiellement formée d'une matière feldspathique au milieu de laquelle sont disséminés, en plus ou moins grande abondance, des prismes hexaèdres de quartz et des cristaux de feldspath orthose, elle contient en outre des lamelles microscopiques de mica blanc. Cette roche me paraît devoir être considérée comme un monstre du granit à deux micas ou plutôt de la leptynite qui s'y rattache et comme une sorte de dépendance de la roche qui constitue la chaîne de Blond. Peut-être doit-on la rapprocher du felsit-porphyr d'Altenberg ou de l'elvan de Cornouailles que de la Bèche considère comme une variété de roche granitique.

Du reste les filons stannifères, quoique se présentant généralement dans le voisinage de cette roche porphyroïde, n'y sont pas entièrement subordonnés; ils la pénètrent, ainsi que le granit à mica noir.

La direction du filon de Cieux est nord-est environ. Cette orientation n'est pas celle que l'on constate habituellement à Vaulry. Cependant M. Manès signale, dans cette dernière localité, des filons N. 40°, E., que nous n'avons pas vus. D'après cet habile ingénieur, les filons N. 10° E. et les filons N. 40° E., se traversant, sans se changer, seraient contemporains. Peut-être cette conclusion laisse-t-elle prise à quelques doutes.

Il est remarquable que les deux directions qui dominent dans les filons de Vaulry et de Cieux, se retrouvent, la première, dans les plans de fissure du granit à peu près perpendiculaires à la direction de la chaîne; la seconde, presque nord-est dans l'alignement des sommets qui forment la limite orientale de cette chaîne. Ces sommets, qui dominent

notablement tous les autres, sont en effet alignés N. 50° E. Il est à noter que cette file de sommets, qui forme un petit chaînon subordonné à la chaîne principale jalonne rigoureusement une des lignes du réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont, le primitif DI''' qui se dirige au sud-ouest des îles Canaries. Cette ligne, qui passe par le sommet le plus élevé de ce chaînon secondaire, passe aussi presque exactement par le filon de Monsac. L'orientation de ce grand centre au point qui nous occupe est du reste N. 51°,14′, E.

Les filons stannifères paraissent donc être en relation intime avec les actions soulevantes qui ont bouleversé la contrée et amené au jour le granit à deux micas. Les veinules N. 10°, E. de Vaulry ne sont probablement que le produit de l'incrustation des fissures de retrait de la roche granitique par les émanations métallifères consécutives à l'éruption de cette roche. Quant aux filons nord-est, ils me paraissent devoir être rattachés à une action soulevante sans doute un peu postérieure et qui a élevé notablement le niveau de la partie orientale de la chaîne de Blond.

Des alluvions stannifères. — Une découverte très-intéressante, due, comme celle de l'or dans les filons de Vaulry et de Cieux, aux explorateurs de 1856, est la découverte d'alluvions stanno-aurifères dans presque toutes les vallées qui descendent de la chaîne de Blond. Des travaux de lavage, d'une certaine importance, ont été ouverts sur les alluvions de la vallée du grand étang de Cieux. La couche alluvionnelle qui recouvre le granit à mica noir, a atteint, au centre de cette petite vallée, une épaisseur de 2 mètres environ. Immédiatement au-dessus du granit se trouve une argile verdâtre, peu épaisse, au-dessus de laquelle on voit un sable feldspathique et quartzeux qui est le sable stannifère. Dans ces sables se rencontrent, ainsi que cela a lieu fréquemment dans les tourbières de la Marche et du Limousin, des troncs d'arbres d'une conservation parfaite. Le sable

est considéré comme sable à traiter, sur environ 1 mètre de puissance à partir du fond. La partie superficielle, qui a une puissance à peu près égale, est rejetée comme stérile. Les sables tiennent de l'étain oxydé, du wolfram, des fragments arrondis de greisen, enfin de l'or en notable proportion. Le fer arsenical y est rare.

Des anciennes fouilles ouvertes sur le gisement de Vaulry. — Le gisement stannifère de Vaulry qui n'est connu des modernes que depuis cinquante ans environ, a été exploité à une époque très-éloignée de nous et qui se perd dans la nuit des temps. C'est ce qu'attestent, d'une manière irrécusable, des fouilles très-importantes, et d'une haute antiquité. Elles ont été signalées par les premiers exploitants, et M. de Cressac, dans le n° 198 du *Journal des Mines* (juin 1813) en a donné une description étendue.

Ces fouilles, situées entre les hameaux de la Garde et de la Tournerie, sur le versant nord de la chaîne de Blond, forment deux groupes principaux présentant du reste la même disposition. Ce sont des tranchées à ciel ouvert, ou plutôt des excavations allongées, placées en général à la suite les unes des autres, et alignées les unes suivant la direction nord-ouest perpendiculairement à l'orientation des filons, les autres suivent la direction nord-est, parallèlement à l'orientation des mêmes filons.

Les premières avaient sans doute pour but de reconnaître les voies métalliques que les secondes poursuivraient ensuite. Une vaste excavation ayant 60 à 70 mètres de diamètre à la partie supérieure, et 9 à 10 mètres de profondeur moyenne paraît avoir été le centre le plus actif de l'extraction.

M. de Cressac évalue, non peut-être sans quelque exagération, à 400 000 mètres cubes, le solide des déblais enlevés de tous ces anciens travaux.

Le même auteur mentionne en outre, dans le voisinage des fouilles, la présence de fragments de scories, épars

dans les champs, et dans lesquels l'analyse a constaté une quantité notable d'étain. Ce fait permet d'affirmer que, à l'époque des anciennes exploitations, le minerai d'étain a été traité sur place.

La tradition est au reste complétement muette sur l'époque à laquelle on doit faire remonter ces fouilles. Elle a même à ce point perdu le souvenir de leur destination primitive, que les habitants du pays y voient, contre toute vraisemblance, les restes d'une ville détruite.

§ II. — Gisement de Montebras.

Historique. — Les anciens travaux de Vaulry avaient vivement frappé mon attention, à cause de l'intéressant problème historique qu'ils soulèvent, lorsque, dans le cours des explorations ayant pour but la confection de la carte géologique de la Creuse, j'eus l'occasion d'examiner, au mois d'avril 1859, des excavations ouvertes près de Montebras, commune de Soumans, et dans lesquelles on voulait voir, soit les restes d'un ancien camp romain, soit même des habitations souterraines à l'usage des Gaulois. A première vue, il me sembla, ainsi qu'à M. Bosvieux, archiviste du département, qui m'accompagnait, que l'une et l'autre hypothèse étaient également inadmissibles. Je fus au contraire frappé de la parfaite analogie des excavations de Montebras avec celles de Vaulry. J'examinai avec soin les fragments de roches que permettaient d'apercevoir les bruyères qui couvraient le sol; je rencontrai du quartz en abondance, ainsi que des roches qui avaient la plus grande ressemblance avec le greisen de Vaulry; enfin je fus assez heureux pour mettre la main sur un volumineux échantillon d'étain oxydé, adhérent à un fragment de quartz. Dès lors, le doute n'était plus permis; à Montebras, comme à Vaulry, existait un gisement stannifère, et ces deux gisements, que ne sépare pas une distance moindre de 100 kilomètres, avaient été, à des époques très-reculées mais sans doute à peu près contemporaines, l'objet de travaux d'exploitation considérables.

Je fis connaître la découverte que je venais de faire, par une note présentée au conseil général de la Creuse dans la session de 1859, et insérée la même année dans le bulletin de la Société des sciences naturelles et archéologiques de ce département. Sur les indications données par cette note, un ingénieur civil, M. Poyet, entreprit quelques travaux à Montebras. M. Poyet était mort, à Montluçon, sans avoir donné suite à ces travaux, lorsqu'une société se constitua et poursuit actuellement, sous la direction de mon camarade et ami M. Moissenet, l'exploration du gisement stannifère que j'avais signalé. C'est à M. Moissenet qu'il appartiendra de nous faire connaître un jour ce gisement avec détail, je résumerai seulement ici la description que j'en donnais dans ma note de 1859.

Le gneiss occupe presque toute la partie septentrionale du département de la Creuse, dont la partie centrale est au contraire à peu près entièrement recouverte par le granit à mica noir. La limite de ces deux terrains est marqué par une chaîne longue et étroite, orientée E.-O. ou E. 10° N., et exclusivement formée par le granit à deux micas. Au pied septentrional de cette chaîne, se trouvent bâtis Saint-Sylvain, Los-le-Roi, Clugnat, Châtelin, Bonnat, Saint-Aignan de Versillat. C'est près de ce dernier village que vient mourir, vers l'ouest, cette longue chaîne, dont la terminaison orientale est marquée par une série de sommets notablement plus élevés que tous les autres sommets de la chaîne, et dont l'altitude atteint 655 mètres (Signal de Toul Sainte-Croix), et 595 mètres (Signal des Pierres jaunâtres). Ces sommets sont du reste alignés suivant une direction N.-E. La chaîne est en outre traversée par de nombreux filons saillants de quartz, dirigés N.-O., et qui pénètrent aussi dans le granit à mica noir.

Si nous ajoutons enfin que la région occupée par le granit à mica noir du sud, a une altitude moyenne notablement supérieure à celle de la région gneissique du nord, on reconnaîtra que la chaîne, que nous venons de décrire rapidement, possède des caractères géologiques et orographiques entièrement identiques à ceux que présente celle de Blond. La formation de ces deux chaînes est très-vraisemblablement contemporaine.

Lorsque, après avoir suivi notre chaîne de l'ouest à l'est, de Saint-Aignan de Versillat au sommet de Toul, on continue à marcher vers l'est, dans la même direction, on voit le terrain s'abaisser brusquement, et le granit à mica noir remplacer le granit à deux micas qui ne forme plus qu'un massif peu étendu, sur la limite même de la Creuse et de l'Allier, à peu de distance de Treignat. Avant d'avoir atteint ce dernier massif, et au milieu du granit à mica noir, on rencontre le gisement de Montebras. Il est situé, un peu à l'ouest du hameau de ce nom, sur une éminence dont l'altitude est de 434 mètres, et au pied septentrional de laquelle apparaissent les gneiss qui ne sont point, en cet endroit, séparés, par le granit à deux micas, du granit à mica noir.

Anciens travaux. — Les anciens travaux, ouverts sur ce gisement, consistent en excavations de forme grossièrement conique, profondes de 8 à 10 mètres, larges de 30 à 40 mètres à l'orifice, et sur le bord desquelles sont accumulés les déblais. Ces excavations sont comme alignées suivant deux lignes qui se croisent à angle droit, et sont dirigées, l'une N.-O., l'autre N.-E.; ce sont justement les deux directions suivant lesquelles sont alignées les fouilles de Vaulry. Les excavations sont au nombre d'une trentaine environ.

Outre des fouilles, ouvertes au sommet de l'éminence, on rencontre encore, sur le versant sud-ouest, à la lisière d'un petit bois, une tranchée, longue de 150 mètres environ, profonde de 8 à 10 mètres, large de 50 à 60 mètres au moins. Le fond de cette grande tranchée, communique, à son extrémité nord, avec une tranchée plus petite, qui suit l'inclinaison du sol. Elle avait sans doute pour but de faire écouler les eaux qui remplissaient le fond des travaux.

Filons stannifères et roches qui les accompagnent. — Les fouilles, dont nous venons de donner une idée sommaire, de même que le terrain qui les entoure, étaient, au moment de notre exploration, complétement recouvertes par la végétation; les observations géologiques étaient alors, sinon impossibles, du moins fort difficiles.

J'ai pu rencontrer cependant, sur le sommet de même que sur le flanc méridional de la montagne, de nombreux fragments d'un quartz généralement amorphe, vitreux ou blanc laiteux, quelquefois fortement coloré en bleu. L'étain oxydé est généralement adhérent à ce quartz. On rencontre encore, soit en fragments épars, soit en place, un peu au sud de Montebras, une roche à peu près identique avec le greisen de Vaulry. Cette roche, essentiellement formée de quartz et de mica grisâtre, est presque toujours sillonnée de veines quartzeuses. Elle est très-fréquemment géodique, et ses géodes sont souvent tapissées par une matière tendre, verte ou jaune, hydratée, inattaquable aux acides, et qui n'est sans doute qu'un silicate d'alumine hydraté, produit de décomposition. Au milieu de greisen, se voient très-habituellement des noyaux plus noirs et plus compactes que le reste de la roche, ce qui communique à celle-ci une apparence fragmentaire. Quelques échantillons de cette roche, pulvérisés et lavés à l'augette, m'ont donné un sable noir dans lequel le chalumeau a constaté des traces d'étain métallique.

Une roche qui joue encore un certain rôle dans la constitution géologique de la montagne de Montebras, est une roche granitique à grains fins, formée de petits cristaux d'or-

those et de grains de quartz avec quelques lamelles microscopiques de mica blanc. Cette roche se rencontre en filons très-nets au milieu de granit à mica noir, au nord des excavations. Ces filons sont dirigés N. 10° à 20° E. On rencontre, à l'est du village de Montebras, une roche d'une composition minéralogique analogue, mais qui perd l'aspect prophyrique par la présence de grands cristaux de feldspath et de grains de quartz cristallins disséminés au milieu du reste de la masse, toujours à grains fins. Le village de Châteux, plus au sud, sur les bords de la petite Creuse, est bâti sur une roche semblable.

Je rapproche ces roches granitiques de celle que j'ai signalée comme accompagnant les filons de Cieux, et je les considère, ainsi que cette dernière, comme se rattachant à la pegmatite et au granit à deux micas.

Certains filons quartzeux courent au milieu du granit à mica noir et font saillie dans un chemin, sur le versant nord de la montagne. Ces filons quartzeux sont accompagnés de filons parallèles de greisen et de granit à petits grains et à mica blanc. Tous ces filons ont une orientation qui varie de N. 10° à 20° E. J'avais conclu de cette observation que les filons stannifères de Montebras possédaient sans doute la même orientation, qui est aussi celle que l'on rencontre habituellement à Vaulry. J'ajoutais que, probablement, une étude plus approfondie ferait reconnaître dans des filons, comme à Vaulry, une seconde direction nord-est, direction que l'on retrouve d'ailleurs dans l'alignement des anciennes fouilles.

On voit, par ces courtes indications, que le gisement de Montebras, comparé à celui de Vaulry, montre des analogies singulières; même constitution géologique du pays avoisinant; même nature des roches filoniennes; même direction des filons; même disposition des anciens travaux. Ces analogies se poursuivent sans doute encore dans la composition minéralogique, et il est probable que l'or se rencontrera à Montrebras, comme il s'est rencontré à Vaulry et à Cieux.

Déductions géologiques tirées de l'étude comparée des gisements de Montebras et de Vaulry. — De l'étude géologique comparée de ces deux gisements, on peut d'ailleurs, il me semble, tirer les déductions suivantes que confirmera la suite de nos observations :

1° Les filons d'étain oxydé du Limousin et de la Marche paraissent affecter deux directions principales, sinon absolument contemporaines, du moins très-voisines, par leur âge, l'une de l'autre, la direction N. 10° à 20° E., et la direction N. 40° à 50° E.

2° Ces deux directions se retrouvent, avec les directions à peu près perpendiculaires est-ouest et nord-ouest, dans l'orientation des principales chaînes et des principaux filons que forment le granit à deux micas et les roches granitiques connexes;

3° Toutes les autres circonstances géologiques qui accompagnent les gisements d'étain, montrent au reste que la production de l'étain oxydé dans le Limousin et la Marche, est liée à l'éruption de ces dernières roches granitiques, et en est probablement contemporaine.

Quant à l'époque de cette formation stannifère, je ne saurais partager l'opinion émise par M. Fournet (*) que les pegmatites et les filons d'étain qui les accompagnent sont d'une formation récente et peuvent ne pas remonter plus haut que l'époque tertiaire. Parmi les raisons qui me font considérer cette opinion comme erronée, au moins en ce qui concerne le Limousin et la Marche, je me contenterai de rapporter celle-ci qui me semble convaincante.

On trouve dans la partie occidentale de la Creuse des

(*) Je saisis avec plaisir cette occasion pour remercier ce savant de la bienveillante mention qu'il a bien voulu faire de mes recherches dans diverses publications.

lambeaux d'un terrain carbonifère évidemment de même âge que celui de la Loire, si bien étudié par M. Gruner. Ce terrain est labouré par des filons de porphyre quartzifère dont quelques-uns sont certainement antérieurs au terrain houiller, et dont quelques autres sont identiques et probablement contemporains avec les porphyres quartzifères des Vosges. Or, tous ces porphyres sont postérieurs à toutes les roches granitiques de la Creuse et de la Haute-Vienne, et traversent notamment le granit à deux micas en des points assez nombreux, comme par exemple dans les environs de Felletin, de Chanteloube, etc.

Je ferai remarquer d'ailleurs que les grands cercles de comparaison des systèmes anté-carbonifères du Finistère, du Longmynd, du Morbihan et du Hundsrück, transportés en un point situé très-près de la limite septentrionale de la Creuse, donnent respectivement les orientations suivantes :

Finistère.	E. 16° 02′ N.
Longmynd.	N. 27° 06′ E.
Morbihan.	N. 47° 12′ O.
Hundsrück.	N. 54° 15′ E.

Ce sont précisément les orientations que l'on retrouve le plus habituellement dans les chaînes ou les filons que forment le granit à deux micas et les roches congénères.

§ III. — Gisements stannifères et wolframifères divers.

Vaulry et Montebras ne sont pas, dans le Limousin et la Marche, de simples accidents; on connaît, dans ces deux provinces, un assez grand nombre de gisements qui contiennent de l'étain oxydé en plus ou moins grande quantité, ou qui, tout au moins, par la présence du wolfram, montrent leur étroite parenté avec les gisements stannifères.

Carrières de Chanteloube. — Au premier rang de ces gisements, on doit placer les curieuses et célèbres carrières

de Chanteloube. Ces carrières se rencontrent sur le bord de la route de Limoges à Paris, entre Rozès et Bessine, à peu de distance au nord du hameau de Chanteloube. Exploitées pour le feldspath qu'elles contiennent et qui sert à la fabrication de l'émail de la porcelaine, elles sont ouvertes sur des filons ou amas de pegmatite, qui percent le granit à deux micas. Les éléments essentiels de cette pegmatite ne diffèrent pas de ceux de la pegmatite ordinaire, si fréquents dans toutes les contrées granitiques ; ce sont l'orthose, légèrement rosé, un feldspath du sixième système beaucoup moins abondant que le premier, du quartz, du mica blanc et du mica noir. Mais ici ces éléments forment des masses considérables, quelquefois de plusieurs mètres cubes et sont juxtaposés les uns aux autres. On a donc, pour ainsi dire, la limite extrême d'une pegmatite à grands éléments.

On sait qu'avec les minéraux constituants de la pegmatite, on rencontre encore, à Chanteloube, en grande quantité, de l'émeraude, légèrement verdâtre, d'apparence pierreuse, qui forme des masses bacillaires considérables ; j'en ai vu qui avaient plus de 1 mètre de haut sur $0^m,50$ de large. Enfin, avec l'émeraude, on trouve assez fréquemment de l'apatite en prismes hexaèdres verdâtres et des manganèses phosphatés, enfin plus rarement et en beaucoup plus faible quantité, des minéraux contenant du niobium, du tantale et de l'étain oxydé. Voici, au reste, d'après M. Alluaud (*Aperçu géologique et minéralogique sur le département de la Haute-Vienne*, 1860), la liste exacte des minéraux rencontrés dans les carrières de Chanteloube :

Émeraude, — grenat spessartine, — malakon (hydrosilicate de zircone, — phillipsite (très-rare), — mispickel, — wolfram tantalifère, — colombite, — étain oxydé tantalifère, — Baierine, — apatite, — uranite, — Triplite, — Hétérosite, Tryphilline, — Alluaudite, — Hureaulite, — Dufrénite, — Vivianite.

Les carrières de Chanteloube et les minéraux qu'on y rencontre, au milieu même de la pegmatite, sont donc en quelque sorte une preuve manifeste que les gisements stannifères sont bien positivement liés à l'éruption des pegmatites et très-probablement produits par les évacuations qui ont accompagné cette éruption.

L'ensemble des filons ou amas de pegmatite sur lesquels sont ouvertes les carrières de Chanteloube, paraît avoir une direction N. 10° E.; telle est du moins la direction suivant laquelle les carrières sont alignées.

Gisement wolframifère de Saint-Léonard. — Le gisement de Saint-Léonard est un gisement wolframifère où l'étain oxydé ne s'est montré qu'en échantillons isolés et très-rares. Découvert en 1795 à la suite des fouilles faites pour se procurer les approvisionnements nécessaires à l'entretien de la route d'Aymoutiers, ce gisement fut l'objet de quelques recherches faites par l'administration vers 1809, sous la direction de M. de Cressac. Il consiste essentiellement en un filon quartzeux, assez irrégulier, de direction nord-est, intercalé au milieu du granit. On y trouve en assez grande abondance le wolfram lamelleux associé à du mispickel. D'après M. de Cressac, on y rencontre encore du bismuth natif, de la baryte sulfatée, du fer arséniaté, du cuivre arséniaté, du schellin calcaire, et enfin de l'étain oxydé.

L'étain oxydé trouvé par M. de Cressac à Saint-Léonard, est le premier échantillon d'étain qui ait été signalé dans le centre de la France.

Une circonstance intéressante que nous apprend M. Alluaud (*loc. cit.*), c'est que M. Durut a constaté des traces d'*or* dans des échantillons de pyrite de Saint-Léonard.

Gisement de Moudelisse. — Un autre gisement, signalé par M. Alluaud, et que j'ai reconnu moi-même, se rencontre près de Moudelisse, entre Limoges et Saint-Léonard. Ce gisement est formé par des veines de quartz qui coupent le granit, et sont dirigées N. 10° à 20°, E. Le wolfram s'y rencontre en faible quantité. M. Alluaud y a constaté aussi la présence du mispickel et de quelques masses de molybdène sulfuré et de schéelite.

Gisement de Népoulas.—M. Alluaud indique encore, près de Népoulas, sur la route de Limoges à Paris, entre Beaune et Chanteloube, un filon de quartz cristallisé qui coupe le granit à deux micas et contient du wolfram et du fer sulfuré.

Gisement de Jouaillot. — Enfin je signalerai dans la Creuse, entre Jouaillot et le Soulier, au nord de Bourganeuf, la présence d'un gisement de wolfram que j'ai rencontré dans mes explorations, mais dont je ne connais point la position précise, parce qu'il ne s'accuse à la surface du sol que par d'assez nombreux fragments de quartz wolframifère épars dans les champs. Ce gisement se trouve en relation avec un pointement de granit à deux micas qui perce le gneiss et forme les hauteurs de signal de Bonnefond.

Telles sont actuellement les seules localités (*) du Limousin et de la Marche dans lesquelles la présence de l'étain ou du wolfram ait été positivement constatée. Mais nous allons voir qu'on est amené à conjecturer, avec un grand degré de vraisemblance, que les gisements stannifères doivent avoir dans la contrée un bien plus grand développement. Cette conjecture s'appuie surtout sur la présence de très-nombreuses excavations, de tous points analogues à celles que l'on a rencontrées à Vaulry et à celles qui, à Montebras, m'ont fait soupçonner, puis découvrir le minerai d'étain.

(*) Pour ne rien oublier, je dois dire que la collection géologique du musée de Guéret possède un fragment de quartz wolframifère, porté inexactement sur le catalogue comme : Quartz avec amphibole. Cet échantillon est indiqué comme provenant des environs de Guéret. Si cette indication de localité n'est pas fausse, il y aurait donc, non loin de Guéret, un gisement de wolfram à ajouter à ceux que nous avons signalés.

Nous allons passer successivement en revue les plus importantes de ces excavations.

§ IV. — Excavations diverses analogues à celles de Vaulry et de Montebras.

Groupe de fouilles s'étendant de Millemilange presque vers Couzeix parallèlement aux cours de la Vienne et du Thorion. —Le Thorion, depuis Châtelus le Marcheix (Creuse) jusqu'à son confluent avec la Vienne, suit une direction N. 30° E.; la Vienne forme jusqu'à son confluent avec la Briance, près de Beynal, le prolongement naturel du Thorion et suit cette même direction N. 50° E. profondément empreinte dans toute la constitution géologique de la contrée. Le Thorion et la Vienne, dans la partie de leurs cours que nous venons d'indiquer, coulent d'ailleurs au milieu des gneiss qui sont limités au nord par une longue et importante chaîne de granit à deux micas précisément parallèles à la direction commune des deux rivières. Cette chaîne, que l'on peut considérer comme prenant naissance au sud-ouest à l'embranchement sur la route de Limoges à Belley, du chemin de grande communication de Limoges au Blanc par Ternon et le Buis, vient se souder, entre Jabreille et la Jonchère, avec une autre chaîne perpendiculaire, plus courte, mais plus élevée, formée, comme celle-ci de granit à deux micas, et sur laquelle sont situés les villages de Jabreille et de Saint-Goussard.

C'est au pied de la longue chaîne N.-E., dans les terrains de gneiss, à peu de distance de la ligne séparative de ce terrain et du granit à deux micas que sont alignées les excavations remarquables dont nous allons parler tout d'abord et qui forment en quelque sorte un groupe naturel.

Les plus importantes peut-être sont celles que l'on rencontre dans la Creuse, près du hameau de Millemilange, à 2 ou 3 kilomètres au sud de Jabreilles, et à quelques pas

seulement de la limite des départements de la Creuse et de la Haute-Vienne. Ces fouilles, dont la profondeur maximum est actuellement de 8 à 10 mètres, sont ouvertes dans des schistes en partie décomposés, et s'arrêtent à la limite même de schistes et du granit à deux micas. Elles forment une série de fosses, alignées suivant une direction N. 20° O. environ, sur deux lignes parallèles. Elles sont au nombre de sept, plus ou moins considérables, espacées sur une longueur de 4 à 500 mètres. Le cube des déblais, autant qu'il est permis de le faire en restituant la forme primitive du terrain, et en tenant compte du nivellement partiel opéré par le temps, ne paraît pouvoir être inférieur à 20.000 mètres cubes. Les déblais, accumulés sur le bord des fosses, sont exclusivement composés de gneiss décomposé, au milieu desquels on trouve du quartz plus ou moins chargé de pyrite et de mispickel. Malgré un examen assez attentif, je n'y ai point trouvé d'autres matières métallifères.

En marchant du N.-E. au S.-O., et suivant toujours le pied de la chaîne granitique, on rencontre, au milieu des gneiss, des excavations analogues :

1° Près du Couret, à peu de distance de la Jonchère, les excavations y sont dirigées N.-O;

2° Près du petit hameau de Laurière, non loin du Puy-Gersent, à l'ouest d'Ambazac; les fouilles, dirigées N.-E., contiennent en assez grande abondance du quartz hyalin plus ou moins cristallin, accompagné de cristaux de fer oligiste;

3° Près de Beaune, sur le bord de la route impériale de Limoges à Paris, ces excavations présentent une sorte de front de taille dirigé N. E.-S. O., ayant environ 100 à 120 mètres de développement. En arrière de ce front de taille, sont disposées trois buttes allongées, formées évidemment des déblais de la tranchée et perpendiculaires à la direction du front de taille. La hauteur de la crête des

travaux au-dessus du fond, est d'environ 10 à 15 mètres. Le cube des déblais doit être approximativement de 6 à 7,000 mètres cubes.

Les déblais sont formés de schistes terreux et décomposés. J'y ai trouvé d'assez nombreux fragments de quartz. J'y ai rencontré également un fragment de scorie noirâtre, au milieu duquel se trouvait empâté un noyau métallique aigu et cassant, composé de fer, au moins en très-grande partie. Un forgeron, dont la maison est contiguë à ces fouilles, m'a dit avoir rencontré, au milieu des déblais, du charbon et des pierres qu'il supposait avoir été rougies par le feu. Il m'a aussi montré un assez volumineux fragment de pierre qu'il en avait retiré, et dont il ignorait la nature. Cette pierre qui avait attiré son attention, n'était autre que du spath fluor légèrement verdâtre, formant une masse cristalline. Je n'ai pas rencontré moi-même de traces bien nettes de minerai métallique.

Les fouilles de Beaune ne sont du reste pas isolées; on trouve en effet, à peu de distance, des excavations situées sur le bord du ruisseau de Léchoisier, et dirigées perpendiculairement au cours du ruisseau, c'est-à-dire suivant une direction N.-E. La petite vallée, qui se trouve au bas de ces excavations, est hérissée d'éminences qui pourraient bien représenter des tas formés par les stériles que produisait le lavage d'un minerai.

4° D'anciennes excavations se voient encore près d'Amiéras, au sud de Chaptelet. Leur orientation est N.-E.

5° Enfin entre Mas-de-l'Age et Mas-Bourienne, en face l'hippodrome de Limoges, un peu au sud de Couzeix, on rencontre des fouilles orientées E. 20 à 30° N., et qui paraissent ouvertes sur un filon quartzeux pyritifère, visible dans les fossés de la route de Limoges à Bellac.

Aux excavations dont nous venons de parler, situées toutes, comme on le voit, dans des positions géologiques à peu près identiques, en liaison intime avec le granit à deux micas, on doit sans doute rattacher d'autres fouilles ouvertes dans ce granit même, mais sur la limite de cette roche et du gneiss. Ces fouilles se trouvent entre Saint-Sulpice-Laurière et la Roche, sur le bord du chemin de fer.

Groupe de fouilles des environs de Bénévent, Monrioux, Ceyroux, etc. — Un autre groupe de fouilles importantes se trouve dans la Creuse, au milieu du granit à mica noir, dans les environs de Bénévent, Monrioux, Ceyroux, etc. Je citerai :

1° Les fouilles considérables ouvertes entre Forgeas et Saint-Chartrier, à 2 ou 3 kil. au sud de Ceyroux. Ouvertes dans le voisinage de nombreux filons de pegmatite, elles forment plusieurs alignements parallèles dirigés N. 10° E. Elles paraissent du reste avoir suivi des filons de quartz noir imprégnés de mispickel et ayant la même direction;

2° Les fouilles ouvertes à peu de distance de celles-ci, entre Entregnat et les Groppes; elles sont orientées N.-E.

3° Celles qui se trouvent à peu de distance de la ligne du chemin de fer de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière, près de la Ribière, à 3 ou 4 kil. à l'ouest de la station de Morsac. Ouvertes, comme les précédentes, au milieu du granit à mica noir, pénétré de veinules de pegmatite tourmalinifère, elles forment deux lignes de profondes fosses, alignées N. 20° O., et disséminées sur une longueur d'environ 200 kil. Le cube des déblais n'y paraît pas moindre de 10,000 mètres cubes. J'y ai rencontré, en assez grande quantité, du quartz imprégné de mispickel, et contenant en outre des veinules d'une matière métalloïde, tendre, grise, et que quelques essais m'ont fait penser devoir être du sulfure d'antimoine.

4° Enfin les fouilles que l'on rencontre au sud de Chamborand, entre le hameau de la Faye et le ruisseau du Péroux. La tranchée principale dont le fond est occupé par une mare, porte dans le pays le nom de *Trou-des-Fées*. On rencontre dans les déblais beaucoup de quartz blanc.

Fouilles de Janailhac. — Dans la Haute-Vienne, près de Lieuras, entre Janailhac et la Roche-l'Abeille, au milieu de gneiss très-feuilletés, en relation avec des filons de pegmatite plus ou moins kaolinisés, qui ont été l'objet de quelques travaux récents, se trouve une série de fosses profondes, alignées exactement sur une même ligne de direction E. 20° N., sur une longueur de 7 à 800 mètres. Dans les déblais se trouve un très-grand nombre de fragments de quartz contenant de la pyrite et du mispickel, de sorte qu'il paraît au moins très-probable que les fouilles ont suivi un filon de quartz plus ou moins métallifère. Ces fouilles sont assez considérables pour qu'on ait cru devoir les indiquer sur la carte de l'état-major.

Fouilles du Chalard et de Lavignac. — De nombreuses et importantes fouilles se rencontrent encore au N.-O. de Saint-Yrieix, entre le Chalard et Lavignac, au milieu des gneiss, à proximité d'un puissant massif de granit à deux micas et de nombreux filons de pegmatite. On y rencontre des filons quartzeux contenant du fer oligiste.

M. Alluaud signale, près du Chalard, un granit à petits grains, contenant disséminé un sulfure argentifère dont la nature n'a pas été déterminée. On sait en outre que les environs de Saint-Yrieix, traversés par de très-nombreux et très-importants filons de pegmatite plus ou moins kaolinisés, contiennent encore, en assez grande abondance, du titane rutile, dont on trouve les cristaux épars dans les champs.

Fouille de Montier-Rozeille. — Nous mentionnerons encore en terminant, près de Montier-Rozeille, entre Aubusson et Felletin, à quelques mètres du chemin vicinal qui relie ces deux villes, l'existence de fosses un peu moins profondes que celles dont nous avons parlé jusqu'ici. Creusées à mi-côte, au milieu du granit à mica noir, et alignées suivant une direction N. 10° à 15° E., elles occupent une longueur de près de 500 mètres. Les déblais de

toutes les fosses sans exception, contiennent des débris d'un quartz verdâtre imprégné de pyrite et de mispickel; il est donc, là encore, évident que les fouilles ont suivi un filon quartzeux métallifère.

Il faut, du reste, noter ici que les roches granitoïdes des environs d'Aubusson et de Felletin contiennent de très-nombreuses veinules de mispickel.

§ V. — Discussion sur la destination de ces fouilles et sur leur âge.

D'après l'énumération, un peu fastidieuse peut-être, mais nécessaire, que nous venons de donner, on voit combien nombreuses sont ces fouilles anciennes, dont très-certainement nos explorations ne nous ont fait connaître qu'une partie. On voit, par suite, combien importante et curieuse est la question de leur origine et de leur destination primitive. La destination des fouilles de Montebras et de Vaulry n'est pas douteuse. L'analogie incontestable que toutes les autres possèdent avec celle-ci, porte immédiatement à penser qu'elles ont eu aussi pour but la recherche et l'exploitation de mines métalliques. Un grand nombre de considérations viennent appuyer cette conjecture.

On ne voit pas d'abord à quel autre usage ces fouilles auraient pu être destinées. Elles n'ont servi évidemment ni à des retranchements militaires, ni à des habitations, ni à des tombeaux. Elles n'ont pu davantage servir à l'extraction de matériaux de construction, puisque, la plupart du temps, elles ont été ouvertes dans un terrain complétement décomposé.

Elles sont d'ailleurs toujours disposées, dans chaque localité, suivant un alignement déterminé ou suivant des alignements parallèles entre eux, comme le seraient des travaux ouverts sur la crête d'un filon ou sur les crêtes de

plusieurs filons parallèles. Cette circonstance, à elle seule, me semble un caractère de la plus haute valeur.

La plupart de ces fouilles sont ouvertes dans des conditions géologiques sinon identiques, au moins très-semblables. C'est ainsi que tout le groupe qui s'étend de Millemilange à Couzeix, suit exactement le pied d'une chaîne de granit à deux micas, granit qui présente des relations intimes avec les gisements stannifères de Vaulry et de Montebras. Quant aux autres fouilles, elles sont situées dans le voisinage de nombreux filons de pegmatite que je considère, d'après un grand nombre de faits, comme appartenant à la même famille granitique que le granit à deux micas. Ainsi donc la position des fouilles semble déterminée surtout par la nature géologique de la contrée, ce qui ne semble pouvoir s'expliquer que par l'hypothèse de travaux de mines.

L'orientation qui domine dans l'alignement de toutes ces fouilles est une orientation N. 10° à 50° E. C'est précisément la direction qui domine dans l'alignement des fouilles de Vaulry et de Montebras, et qui, dans ces deux localités, est déterminée par l'orientation des filons stannifères.

Enfin dans les déblais de toutes ces fouilles on rencontre uniformément du quartz imprégné de pyrite et de mispickel, substances qui constituent la moyenne partie des filons de Vaulry. Dans quelques-uns on rencontre du fer oligiste ; dans quelques autres, du spath fluor qui constitue, à Vaulry, un filon parallèle aux filons stannifères.

On peut conclure, de tout cela, avec un assez grand degré de probabilité, que les fouilles ont eu pour but l'exploitation de gisements métallifères, identiques à la fois, et entre eux et avec ceux de Vaulry et de Montebras.

La circonstance que, jusqu'à présent, je n'ai pu constater la présence de l'étain oxydé dans aucune autre fouille que celles de Vaulry et de Montebras ne doit pas faire rejeter cette opinion ; car l'étain oxydé n'entre qu'en proportion minime dans la matière des filons, et l'on doit s'attendre à le rencontrer, en proportion bien plus faible encore, dans les déblais rejetés comme stériles et accumulés sur le bord des fosses. La végétation qui recouvre tous ces déblais, ainsi que les fouilles elles-mêmes, rend d'ailleurs encore bien plus faible la chance de mettre la main sur un échantillon de minerai d'étain. Aussi, dans ma première exploration du gisement de Montebras, bien que j'y aie employé plusieurs heures, je ne rencontrai qu'un seul échantillon d'étain oxydé ; encore ne l'ai-je trouvé qu'assez loin des fouilles et lorsque je désespérais déjà de pouvoir appuyer de cette preuve incontestable l'opinion que la vue des fouilles m'avait tout d'abord suggérée.

Il pourrait bien se faire, du reste, que l'étain n'ait pas été le seul objet de tous ces travaux. On n'a pas oublié que l'or accompagne normalement l'étain à Vaulry, soit dans les alluvions, soit dans les filons, et que le gisement, sans doute très-analogue, quoique principalement wolframifère, de Saint-Léonard, contient aussi de l'or, suivant une observation de M. Darcet. Pourquoi les gisements stannifères dont nous arrivons à soupçonner l'existence, n'auraient-ils point été également aurifères ? Pourquoi l'exploitation de l'or n'aurait-elle pas été enfin un des buts, peut-être même en beaucoup de cas le but principal de nos anciens travaux ?

Une circonstance pleine d'intérêt vient à l'appui de cette conjecture.

Dans une grande partie du Limousin, les fouilles anciennes dont nous nous occupons prennent le nom d'*Aurières*. Ce nom, auquel les habitants ne rattachent, actuellement du moins, aucune idée particulière sur la destination de ces fouilles, est certainement fort ancien, car il arrive souvent que des localités situées à proximité de semblables excavations, portent le nom de *Laurière*, *Aurières*, *Auriéras*. La raison d'être de ces dénominations devient en quelque sorte évidente si l'on remarque que la plus grande

partie de ces *aurières*, celles qui sont disséminées entre Millemilange et Couzeix, sont précisément alignées parallèlement à un petit cours d'eau qui coule à peu de distance et que l'on désigne sous le nom d'*Aurance*. Or, ici, l'étymologie n'est pas douteuse, car les sables de cette rivière contiennent des paillettes d'or, et ils étaient assez riches, à ce qu'il paraît, pour couvrir, vers la fin du siècle dernier, la dépense des orpailleurs occupés à les laver.

Ce fait, signalé par M. Alluaud, et que j'ignorais lorsque j'ai émis pour la première fois, dans les journaux de mes courses communiqués chaque année au conseil général, l'opinion que je discute ici, n'en est-il pas, en quelque sorte, la confirmation, et ne rend-il pas presque indubitable que les fouilles qui s'étendent de Millemilange à Couzeix, ont été effectivement ouvertes, comme leurs analogues de Vaulry et de Montebras, sur des gîsements stanno-aurifères, dont les débris ont enrichi les sables de l'Aurance?

Si nous voulons maintenant connaître l'histoire des fouilles dont la destination nous est ainsi connue avec un degré de probabilité voisin, il me semble, de la certitude, et si nous nous adressons, dans ce but, à la tradition, celle-ci restera complétement muette ou ne nous répondra que par des récits évidemment légendaires. C'est ainsi qu'à Vaulry les fosses passent pour les ruines d'une ville détruite, l'une d'elles, la plus profonde, étant considérée comme renfermant un trésor placé sous la garde d'une fée; qu'à Montebras on voit dans les anciens travaux des mines, des retranchements élevés par les habitants de Montebras avec ceux de Toul; qu'à Saint-Chartrier, près de Ceyroux, on les regarde comme des retranchements creusés par les Anglais.

Toutes ces légendes ne prouvent qu'une chose, importante du reste à constater, c'est que l'antiquité de ces fouilles est assez reculée pour que leur destination primitive se soit complétement effacée de la mémoire des hommes.

Il semble, d'après cela, qu'on doive faire remonter son ouverture à une époque plus ancienne que le moyen âge. Le souvenir d'une exploitation certainement considérable et étendue de métaux précieux comme l'étain et l'or, ne se serait point aussi complétement perdu, si cette exploitation ne remontait pas à une plus haute antiquité.

La tradition, et même l'histoire locale, en auraient conservé quelques traces, ainsi que cela a eu lieu, par exemple, pour les exploitations aurifères de la Bohême qui datent précisément du moyen âge.

On ne peut donc guère hésiter, il me semble, qu'entre l'époque gallo-romaine et l'époque gauloise. Je penche, avec M. Morin, pour cette dernière. Les Gallo-Romains ne se seraient sans doute pas bornés à des travaux superficiels; et nulle part, pas même à Vaulry, où des recherches assez nombreuses ont été faites, on n'a trouvé trace de travaux souterrains.

D'ailleurs les Gaulois, on ne l'ignore pas, non-seulement connaissaient l'étain, mais encore le travaillaient avec une certaine perfection, puisqu'on attribue aux voisins des Limousins, les Bituriges, la découverte de l'étamage. Ils possédaient en outre une grande quantité d'or, puisque ces grandes richesses ont permis à César d'acheter une partie de la noblesse romaine. On sait enfin, depuis longtemps, que, bien avant la conquête romaine, un grand commerce d'étain se faisait à travers la Gaule. Marseille en effet est restée, durant presque toute l'antiquité, le principal entrepôt de l'étain consommé par le monde civilisé d'alors; et l'on s'accorde généralement à penser que l'étain arrivait à Marseille, en grande partie au moins, par voie de terre. Sans doute une bonne portion du métal ainsi accumulé à Marseille, devait venir du Cornouailles, mais il est permis de supposer que le Limousin contribuait aussi, et peut-être dans une large mesure, à l'approvisionnement de la riche colonie phocéenne.

Quoi qu'il en soit de nos conjectures, nous pouvons résumer, dans les quelques propositions suivantes, les conclusions, les unes certaines, les autres probables, de la discussion historique, malheureusement bien incomplète, que nous venons de tenter :

1° A une certaine époque, le Limousin et la Marche ont possédé indubitablement, à Montebras et à Vaulry, d'assez importantes mines d'étain;

2° De semblables exploitations étaient probablement ouvertes en beaucoup d'autres points de ces deux provinces, et expliquent ainsi les excavations que l'on y rencontre disséminées en grand nombre;

3° L'or qui se trouve dans le gisement de Vaulry, dont on a signalé des traces dans le gisement de Saint-Léonard, a été très-probablement, non-seulement à Vaulry, mais dans toutes les autres exploitations analogues, une des matières recherchées par les explorateurs;

4° C'est sans doute à cette circonstance que ces excavations doivent le nom d'*aurières*, nom qui s'est étendu de celles-ci aux villages voisins, et qui doit avoir été donné à ces fouilles à une époque où leur destination n'avait point encore été oubliée;

5° Le silence complet de la tradition sur le but véritable de ces travaux, leur nature exclusivement superficielle et à ciel ouvert, paraissent des raisons qui permettent de les attribuer avec vraisemblance aux Gaulois, et de supposer que le Limousin et la Marche ont été une des contrées d'où nos ancêtres tiraient l'or qu'ils possédaient en grande quantité et où Marseille venait approvisionner son entrepôt d'étain.

Nous voici donc amenés à penser que ces deux provinces du centre de la France, relativement si pauvres, ont eu leur période de prospérité et ont excité peut-être la convoitise des peuplades de la Gaule à un aussi haut degré que de nos jours la Californie, celle du monde entier.

Cette conclusion, encore hypothétique sans doute, me semble d'un intérêt assez vif, et d'une vraisemblance assez grande pour provoquer de nouveaux travaux et de nouvelles recherches qui viennent la confirmer ou l'infirmer. Il n'y faudrait pas de bien grandes dépenses; quelques travaux de lavage sur les alluvions de certaines vallées, quelques coups de pioche dans les déblais de nos anciennes fouilles suffiraient sans doute pour faire la lumière sur cette question. Et si ce n'est pas assez du pur attrait scientifique pour engager dans cette entreprise, qui pourrait dire si elle n'aboutira pas en somme à la découverte d'importants gisements d'or et d'étain.

Je serais heureux, pour ma part, et c'est là le but principal de ce travail, si, en exposant le résultat de mes recherches ainsi que les conjectures auxquelles elles m'ont amené et de la vraisemblance desquelles chacun peut être juge, je pouvais provoquer de semblables recherches, et contribuer ainsi, peut-être, à ajouter un intéressant détail à notre histoire nationale ou à faire connaître une richesse ignorée de notre sol.

Janvier 1865.

NOTE ADDITIONNELLE.

Depuis la rédaction du mémoire qui précède (présenté à l'Académie des sciences en janvier 1866), de nouvelles courses géologiques dans la Haute-Vienne m'ont permis d'ajouter de nouvelles fouilles à la liste que j'ai donnée plus haut. Il me paraît de quelque intérêt de les mentionner ici, pour éviter la fatigue de nouvelles recherches aux explorateurs qui seraient tentés de résoudre, par quelques travaux, la question sur laquelle je n'ai pu que hasarder des conjectures.

J'ai reconnu d'abord que près du village de Beaune, outre les excavations que l'on rencontre sur le bord de la route et dont j'ai parlé, il s'en trouvait d'autres, bien plus importantes encore, dans un rayon de quelques centaines de mètres autour du village, les uns entre Beaune et Batterie, les autres entre Beaune et le Mosgenut.

Aux environs de Saint-Yrieix, où je ne connaissais que les

fouilles de Lecuras et celles du Chalard, il faut noter encore des excavations très-considérables situées les unes près d'Auriéras (*), à 3 kilomètres au sud de la Roche-l'Abeille, les autres à la Rochette, à 4 kilomètres environ au nord de Saint-Yrieix. Les unes et les autres sont ouvertes sur un même filon de quartz très-puissant, saillant sur une assez grande partie de son cours, et qui n'a pas moins de 10 kilomètres de longueur. Ce filon, dirigé E. 20° à 30° N., est perpendiculaire à un autre filon saillant qui traverse le village même de la Roche-l'Abeille, et longe le massif de serpentine que l'on rencontre près de cette localité. Ces deux filons perpendiculaires sont formés de quartz identiques. Ce sont des quartz blancs, hachés, montrant, dans certaines parties, des cellules formées de minces cloisons quartzeuses groupées en général suivant des angles dérivant du système hexagonal. Ces cellules sont ordinairement tapissées d'une matière ferrugineuse que l'on rencontre également en noyau d'une certaine grosseur. Cet oxyde de fer est vraisemblablement formé par la décomposition des pyrites que l'on rencontre ainsi dans des quartz.

D'autres excavations se rencontrent encore près de Nouzilleras, non loin du ruisseau de l'Isle, à 3 kilomètres nord nord-ouest des fouilles de la Rochette. Ce sont, avec ces dernières, les plus profondes que je connaisse; leur profondeur n'est pas inférieure à 17 mètres. Les fouilles de Nouzilleras présentent une circonstance intéressante qui m'a été indiquée par les habitants du village; un conduit souterrain qui, vraisemblablement, communiquait avec le fond des travaux, débouchait dans le hameau même sur le flanc de la colline.

Enfin, des excavations non moins importantes que les précédentes, se voient près du hameau de Moissac, à 4 kilomètres au sud-sud-est de Saint-Yrieix.

Les environs de Saint-Yrieix ont donc été un centre des plus importants pour l'exploitation des gîtes minéraux dont nous recherchons la nature.

D'ailleurs, dans aucune des fouilles que je viens de citer, je n'ai rencontré autre chose que des schistes décomposés et d'abondants fragments de quartz où sont disséminés de la pyrite, du mispickel et du fer hydroxydé provenant de la décomposition des pyrites dont il garde souvent la forme. Il serait intéressant de rechercher, dans ces pyrites, la présence de l'or qui a été signalée par M. Darcet dans celles de Saint-Léonard. Je compte m'occuper de cette recherche dès que j'aurai en ma possession une quantité suffisante de matière.

Le 17 janvier 1867.

(*) J'ai trouvé ces fouilles en me guidant sur l'indication donnée par le nom de ce hameau.

MÉMOIRE

SUR LE RÉSEAU PENTAGONAL.

Par M. POUYANNE, ingénieur des mines.

Nous nous proposons un double but dans le présent travail : — premièrement, de fournir à tous ceux qui peuvent s'intéresser au réseau pentagonal des moyens aussi commodes que possible d'appliquer ce réseau en un point quelconque de la terre, et de vérifier ainsi jusqu'à quel point il coïncide avec les faits; — deuxièmement, de montrer que malgré le grand nombre de cercles dont il se compose, le réseau pentagonal peut trouver dans les observations numériques de directions une vérification aussi sérieuse que peut l'être celle d'une autre loi naturelle quelconque.

Nous avons besoin pour cela de définir le réseau lui-même d'une manière qui, identique au fond à celle de M. Élie de Beaumont, en diffère cependant un peu dans la forme; cette définition fournira un principe de classement très-commode entre les cercles et permettra de savoir au juste combien il y en a. Elle permettra également de calculer très-simplement les éléments numériques du réseau, éléments dont les tableaux rendent les calculs d'application très-faciles.

Nous commencerons donc par exposer le mode de génération des cercles, la subordination impliquée par ce mode, et l'importance relative qui nous semble devoir être attribuée à chaque espèce de cercle. Nous donnerons ensuite les tableaux numériques des éléments géométriques du réseau, renvoyant pour ses éléments géographiques aux deux tableaux récemment publiés par M. Élie de Beaumont. Nous

terminerons en prouvant que les observations peuvent démontrer la réalité du réseau, sans qu'il soit nécessaire de leur demander une précision incompatible avec la pratique de la statigraphie.

En cherchant à construire un réseau infini de cercles rattachés avec des degrés variables d'intimité à la symétrie pentagonale, M. Élie de Beaumont (*Système des montagnes*, page 954) a été amené à considérer comme entrant dans le réseau tout cercle perpendiculaire aux grands cercles principaux, c'est-à-dire passant par les pôles de ces grands cercles. Un peu plus loin, il remarque que parmi le nombre infini de cercles ainsi caractérisés, un certain nombre se particularisent tout de suite par la condition de passer par plusieurs de ces pôles à la fois, et acquièrent ainsi une prééminence marquée sur les autres. C'est donc dans l'ouvrage de ce savant auteur que nous allons prendre à la fois, au moyen d'une légère généralisation :

1° Le critérium pour introduire un cercle dans le réseau, à savoir la perpendicularité sur ceux qui sont déjà reconnus comme en faisant partie;

2° Le principe de classement des cercles introduits, c'est-à-dire le rang même d'introduction et la perpendicularité sur un nombre plus ou moins grand des cercles précédents.

On peut voir dans l'ouvrage ci-dessus cité comment ces deux principes se déduisent de considérations en quelque sorte cristallographiques.

On peut également les appuyer sur les idées suivantes, idées vagues, sans doute, et hypothétiques, mais qui, néanmoins, permettent de concevoir rationnellement les principes dont il est question.

Si nous considérons la terre commençant à se couvrir d'une croûte solide, et subissant progressivement les effets du refroidissement, il est clair qu'il a dû naître dans son enveloppe des systèmes de forces tendant à la disloquer, pour

compenser la différence des retraits entre la masse intérieure et la croûte extérieure.

Ces systèmes de forces, croissant avec le temps, ont dû produire, dès qu'ils ont atteint des valeurs suffisamment grandes, la dislocation qui exigeait le minimum d'action, et tout nous porte à croire qu'ils se sont manifestés ainsi périodiquement par l'écrasement d'un fuseau.

Quand un pareil phénomène s'est produit pour la première fois, la position du fuseau d'écrasement a dû être déterminée par des conditions de moindre résistance complétement inconnues, tenant probablement aux propriétés physiques et chimiques des roches composant la première croûte. Mais une fois produit, cet accident a introduit dans les phénomènes une condition nouvelle. Il n'a pu se produire, en effet, sans déterminer sur une certaine étendue des lignes de moindre résistance perpendiculaires à sa propre direction. Quant à cette direction même, l'épanchement et la solidification des matières intérieures a dû plutôt la consolider.

Le refroidissement continuant, de nouveaux fuseaux ont déterminé de même de nouvelles lignes de moindre résistance. Mais en même temps l'épaisseur de la croûte s'accroissait, et, par suite de cet accroissement, deux phénomènes ont dû se produire. D'abord, considérées les unes par rapport aux autres, les diverses lignes normales aux fuseaux ont dû posséder une résistance d'autant moindre qu'elles étaient plus récentes; car chacune d'elles ne pouvait exister que dans l'épaisseur de la croûte solidifiée lors de son apparition. Ensuite les conditions de moindre résistance, tenant à la nature même des roches, ont dû, comparativement aux lignes résultant des écrasements, devenir de plus en plus faibles à mesure que la croûte solide prenait plus de puissance.

Il a donc dû arriver un moment où les couditions de moindre résistance prépondérantes ont été celles qui étaient

dues aux écrasements, et il est clair que parmi ces lignes, celles-là surtout sont devenues prépondérantes qui se trouvaient réunies en plus grand nombre sur un même fuseau. A partir de ce moment, les nouveaux fuseaux d'écrasement ont donc dû tendre à se placer normalement sur le plus grand nombre possible de fuseaux antérieurs les moins anciens, et avec le temps, cette condition a dû devenir de plus en plus importante.

Il est donc naturel, pour tracer un système théorique de cercles destiné à représenter les phénomènes, de prendre pour lien de ce système cette condition de perpendicularité multiple.

Il resterait, il est vrai, à trouver une raison pour adopter comme base une série de quinze grands cercles ajustés pentagonalement; peut être la perpendicularité multiple est-elle destinée à la fournir. Il n'est point impossible qu'en considérant le réseau pentagonal d'une manière abstraite, on arrive à trouver que c'est celui qui se prête le mieux à dériver des cercles les uns des autres, de façon à obtenir le maximum d'incidences perpendiculaires. Il est certain du moins que ces incidences sont très-nombreuses dans le système pentagonal, ainsi que nous le verrons plus loin.

Quoi qu'il en soit, nous tiendrons nos deux principes pour directement accordés (le premier, du moins, car le deuxième en est la conséquence évidente), et nous nous en servirons pour étudier et classer les catégories de cercles qui s'engendrent successivement; et notre point de départ sera le système formé par quinze grands cercles ajustés pentagonalement, les quinze cercles primitifs ou fondamentaux.

Ces grands cercles primitifs, par leurs intersections réciproques, partagent la sphère en 120 triangles rectangles scalènes, en tout identiques les uns aux autres.

Si un cercle admis à un titre quelconque dans le réseau a son pôle en un point d'un de ces triangles, les points identiques des autres triangles seront les pôles de cercles placés

absolument dans les mêmes conditions que le premier, et qui devraient au même titre que lui figurer dans le réseau. Nous n'avons donc nul besoin pour faire notre étude de recourir à la sphère entière; il suffit de considérer un seul de ces triangles scalènes.

La *fig.* 5, Pl. VI, représente un de ces triangles en projection gnomonique sur l'horizon de son point D. Nous rappellerons que ces triangles ont leurs trois sommets d'ordre bien distincts. Le sommet de l'angle droit H est l'intersection rectangulaire de deux primitifs, et ce point est le pôle d'un autre primitif. Au sommet I, trois primitifs se coupent sous des angles de 60 degrés, et au sommet D, cinq primitifs se coupent sous des angles de 36 degrés. En d'autres termes, dans l'agencement des triangles sur la sphère, quatre triangles s'assemblent aux points H, six aux points I et dix aux points D. (Voir l'ouvrage de M. Élie de Beaumont, des notations duquel nous faisons usage ici.)

Soit donc considéré le triangle de la *fig.* 5. En appliquant notre principe de perpendicularité pour l'introduction de cercles auxiliaires, il est clair que la première classe qui se présentera comprendra les cercles perpendiculaires à plusieurs primitifs à la fois. Mais des cercles satisfaisant à cette condition ne sauraient avoir pour pôles que des intersections de primitifs, c'est-à-dire des points H, D ou I. Les points H étant pôles des primitifs, ne donnent rien de neuf. Les points I, intersection de trois primitifs, sont les pôles de cercles perpendiculaires à trois primitifs à la fois, et à trois seulement; et comme ils sont au nombre de dix sur un hémisphère, il s'ensuit qu'il n'y a que dix cercles correspondants : ce sont les octaédriques de M. Élie de Beaumont.

Les points D, intersection de cinq primitifs, et au nombre de six sur un hémisphère, sont les pôles de six cercles perpendiculaires, chacun à cinq primitifs à la fois : ce sont les dodécaédriques réguliers.

Ainsi la première application de nos principes nous donne seulement seize cercles, qui sont avec le réseau primitif dans un rapport de symétrie plus intime qu'aucun autre. Ils composent la deuxième catégorie des cercles du réseau, la première étant formée par les primitifs; nous les appellerons *cercles principaux.*

Pour aller commodément plus loin, nous allons tracer dans notre triangle les résultats obtenus, c'est-à-dire supposer que les seize cercles principaux ont été tracés sur la sphère, et considérer notre triangle après ce tracé; nous obtenons ainsi la *fig.* 6. (Voir *Système des montagnes*, tome II.)

Le triangle fondamental DHI est traversé par un arc de dodécaédrique régulier H*b* et par deux arcs d'octaédriques HT et T*a*. Comme nous avons épuisé la catégorie des cercles perpendiculaires à plusieurs primitifs, tous les cercles nouveaux ne sauraient être perpendiculaires qu'à un seul primitif; mais ayant introduit et défini la catégorie des cercles principaux, nous définirons une nouvelle série de cercles par la condition de perpendicularité sur plusieurs cercles des deux séries précédentes, c'est-à-dire sur un primitif et un ou plusieurs principaux, ou bien sur plusieurs principaux.

Des cercles satisfaisant à cette condition auront nécessairement leurs pôles à des intersections de primitifs et de principaux ou de principaux entre eux. Or on voit sur la *fig.* 6 qu'il n'y a dans un triangle scalène d'autres intersections de cette espèce que les points T, *a* et *b*. La série actuellement à l'examen ne se compose donc que de trois espèces de cercles ayant leurs pôles en T, *a* et *b*; et comme ces points, appartenant chacun à deux triangles adjacents, sont au nombre de trente sur un hémisphère, chacune de nos trois espèces comprendra trente cercles.

Au point T se coupent deux octaédriques et un primitif; les cercles correspondants seront donc perpendiculaires à deux octaédriques et à un primitif; par conséquent ils passeront par les pôles de ces cercles, c'est-à-dire par deux points I et un point H : ce sont les dodécaédriques rhomboïdaux de M. Élie de Beaumont.

De même les cercles qui ont les points *a* pour pôles, sont perpendiculaires à un octaédrique et à un primitif, c'est-à-dire qu'ils passent par un point I et un point H. Ceux qui ont pour pôles les points *b* sont perpendiculaires à un primitif et à un dodécaédrique régulier, c'est-à-dire qu'ils passent par un point H et un point D.

Ces trois espèces de cercles coïncident avec les bissectrices des trois angles d'un triangle rectangle scalène : les cercles à pôle T sont bissecteurs de l'angle droit; les cercles à pôle *a*, de l'angle en I, et les cercles à pôle *b*, de l'angle en D.

Il est curieux de remarquer que ce caractère les réunit en une même catégorie, tout comme le caractère de perpendicularité. Il y a dans cette coïncidence un témoignage tout particulier de leur relation intime avec la symétrie pentagonale : nous les appellerons *cercles semi-principaux;* ils forment notre troisième catégorie.

De même que nous avons adopté pour caractère des cercles semi-principaux d'être perpendiculaires à plusieurs cercles des deux premières séries, nous prendrons pour définition des cercles d'une quatrième catégorie d'être perpendiculaires à plusieurs cercles des trois premières.

Pour parvenir à les compter et classer commodément, nous allons user du même artifice qui nous a déjà servi, et supposer que tous les cercles précédents ont été tracés sur la sphère, ce qui d'ailleurs est très-facile dans une projection gnomonique. Prenant alors un triangle fondamental avec tous les cercles qui le traversent, nous obtiendrons la *fig.* 7, Pl. VI, où les intersections des cercles tracés vont nous fournir tous les pôles des cercles cherchés.

Mais auparavant nous devons faire observer que toutes les intersections qui y sont figurées ne résultent pas seule-

ment de l'épure, ce qui serait d'ailleurs une démonstration pratique suffisante. Elles résultent également de toutes les longueurs d'arcs et valeurs d'angles de la figure, qui, calculées de plusieurs manières différentes, se sont trouvées identiques à quelques centièmes de seconde près. C'est là une démonstration fastidieuse, mais positive, et elle a été suivie jusqu'au bout.

Plusieurs des points d'intersection de la *fig.* 7 sont désignés par une lettre ou une autre dans l'ouvrage de M. Élie de Beaumont; mais aucun d'une manière suivie et méthodique, sauf toutefois le point *c*, intersection rectangulaire d'un octaédrique et d'un dodécaédrique rhomboïdal. Nous avons donc cru, pour la présente série, devoir nous écarter de la notation du savant auteur, pour ranger ces points dans des catégories symétriques. Nous employons pour les désigner les lettres α, β, γ, δ, ε, avec des indices; α s'applique aux points situés sur les primitifs, appartenant par conséquent à deux triangles contigus et au nombre de 30 par hémisphère seulement. β s'applique aux points situés sur l'arc de dodécaédrique régulier; γ à ceux qui se trouvent sur les arcs d'octaédrique; δ et ε aux intersections de cercles semi-principaux entre eux, δ aux intersections multiples, ε aux intersections simples. Ces diverses catégories de points étant dans l'intérieur des triangles fondamentaux, il y en a 60 par hémisphère. Quant aux indices, la *fig.* 7 n'a pas besoin de commentaire.

Nos points étant ainsi nommés, il n'y a qu'à les passer en revue pour classer et énumérer les cercles dont ils sont les pôles. En regardant sur la figure quelle est la nature des arcs qui s'y croisent, on voit à combien et à quelles espèces d'arcs des trois premières séries, les cercles considérés sont perpendiculaires, et par suite par combien de points H, D, I, T, *b*, *a* ils passent; cette dernière propriété va servir à les dénommer, et le classement se fera en considérant la quantité et la nature de ces points, ou en d'autres termes, en

considérant la quantité et la nature des cercles des trois premières séries que les cercles examinés se trouvent couper normalement.

Comme les espèces de cercles compris dans la 4ᵉ catégorie sont assez nombreuses, nous avons cru devoir y introduire des subdivisions.

Il résulte de la définition de la 4ᵉ série, comparée à celle de la troisième, qu'elle ne peut contenir aucun cercle normal à plus d'un cercle des deux premières catégories. Mais un cercle de la 4ᵉ série peut être perpendiculaire à un primitif ou principal et à un ou plusieurs semi-principaux. Il s'établit par cela seul trois divisions qui sont les suivantes :

1° Cercles perpendiculaires à un primitif et à au moins un semi-principal; ils auront leur pôle sur un primitif: ce sera donc un des points α.

2° Cercles normaux à un primitif et à au moins un semi-principal; se subdivisant d'après la nature du principal en :

1° Normaux à un dodécaédrique régulier, pôle en un point β;

2° Normaux à un octaédrique, pôles en des points γ.

Les trois divisions paraissent être en bloc d'égale valeur comme symétrie, sauf peut-être une certaine prééminence pour la première, où chaque espèce de cercle est réduite au nombre de 30 au lieu de 60.

Mais ces divers cercles n'épuisent pas la 4ᵉ série. Il reste des cercles perpendiculaires à plusieurs semi-principaux seulement, ayant leurs pôles en des points δ ou ε; or, là où les semi-principaux ne se coupent que deux à deux (point ε), il nous semble que la condition de symétrie se trouve inférieure à la moins symétrique des combinaisons précédentes; pour avoir une division de symétrie à peu près égale, nous la formons exclusivement avec les points à intersections multiples, c'est-à-dire les points δ.

Il nous reste alors pour épuiser la définition de la 4ᵉ sé-

rie, des cercles inférieurs à pôles ε perpendiculaires à deux semi-principaux seulement. Bien que correspondant à la définition générale, ces cercles sembleraient mieux placés à côté de ceux d'une cinquième catégorie. Toutefois nous avons classé à part ceux qui passent par un point T, en rejetant seulement ceux qui se bornent à joindre des points *a* et *b*; c'est que le point T a plus d'importance symétrique que les points *a* et *b*, et que nous comptons ainsi tous ceux que nous pouvons compter des cercles de M. Élie de Beaumont.

Quant à des cercles tels que D*c*, T*c*, etc. que le savant auteur admet aussi, ils ne pourraient figurer que dans une 5ᵉ catégorie, et rien dans notre manière de procéder n'autorise à les distinguer des cercles tels que Dα, Dβ, qui semblent même devoir être plus symétriques.

Pour nos cercles à pôle ε, ils forment évidemment une division de symétrie inférieure à celle des quatre autres divisions de la 4ᵉ série, et supérieure à celle de la 5ᵉ; c'est pourquoi nous les séparons de la 4ᵉ série, que nous formerons exclusivement des quatre premières divisions, et nous les désignerons sous la rubrique de cercles auxiliaires ambigus; la 4ᵉ série telle que nous venons de l'arrêter, prendra pour nous le titre de cercles auxiliaires principaux, et nous qualifierons toutes les catégories d'un rang plus éloigné du nom de derniers auxiliaires.

Tout ce qui précède étant posé, nous n'avons plus qu'à jeter les yeux sur la *fig.* 7, et à procéder à l'énumération de nos cercles. Nous désignerons chacun d'eux par les points H, D, I, T, *a*, *b* par lesquels il passe, pris dans leur ordre. Cet ordre est le même que l'ordre dans lequel se coupent les arcs dont les points susdits sont les pôles, à celui des points α, β, etc., qui est le pôle du cercle considéré.

PREMIÈRE SECTION. — *Pôles* α.

Cercles normaux à un primitif et à au moins un semi-principal.

Cette section comprend les espèces suivantes contenant chacune 30 cercles :

H*a*TT*a*.	Pôle	α.
H*b*TT*b*.	—	α 1
HT*bb*T.	—	α 2
H*baab*.	—	α 3
H*abba*.	—	α 4
H*aa* »	—	α 5
H*aa* »	—	α 6

En tout 210 cercles, dont les premiers au moins sont les plus symétriques de la 4ᵉ série.

DEUXIÈME SECTION.

§ 1ᵉʳ. — *Pôles* 6.

Cercles normaux à un dodécaédrique régulier et à au moins un semi-principal.

Ce paragraphe comprend 4 espèces de 60 cercles chacune.

DT*b*.	Pôle	6.
DT*b*.	—	6 1
D*a*.	—	6 2
D*a*.	—	6 3

§ 2. — *Pôles* γ.

Cercles normaux à un octaédrique et à au moins un semi-principal.

Ce paragraphe comprend 7 espèces de 60 cercles chacune.

I*abb*.	Pôle	γ.
I*a*T.	—	γ 1
IT*a*	—	γ 2
IT.	—	γ 3 (*c*)
I*b*.	—	γ 3
I*b*.	—	γ 5
I*a*	—	γ 6

En tout, pour l'ensemble de la section, 660 cercles.

TROISIÈME SECTION. — *Pôles* δ.

Cercles perpendiculaires à plus de deux semi-principaux.

Cette section comprend 3 espèces de 60 cercles chacune.

TT*bb*.	Pôle	δ.
T*ab*	—	δ_1
T*ba*.	—	δ_2

En tout 180 cercles.

Cercles auxiliaires ambigus. Pôles ε.

Perpendiculaires à un dodécaédrique rhomboïdal et un deuxième semi-principal.

Cette classe comprend 9 espèces de 60 cercles chacune.

TT.	Pôle	ε.
TT.	—	ε_1
T*b*.	—	ε_2
T*b*.	—	ε_3
T*a*.	—	ε_4
T*a*.	—	ε_5
T*a*.	—	ε_6
T*a*.	—	ε_7
T*a*.	—	ε_8

En tout 540 cercles. On peut voir par l'exemple de ces derniers que la notation la plus simple, et en même temps la plus précise pour spécifier chaque espèce de cercle, consiste à lui donner le nom de son pôle.

On voit, en s'en référant à la quantité de points qui définissent chaque espèce, que la première section l'emporte en symétrie. Toutefois un cercle DT*b*, I*abb* ou IT*a*, peut être considéré comme plus symétrique qu'un cercle H*aa*. Dans la 3e section un cercle TT*bb*, doit équivaloir au moins à un cercle IT*a* ; les divisions de la 4e série ne présentent donc pas de conditions de symétrie trop disparates. Le nombre

total des cercles des quatre premières séries est de 1.171 ; si on a y joint les ambigus, ce nombre s'élève à 1.711.

On peut facilement s'assurer sur la figure que nous négligeons 240 cercles *aa* 120 *bb*, et 300 *ab*, ce qui porterait à 2.371 le nombre total des cercles des quatre premières séries, si nous avions admis pour la 4e toute l'extension que sa définition comporte.

Une cinquième série s'obtiendrait en prenant les cercles perpendiculaires à plusieurs cercles des quatre premières. Son extension serait extrêmement considérable ; nous ne nous proposons point de la développer. Seulement nous avons voulu énumérer dans cette catégorie les cercles qui se trouvent passer par un des points H, D, I, T, et par les points *c* de M. Élie de Beaumont, afin de compléter l'énumération des cercles rentrant dans les conditions définies dans son ouvrage par le savant auteur.

Pour cela nous avons tracé dans un triangle fondamental, tous les arcs de cercle IT, qui y passent. Ces cercles sont ceux qui ont pour pôles les points *c* ou γ_3. Nous avons ainsi obtenu la *fig.* 8. Elle montre d'abord quels sont ceux des cercles des quatre premières séries et des ambigus qui passent en des points *c*. Elle prouve de plus qu'en dehors de ceux-là il y a 330 cercles H*cc*, 240 D*c*, 360 I*c* et 960 T*c*, en tout 1.890 cercles.

Le nombre, les pôles et les espèces de cercles ci-dessus définis se trouvent résumés dans le tableau A ci-contre, Nous avons marqué les points *c*, pour les cercles qui en ont.

Tableau A.

1re CATÉGORIE. Cercles fondamentaux.		2e CATÉGORIE. Cercles principaux.		3e CATÉGORIE. Cercles semi-principaux.	
Cercles.	Pôles.	Cercles.	Pôles.	Cercles.	Pôles.
15 primitifs. . .	H	6 dodécaèdriques réguliers. . . .	D	30 dodécaédriques rhomboïdaux. .	T
		10 octaèdriques.	I	30 bissecteurs DH.	*b*
				30 bissecteurs IH.	*a*

4e CATÉGORIE. — *Cercles auxiliaires principaux.*

1re SECTION.		2e SECTION. § I.		2e SECTION. § II.		3e SECTION.	
Cercles.	Pôles.	Cercles.	Pôles.	Cercles.	Pôles.	Cercles.	Pôles.
30 H*a*TT*a*	α	60 DT*b*	β	60 I*abb*	γ	60 TT*cbcb*	δ
30 H*b*TT*b*	α_1	60 DT*b*	β_1	60 I*a*T	γ_1	60 T*abc*	δ_1
30 HT*bb*T	α_2	60 D*ca*	β_2	60 IT*a*	γ_2	60 T*bac*	δ_2
30 H*baab*	α_3	60 D*ac*	β_3	60 IT	γ_3		
30 H*abba*	α_4			60 I*bc*	γ_4		
30 H*aa*	α_5			60 I*cb*	γ_5		
30 H*aa*	α_6			60 I*a*	γ_6		

Cercles auxiliaires ambigus.

60TT.	Pôle ε
60T*T*.	— ε^1
60T*b*.	— ε^2
60T*b*.	— ε^3
60T*a*.	— ε^4
60T*a*.	— ε^5
60T*ac*.	— ε^6
60T*a*.	— ε^7
60T*a*.	— ε^8

Il nous a semblé intéressant de comparer la classification obtenue plus haut avec celle que donnerait l'évaluation des poids d'après le système de M. Élie de Beaumont (***Système des montagnes***, page 970). Seulement il nous semble que le savant auteur a commis une erreur dans la formule qu'il emploie, erreur qu'il faut d'abord rectifier avant d'aller plus loin.

« On peut, » dit-il à la page citée, « considérer le réseau pentagonal comme une limite dont un réseau irrégulier se serait rapproché par degrés, et chaque point T, comme la réunion finale de deux points qui d'abord auraient été distincts; chaque point D comme la réunion finale de cinq points, etc. : chacun de ces points sera ainsi remplacé par une sorte de petite pléiade de points rayonnants égaux entre eux sous le rapport de l'intensité du rayonnement. Puis on considérera les cercles menés de chacun des points de chaque pléiade à chaque point de toutes les autres, sans lier entre eux les divers points d'une même pléiade, et lorsqu'on supposera finalement chaque pléiade réduite à un point unique, tous les cercles qui joignaient deux pléiades se confondront en un seul. »

« Si l'on cherche ensuite quel est le nombre total des cercles qui joignent les points D, I, H, T, soit entre eux, soit avec les points *a*, *b*, *c*, on trouvera qu'en appelant N, N′, N″, N‴, le nombre des points D, I, H et T respectivement, et *n* le nombre des points *a*, *b*, *c*, le nombre total des cercles est exprimé par :

$$[5(N-1)+6N'+8N''+2N''']N+[5N+6(N'-1)8N''+ +2N''']N'$$

$$+[5N+6N'+8(N''-1+2N''']N''+[5N+6N'+8N''+ +2(N'''-1)]N'''$$

$$+[5N+6N'+8N''+2N''']n=[5N+6N'+8N''+2N''']\,[N+ +N'+N''+N'''+n-1]. »$$

Mais la formule ainsi déterminée ne correspond pas à l'opération décrite plus haut. Si en effet nous considérons la première partie savoir :

$$[5\,(N-1)+6N'+8N''+2N''']N,$$

elle doit exprimer le nombre de cercles obtenus en prenant un point D, et le joignant successivement avec chacun des autres points D, H, I, T, comptant respectivement pour 5, 6, 8 et 2, puis en répétant l'opération pour les N points D. Mais chaque point D, ainsi pris pour origine, doit compter aussi pour 5. Ce n'est donc point par N seulement, mais bien par 5 N, qu'il faut multiplier le facteur entre parenthèses. Il y a une observation analogue à faire sur les membres suivants, sauf celui qui exprime le nombre des jonctions avec a, b, c, qui est juste. Mais l'ensemble des 4 membres précédents est double du nombre de cercles réels, car chaque cercle y compte deux fois; un DH par exemple compte aux D (1er membre) et ensuite aux H (2e membre); il faut donc doubler aussi le 3e membre et diviser le tout par 2.

Il faut donc, d'après nous, substituer à la formule ci-dessus la formule suivante :

$$1/2\left\{\begin{array}{l}[5\,(N-1)+6N'+8N''+2N''']5N+[5N+6(N'-1)+\\ \qquad +8N''+2N''']6N'\\ +[5N+6N'+8\,(N''-1)+2N''']8N''+[5N+6N'+\\ \qquad +8N''+2\,(N'''-1]2N'''\\ +[5N+6N'+8N''+2N''']2n.\end{array}\right.$$

$$=\frac{1}{2}[5N+6N'+8N''+2N'''][5N+6N'+8N''+2N'''+$$
$$+2n]-\frac{1}{2}[25N+36N'+64N''+4N'''].$$

Elle représente fidèlement l'opération décrite plus haut. Appliqué à nos cercles suivant la méthode de M. Élie de

Beaumont, c'est-à-dire en comptant les points c pour la même valeur que les points a et b, elle donne les résultats suivants :

Poids total du réseau.	68055
Primitif	921
Octaédrique.	864
Dodécaédrique régulier.	840

Semi-principaux :

Dodécaédrique rhomboïdal.	216
Bissecteur I. H.	48
Bissecteur D. H.	40

Cercles auxiliaires principaux.

1re section	HbTTb, HTbbT, HaTTa.	60
	Hbaab, Habba.	32
	. . . . . Haa.	16
2e section § 1er	DTb.	17
	Dca, Dac.	10
2e section § 2	Iabb.	18
	ITa, IaT.	20
	IT, Ibc, Icb.	12
	. . Iab.	6
3e section	TTcbcb.	20
	Tabc, Tbac.	6

Cercles auxiliaires ambigus.

TT.	4
Tac.	4
Tb, Ta.	2

Un seul coup d'œil fait voir que ce classement par les poids ne s'éloigne pas sensiblement de celui que nous avons déduit de l'application de nos principes.

Il peut être intéressant de comparer entre eux les cercles ci-dessus définis à un autre point de vue, en cherchant

pour les cercles de chaque espèce à combien de cercles des autres espèces ils se trouvent perpendiculaires. C'est pour cela que nous avons dressé le tableau B ci-contre, qui donne pour chaque cercle tous les points α, 6, γ, δ, ε, par lesquels il passe, et qui indique ainsi le nombre et l'espèce de cercles du réseau auquel chaque cercle est perpendiculaire.

Tableau B.

CERCLES.	PÔLES.	PARCOURS DU CERCLE sur une demi-circonférence.	NOMBRE de points.
		Cercles semi-principaux.	
Dodécaédrique rhomboïdal. .	T	$H\varepsilon_8\varepsilon\delta_1\varepsilon_1\alpha_1\delta\gamma_2\alpha\gamma_3\varepsilon_3\varepsilon\beta\delta_2\varepsilon_7 I\varepsilon_6\varepsilon_5\beta_1\varepsilon_1\delta\gamma_1\varepsilon_4\alpha_2\varepsilon_2 T\varepsilon_2\alpha_2$ $\varepsilon_4\gamma_1\delta\varepsilon_1\beta_1\varepsilon_3\varepsilon_6 I\varepsilon_7\delta_2\beta\varepsilon\varepsilon_3\gamma_3\alpha\gamma_2\delta\alpha_1\varepsilon_1\delta_1\varepsilon\varepsilon_8$	50
DH.	b	$H\varepsilon_3\delta\alpha_3\gamma_4\alpha_2\gamma\alpha_1\beta_1\delta_2\alpha_4\beta\delta_1\delta\gamma\varepsilon_2\gamma_5 D\gamma_5\varepsilon_2\gamma\delta\delta_1\beta\alpha_4\delta_2\beta_1$ $\alpha_1\gamma\alpha_2\gamma_4\alpha_3\delta\varepsilon_3$	34
IH.	a	$H\delta_2\varepsilon_5\alpha_6\varepsilon_6\varepsilon_7\alpha_4\beta_2\varepsilon_8\gamma_6\alpha\gamma_1\alpha_3\gamma\varepsilon_4\alpha_5\gamma_2\delta_1\beta_3 I\beta_3\delta_1\gamma_2\alpha_5\varepsilon_4$ $\gamma\alpha_3\gamma_1\alpha\gamma_6\varepsilon_8\beta_2\alpha_4\varepsilon_7\varepsilon_6\alpha_6\varepsilon_5\delta_2$	38
		Cercles auxiliaires principaux.	
		1re SECTION.	
HaTTa. . .	α	$H\beta_1\gamma a T\beta\beta T a\gamma\beta_1$	11
HbTTb. . .	α_1	$H\gamma\gamma_1 b\beta_1 TT\beta_1 b\gamma_1\gamma$	11
HTbbT. . .	α_2	$H\beta\gamma_2 T\gamma b b\gamma T\gamma_2\beta$	11
H$baab$. . . .	α_3	$H\gamma_1\gamma_2\beta_1 b\gamma_1 aa\gamma_1 b\beta_1\gamma_2\gamma_1$	13
H$abba$. . . .	α_4	$H\gamma_3 a\gamma_1\beta b\gamma_2\gamma_3 b\beta\gamma_1 a\gamma_3$	13
Haa.	α_5	$H\beta_3\gamma_1\gamma_3 a\beta_1\beta_1 a\gamma_3\gamma_1\beta_3$	11
Haa.	α_6	$H\gamma_4\beta\beta_2\gamma_2 aa\gamma_2\beta_2\beta\gamma_4$	11
		2e SECTION. — § I.	
DTb.	β	$D\varepsilon_4\gamma_2\varepsilon_3\varepsilon_8\beta_2\varepsilon\delta T\gamma_5\alpha_2\gamma_3\varepsilon\alpha_4 b\varepsilon_1\alpha\delta_1\beta_1\alpha_6\varepsilon_7\beta_1$	22
DTb.	β_1	$D\gamma_1\varepsilon\beta\varepsilon_1\alpha_3\varepsilon_2 T\varepsilon_4\alpha\beta\alpha_1\gamma_1\alpha_5\delta b\varepsilon_5\varepsilon_7\delta_2\beta_3\varepsilon_1\gamma_4$	22
Dca.	β_2	$D\gamma_3\varepsilon_3\gamma_1 a\delta\delta_2\alpha_6\beta_3\varepsilon\beta\varepsilon_6\varepsilon_5$	13
Dac.	β_3	$D\beta_2\delta_1 a\varepsilon_2\alpha_3\gamma_3\varepsilon_8\beta_1\delta\gamma_2\varepsilon_1\varepsilon_6$	13
		§ II.	
Iabb.	γ	$I\gamma a\varepsilon_2\alpha_1\varepsilon_5\varepsilon_6 b\alpha_2\gamma\alpha\delta_2 b\delta_1\varepsilon_3\gamma_6\varepsilon_8$	17
IaT.	γ_1	$Ia\gamma_3\alpha_3\beta_1\alpha_1 T\alpha_5\varepsilon_3\alpha_4\varepsilon_5\beta_1\varepsilon\beta_2$	14
ITa.	γ_2	$I\gamma_4\varepsilon_2 T\varepsilon_1\alpha_4\beta_3\alpha_3 a\alpha_2\beta\alpha_6\beta\varepsilon_8$	14
IT.	γ_3 (c)	$I\gamma_3\gamma_4\delta\delta_1 T\delta\beta_3\varepsilon_6\delta_2\beta_2$	11
Ibc.	γ_4	$I\gamma_3 b\alpha_6\delta\alpha_3\gamma_2\beta_1\varepsilon_1\gamma_3$	10
Icb.	γ_5	$I\gamma_1\delta\gamma_3 b\varepsilon\alpha_4\beta\alpha_5\gamma_4$	10
Ia.	γ_6	$I\gamma\varepsilon\delta a\varepsilon_1\varepsilon_7$	7
		3e SECTION.	
TT$cbcb$. . .	δ	$T\beta_3\beta_1\gamma_4 T\gamma_3\beta_2 b\gamma_3\gamma_6\beta b\gamma_5$	13
Tabc.	δ_1	$T\gamma\beta a b\gamma_3\beta_3$	7
Tbac.	δ_2	$T\beta_2\beta_1 b\gamma a\gamma_3$	7

Suite du tableau **B**.

CERCLES.	PÔLES.	PARCOURS DU CERCLE sur une demi-circonférence.	NOMBRE de points.
		Cercles auxiliaires ambigus.	
TT.	ε	$T\beta\beta_1\gamma_6\beta T\gamma_5\gamma_1\beta_2$	9
TT.	ε_1	$T\gamma_6\beta_1\gamma_2\beta_1 T\gamma_4\beta\beta_3$	9
T*b*.	ε_2	$T\beta_1\gamma\gamma_2 b\beta_3$	6
T*b*.	ε_3	$T\gamma_1\beta\beta_2 b\gamma$	6
T*a*.	ε_4	$T\beta\beta_1 a$	4
T*a*.	ε_5	$Ta\gamma_1\beta_1\gamma\beta_2$	6
T*ac*.	ε_6	$T\beta_2\gamma_3 a\beta_3\gamma$	6
T*a*.	ε_7	$Ta\beta_1\beta\gamma_6$	5
T*a*.	ε_8	$T\beta\beta_3 a\gamma\gamma_2$	6

Ce tableau a été dressé en suivant le tracé des arcs sur une épure soignée d'un pentagone en projection gnomonique sur l'horizon de son centre. Il est donc empirique; mais l'épure a été faite avec assez de soin pour qu'on puisse le considérer comme certain.

On peut voir qu'en adoptant pour valeur des cercles le nombre des points qu'ils contiennent, notre classement ne serait pas dérangé, sauf que la 2e section de la 4e série l'emporterait sur la première. On peut voir aussi que les intersections rectangulaires sont très-nombreuses, ainsi que nous l'avions annoncé plus haut.

Le calcul des éléments numériques du réseau formé par les cercles des 4 premières séries, et les cercles ambigus, n'offre aucune difficulté. Il se réduit au fond à calculer les arcs et les angles contenus dans la *fig.* 7. L'opération consiste à résoudre une série de triangles sphériques dont une grande partie est rectangle. Nous l'avons exécuté avec tout le soin possible, et les éléments sont contenus dans les tableaux C, D et D'.

Le tableau C, donnant les angles sous lesquels les cercles des trois premières catégories se coupent aux divers points dénommés, donne par cela même les distances des points H, D, I, T, *b*, *a*, prises sur les cercles dont les points en question sont les pôles. Ce renseignement n'a pas, sans doute, une grande importance; toutefois, comme la suite des calculs nous a obligé de déterminer tous ces angles, nous avons pensé devoir en donner le tableau.

Tableau C.

POINTS.	ANGLES.	VALEURS.			
		degr.	min.	sec.	
H	DH1	90	00	00	00
	DHT	20	54	18	58
	DHα_3	31	43	02	92
	DHα_4	45	00	00	00
	DHb	58	16	57	08
	DHα_6	69	05	41	42
D	HDα_4	18	00	00	00
	HDI	36	00	00	00
I	HIα	022	14	19	52
	HIα_5	30	00	00	00
	HIα_2	37	45	40	48
	HJD	60	00	00	00
T	DTa	54	44	08	19
	DTα_2	90	00	00	00
	HTa	70	31	43	62
	HTI	54	44	08	19
a	DaT	90	00	00	00
b	DbH	90	00	00	00
α	H$\alpha\alpha_4$	49	47	49	30
	HαI	69	17	42	67
	D$\alpha\alpha_1$	69	17	42	67
	D$\alpha\alpha_3$	49	47	49	30
α_1	I$\alpha_1\alpha_4$	46	30	46	55
	Iα_1H	77	22	42	89
	D$\alpha_1\alpha$	77	22	42	89
	D$\alpha_1\alpha_2$	46	30	46	55

POINTS.	ANGLES.	VALEURS.			
		degr.	min.	sec.	
α_2	Hα_2I	55	06	21	23
	H$\alpha_2\alpha_1$	80	39	01	05
	D$\alpha_2\alpha_3$	80	39	01	05
	Dα_2T	55	06	21	23
α_3	Iα_3H	64	49	43	49
	I$\alpha_3\alpha$	83	40	10	10
	D$\alpha_3\alpha_5$	83	40	10	10
	D$\alpha_3\alpha_2$	64	49	43	49
	H$\alpha_4\alpha_1$	40	54	29	04
	Hα_4D	74	45	35	41
	I$\alpha_4\alpha_1$	74	45	35	41
	I$\alpha_4\alpha_6$	40	54	29	04
α_5	Hα_5I	62	09	16	86
	D$\alpha_5\alpha_5$	62	09	16	86
α_6	Hα_6D	79	43	22	13
	I$\alpha_6\alpha_4$	79	43	22	13
β	Dβb	73	57	07	80
	Iβb	53	01	21	10
	I$\beta\alpha_4$	53	01	21	10
β_1	H$\beta_1\alpha_4$	43	38	48	94
	I$\beta_1 b$	68	10	35	53
	I$\beta_1\alpha_4$	68	10	35	53
β_2	H$\beta_2\alpha$	72	19	48	97
	H$\beta_2\alpha_4$	107	40	11	03
β_3	I$\beta_3 b$	60	35	07	96
	Iβ_3H	119	24	52	04

Suite du Tableau C.

POINTS.	ANGLES.	VALEURS.			
		degr.	min.	sec.	
γ	DγT	37	22	38	50
	D$\gamma\alpha_2$	63	26	05	78
	$\alpha_2\gamma\alpha_5$	37	22	38	50
	H$\gamma\alpha_3$	41	48	37	22
γ_1	Iγ_1H	75	23	08	40
	H$\gamma_1\alpha$	29	13	43	20
	$\alpha\gamma_1\alpha_2$	75	23	08	40
γ_2	Hγ_2I	82	41	06	48
	H$\gamma_2\alpha$	48	39	26	76
	$\alpha\gamma_2\alpha_5$	48	39	26	76
γ_3	Hγ_3I	90	00	00	00
γ_4	H$\gamma_4\alpha_2$	60	35	07	96
	$\alpha_2\gamma_4$T	119	24	52	04
γ_5	D$\gamma_5 a$	72	19	48	68
	Dγ_5T	107	40	11	32
γ_6	T$\gamma_6\alpha$	70	31	43	61
	H$\gamma_6\alpha$	109	28	16	39
δ	D$\delta\alpha_2$	38	03	32	85
	$\alpha_2\delta\alpha$	56	00	43	81
	$\alpha\delta$H	38	03	32	85
	H$\delta\alpha_4$	47	52	10	49
δ_1	I$\delta_1\alpha_1$	73	36	53	51
	I$\delta_1\alpha_4$	45	30	14	78
	H$\delta_1\alpha_4$	60	52	51	71

POINTS.	ANGLES.	VALEURS.			
		degr.	min.	sec.	
δ_2	H$\delta_2\alpha_4$	54	12	09	62
	I$\delta_2\alpha_4$	83	24	12	62
	I$\delta_2\alpha_6$	42	23	37	76
ε	H$\varepsilon\alpha$	66	08	22	81
	HεI	113	51	37	19
ε_1	H$\varepsilon_1\alpha_2$	81	06	42	12
	Hε_1I	98	53	17	88
ε_2	Dε_2T	72	29	56	33
	D$\varepsilon_2\alpha_2$	107	30	03	67
ε_3	H$\varepsilon_3\alpha$	79	17	16	46
	Hε_3I	100	42	43	54
ε_4	I$\varepsilon_4\alpha_3$	62	50	33	61
	I$\varepsilon_4\alpha_5$	117	09	26	39
ε_5	I$\varepsilon_5\alpha_6$	57	41	47	59
	Iε_5H	122	18	12	41
ε_6	I$\varepsilon_6\alpha_6$	78	13	18	37
	I$\varepsilon_6\alpha_4$	101	46	41	63
ε_7	I$\varepsilon_7\alpha_6$	62	50	33	61
	I$\varepsilon_7\alpha_4$	117	09	26	39
ξ_8	H$\xi_8\alpha$	85	31	41	51
	H$\varepsilon_8\alpha_4$	94	28	18	49

Tableau D.

Segments formés sur les cercles primitifs et principaux.

PRIMITIF.		DODÉCAÈDRIQUE RÉGULIER.		OCTAÉDRIQUE.	
Segments	Valeur.	Segments	Valeur.	Segments	Valeur.
	degr. s. m.		degr. s. m.		degr. s. m.
$H\alpha$	8 18 2 80	$b\beta$	8 16 3 71	$H\gamma_6$	6 42 58 57
$H\alpha_5$	11 38 26 61	$H\beta$	9 43 56 29	$H\gamma_3$	7 45 40 48
$H\alpha_2$	15 27 1 59	$b\beta_1$	4 23 10 24	$\gamma_3\gamma_2$	2 36 4 44
Ha	20 54 18 58	$H\beta_1$	13 36 49 76	$\gamma_3\gamma_1$	5 17 22 21
HD	31 43 2 92	$b\beta_2$	11 21 16 70	$\gamma_3\gamma$	7 45 40 48
$H\alpha_4$	9 41 37 41	$H\beta_2$	6 38 43 30	$T\gamma$	6 42 58 57
HI	20 54 18 58	$b\beta_3$	6 20 53 09	HT	22 14 19 52
ID	37 22 38 56	$H\beta_3$	11 49 6 91	$H\gamma$	15 31 20 96
IT	24 5 41 42			$H\gamma_4$	17 33 49 43
Ib	10 48 44 34			Ta	7 45 40 48
$I\alpha_6$	7 26 5 31			$a\gamma_5$	3 29 16 82
$b\alpha_6$	3 22 39 03				
$b\alpha_1$	4 10 20 21				
bd_3	8 46 59 61				

Tableau D'.

Segments formés sur les cercles semi-principaux.

DODÉCAÈDRIQUE RHOMBOÏDAL.		BISSECTEUR DH.		BISSECTEUR HI.	
Segments	Valeur.	Segments	Valeur.	Segments	Valeur.
	degr. s. m.		degr. s. m.		degr. s. m.
$I\delta_2$	10 53 6 90	$D\gamma_5$	11 21 16 66	$I\beta_3$	12 26 10 61
$I\beta$	13 34 52 00	$D\gamma$	18 0 0 00	$I\delta_1$	15 14 51 68
$I\gamma_3$	19 28 16 40	$D\delta$	21 32 53 46	$I\gamma_2$	19 38 15 07
$I\alpha$	22 25 26 66	$D\delta_1$	25 11 3 25	$I\alpha_5$	23 48 0 68
$\alpha\gamma_2$	3 56 3 96	$D\beta$	27 43 56 27	$\alpha_5\gamma$	6 14 59 32
$\alpha\delta$	7 4 19 67	$D\alpha_4$	33 1 2 65	$\alpha_5\alpha_3$	11 42 47 43
$\alpha\alpha_1$	13 50 59 72	$\alpha_1\delta_2$	4 14 53 24	$\alpha_3\gamma_1$	17 32 14 53
$H\alpha_1$	18 27 41 81	$\alpha_1\beta_1$	7 22 7 61	$\alpha_3\alpha$	13 35 35 63
$H\delta_1$	10 43 2 30	$\alpha_1\alpha_1$	13 25 19 57	$\alpha\gamma_6$	3 17 55 75
$I\beta_1$	11 39 29 84	$\alpha_1\gamma$	7 33 46 76	$\alpha\beta_2$	7 24 19 50
$I\delta$	17 42 57 65	$\alpha_1\alpha_2$	13 6 59 81	$\alpha\alpha_4$	12 44 10 48
$I\gamma_1$	20 8 59 88	$\alpha_2\gamma_4$	6 15 53 92	$\alpha_4\alpha_6$	9 51 12 06
$I\alpha_2$	25 47 15 57	$\alpha_2\alpha_3$	10 28 54 32	$H\alpha_6$	8 18 13 72
$\alpha_2 T$	9 28 36 24	$H\alpha_3$	19 57 52 65	$H\delta_2$	11 33 15 67
$I\varepsilon$	16 0 54 35	$H\delta$	12 39 13 94	$\alpha_3\varepsilon_4$	3 30 41 56
$H\varepsilon$	8 29 30 04	$D\varepsilon_2$	13 56 24 11	$H\varepsilon_5$	14 58 55 98
$I\varepsilon_1$	14 47 45 56	$H\varepsilon_3$	7 53 59 15	$\alpha_4\varepsilon_6$	6 59 9 10
$H\varepsilon_1$	12 46 38 64			$\alpha_4\varepsilon_7$	4 44 38 19
$T\varepsilon_2$	4 16 9 41			$\alpha_4\varepsilon_8$	6 51 32 59
$\gamma_3\varepsilon_3$	1 28 38 67				
$I\varepsilon_4$	22 0 6 14				
$I\varepsilon_5$	8 39 49 63				
$I\varepsilon_6$	7 28 23 11				
$I\varepsilon_7$	8 13 37 67				
$H\varepsilon_8$	6 20 59 82				

Tableau E.

Angles formés aux points H, D, I, *avec le primitif, par les cercles des quatre premières séries passant par ces points.*

EN UN POINT H.

Espèces de cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle. degr.	min.	sec.	
H*abba*.	α_4	9	41	37	41
Octaédrique. .	I	20	54	18	58
H*aa*.	α_6	28	20	23	89
DH.	*b*	31	43	02	92
H*a*TT*b*. . . .	α_1	35	53	23	13
H*bbaab*. . . .	α_3	40	30	02	53
Dodécaédrique rhomboïdal.	T	45	00	00	00
Dodécaédrique régulier. . .	D	58	16	57	08
IH.	*a*	69	05	41	42
HT*bb*T. . . .	α_2	74	32	58	41
H*aa*.	α_5	78	21	33	39
H*a*TT*a*. . . .	α	81	41	57	20
Primitif. . . .	H	90	00	00	00

EN UN POINT D.

Espèces de cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle. degr.	min.	sec.	
D*ca*.	β_2	6	38	43	30
DT*bb*.	β	9	43	56	29
D*aa*.	β_3	11	49	06	91
DT*b*.	β_1	13	36	49	76
DH.	*b*	18	00	00	00
DT*b*.	β_1	22	23	10	24
D*ac*.	β_3	24	10	53	09
DT*b*.	β	26	16	03	71
D*ca*.	β_2	29	21	16	70
Primitif. . . .	H	36	00	00	00

EN UN POINT I.

Espèces de cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle. degr.	min.	sec.	
I*a*.	γ_6	6	42	58	57
IT.	γ_3	7	45	40	48
IT*a*.	γ_2	10	21	44	92
I*a*T.	γ_1	13	03	02	69
I*abb*.	γ	15	31	29	96
I*bc*.	γ_4	17	33	49	43
Dodécaédrique rhomboïdal.	T	22	14	19	52
I*cb*.	γ_5	26	30	43	18
IH.	*a*	30	00	00	00
I*cb*.	γ_5	33	29	16	82
Dodécaédrique rhomboïdal.	T	37	45	40	48
I*bc*.	γ_4	42	26	10	57
I*abb*.	γ	44	28	39	05
I*a*T.	γ_1	46	56	57	32
IT*a*.	γ_2	49	38	15	09
IT.	γ_3	52	14	19	52
I*a*.	γ_6	53	17	01	43
Primitif. . . .	H	60	00	00	00

Tableau E′.

Angles formés aux points T, *a*, *b*, *avec le primitif, par les cercles des quatre premières séries passant par ces points.*

EN UN POINT T.

Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle. degr.	min.	sec.	
DT*abc*.	δ_1	10	43	02	30
H*b*TT*b*. . . .	α_1	18	27	41	81
TT*cbcb*. . . .	δ	25	14	21	86
TT*a*.	γ_2	28	22	37	57
H*a*TT*a*. . . .	α	32	18	41	53
IT.	γ_3	35	15	51	79
DT*b*.	β	41	09	16	19
T*cab*.	δ_2	43	51	01	29
Octaédrique. .	I	54	44	08	19
DT*b*.	β_1	66	23	38	03
TT*cbcb*. . . .	δ	72	27	05	84
I*a*T.	γ_1	74	53	08	07
HT*bb*T. . . .	α_2	80	31	23	76
Dodécaédrique rhomboïdal.	T	90	00	00	00

EN UN POINT *b*.

Espèces des cercles.	Pôles	Valeur de l'angle. degr.	min.	sec.	
TT*cbcb*. . . .	δ	12	39	13	94
H*baab*. . . .	α_3	19	57	52	65
I*bc*.	γ_4	24	10	53	04
HT*bb*T. . . .	α_2	30	26	46	95
I*bba*.	γ	36	00	00	00
H*b*TT*b*. . . .	α_1	43	33	46	76
DT*b*.	β_1	49	36	49	74
T*bac*.	δ_2	52	44	04	11
H*abba*. . . .	α_4	56	58	57	35
DT*b*.	β	62	16	03	73
T*abc*.	δ_1	64	48	57	75
TT*cbcb*. . . .	δ	68	07	06	54
I*bba*.	γ	72	00	00	00
I*cb*.	γ_5	78	38	43	34
Dodécaédrique régulier. .	D	90	00	00	00

EN UN POINT *a*.

Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle. degr.	min.	sec.	
T*bac*.	δ_2	11	33	15	67
H*aa*.	α_6	18	18	13	72
H*abba*. . . .	α_4	28	09	25	78
D*ca*.	β_2	33	29	16	76
I*a*.	γ_6	37	45	40	62
H*a*TT*a*. . . .	α	40	53	36	26
I*a*T.	γ_1	46	56	57	36
H*baab*. . . .	α_3	54	29	11	89
I*bba*.	γ	60	00	00	00
H*aa*.	α_5	66	11	59	32
IT*a*.	γ_2	70	21	44	93
T*abc*.	δ_1	74	45	08	32
D*ac*.	β_3	77	33	49	39
Octaédrique. .	I	90	00	00	00

Tableau E″.

Angles formés aux points T, *a*, *b*, *avec le primitif, par les auxiliaires ambigus passant par ces points.*

EN UN POINT T.				EN UN POINT *b*.			EN UN POINT *a*.		
Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle.		Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle.	Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle.
		degr. min. sec.				degr. min. sec.			degr. min. sec.
Ta.	ε_8	6 20 59	82	*Tb*.	ε_3	7 53 59	15	*Ta*.	ε_5 14 58 55
TT.	ε	8 29 30	04			76 03 15	89	*Ta*.	ε_6 21 10 16
TT.	ε_1	12 46 38	64		ε_2			*Ta*.	ε_7 23 24 47
Tb.	ε_3	36 44 30	46					*Ta*.	ε_8 35 00 58
TT.	ε	38 43 13	84					*Ta*.	ε_4 62 41 57
Ta.	ε_7	46 30 30	52						
Tca.	ε_6	62 12 31	30						
Ta.	ε_5	63 23 57	82						
TT.	ε_1	69 31 53	75						
Ta.	ε_4	76 44 14	33						
Tb.	ε_9	85 43 30	59						

Les tableaux D et D′ donnent la valeur des segments des cercles des trois premières catégories. Ils sont beaucoup plus importants que les précédents, car ils servent à calculer les tableaux E, E′ et E″, qui sont ceux dont on peut se servir dans l'application.

Si nous considérons en effet un point T, par exemple, c'est le pôle d'un dodécaédrique rhomboïdal. Ce dodécaédrique contient un certain nombre de pôles, H, I, D, T, *a*, *b*, dont les distances réciproques sont données par les tableaux D et D′, soit directement, soit par de simples additions ou soustractions. Il suit de là qu'au point T considéré, il passera exactement autant de cercles du réseau, d'espèces correspondantes à ces pôles, et qu'ils feront entre eux des angles égaux aux distances de leurs pôles sur le dodécaédrique rhomboïdal.

Si donc nous prenons un point H pour point de départ, nous dresserons à l'aide du tableau D la première colonne du tableau E′, et celle du tableau E″, et nous saurons ainsi quels sont les cercles du réseau qui passent en chaque point T, et quels angles ils y font avec le primitif. Il va sans dire que chaque primitif étant un axe de symétrie, si un cercle fait avec lui un angle d'un côté, il y a un cercle pareil faisant un angle égal de l'autre.

Nous dresserons de même les autres colonnes des tableaux E, E′ et E″, et comme d'ailleurs les coordonnées géographiques de tous les points H, D, I, T, *a*, *b*, sont connues, ainsi que l'orientation du primitif en ces points, il s'ensuit qu'à l'aide des tableaux E, E′, E″, on peut connaître pour n'importe quel cercle, et obtenir très-vite par une addition et un coup-d'œil sur les tableaux de valeurs géographiques publiés :

1° Les coordonnées d'un des points du cercle ;

2° L'orientation du cercle en ce point ;

données suffisantes pour avoir sans peine tout le parcours du cercle en construisant son appareil orthogonal.

Tableau E″.

Angles formés aux points T, *a*, *b*, *avec le primitif, par les auxiliaires ambigus passant par ces points.*

EN UN POINT T.			EN UN POINT *b*.			EN UN POINT *a*.		
Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle.	Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle.	Espèces des cercles.	Pôles.	Valeur de l'angle.
		degr. min. sec.			degr. min. sec.			degr. min. sec.
Ta.	ε_8	6 20 82	*Tb*.	ε_3	7 53 59 15	*Ta*.	ε_5	14 58 55 98
TT.	ε	8 29 36 04			76 03 35 89	*Tα*.	ε_6	21 10 16 67
TT.	ε_1	12 46 38 64		ε_2		*Ta*.	ε_7	23 24 47 59
Tb.	ε_3	36 44 36 46				*Ta*.	ε_8	35 00 58 37
TT.	ε	38 43 13 84				*Ta*.	ε_4	62 41 27 65
Ta.	ε_7	46 30 30 52						
Tα.	ε_6	62 12 31 30						
Ta.	ε_5	63 23 57 82						
TT.	ε_1	69 31 53 75						
Ta.	ε_4	76 44 14 33						
Tb.	ε_9	85 43 50 59						

Les tableaux D et D′ donnent la valeur des segments des cercles des trois premières catégories. Ils sont beaucoup plus importants que les précédents, car ils servent à calculer les tableaux E, E′ et E″, qui sont ceux dont on peut se servir dans l'application.

Si nous considérons en effet un point T, par exemple, c'est le pôle d'un dodécaédrique rhomboïdal. Ce dodécaédrique contient un certain nombre de pôles, H, I, D, T, *a*, *b*, dont les distances réciproques sont données par les tableaux D et D′, soit directement, soit par de simples additions ou soustractions. Il suit de là qu'au point T considéré, il passera exactement autant de cercles du réseau, d'espèces correspondantes à ces pôles, et qu'ils feront entre eux des angles égaux aux distances de leurs pôles sur le dodécaédrique rhomboïdal.

Si donc nous prenons un point H pour point de départ, nous dresserons à l'aide du tableau D la première colonne du tableau E′, et celle du tableau E″. et nous saurons ainsi quels sont les cercles du réseau qui passent en chaque point T, et quels angles ils y font avec le primitif. Il va sans dire que chaque primitif étant un axe de symétrie, si un cercle fait avec lui un angle d'un côté, il y a un cercle pareil faisant un angle égal de l'autre.

Nous dresserons de même les autres colonnes des tableaux E, E′ et E″, et comme d'ailleurs les coordonnées géographiques de tous les points H, D, I, T, *a*, *b*, sont connues, ainsi que l'orientation du primitif en ces points, il s'ensuit qu'à l'aide des tableaux E, E′, E″, on peut connaître pour n'importe quel cercle, et obtenir très-vite par une addition et un coup-d'œil sur les tableaux de valeurs géographiques publiés :

1° Les coordonnées d'un des points du cercle ;

2° L'orientation du cercle en ce point ;

données suffisantes pour avoir sans peine tout le parcours du cercle en construisant son appareil orthogonal.

On peut remarquer en passant que l'appareil orthogonal d'un cercle n'est autre chose que la longitude et la latitude des pôles du cercle. Chaque fois qu'on en calcule un pour un de nos cercles, on obtient les coordonnées géographiques d'un point α, β, γ, δ ou ε.

Les tableaux E, E′ et E″, peuvent aussi guider dans le choix d'un cercle destiné à représenter un système de montagnes. Si, en effet, on veut représenter une direction observée, on n'a qu'à voir l'angle qu'elle fait avec la direction d'un cercle connu, et chercher, pour les points qui se trouvent sur ce cercle connu, un cercle d'un angle très-voisin de l'angle observé.

En somme, avec les éléments contenus dans les tableaux E, E′ et E″, rien de plus facile que de calculer avec rapidité le parcours sur la terre de l'un quelconque de nos cercles, et par suite de le tracer sur les cartes aux échelles les plus grandes, de façon à étudier avec précision la correspondance du réseau avec les accidents du sol. C'est là précisément le premier but que nous nous proposions dans ce travail.

Les cercles que nous avons examinés dans tout ce qui précède, composeront pour nous le réseau normal. Nous l'arrêtons là, sans introduire une nouvelle série, à cause du trop grand nombre de cercles qu'il faudrait admettre. En composant, en effet, une 5ᵉ catégorie exclusivement avec des cercles passant par des points H, D, I, T, et des points α, β, γ, δ, ε, elle ne contiendrait pas moins de 23,000 cercles, et on ne pourrait guère alors échapper à l'objection fondamentale qu'on peut faire à l'application du réseau pentagonal à la géologie, objection que nous allons discuter maintenant.

Elle se tire du grand nombre de cercles du réseau. On peut se demander, en effet, si ce nombre n'est pas tel que tout système quelconque de directions puisse y trouver un

représentant suffisamment approché; dans le cas où cela serait, on ne voit pas en quoi l'accord de l'observation et de la théorie prouverait l'existence réelle de la symétrie pentagonale, plutôt que celle de tout autre système de grands cercles d'ailleurs arbitraire.

Cette objection serait à notre avis irréfutable, si on devait dans l'emploi du réseau pentagonal se servir indifféremment de tous les cercles, et par exemple employer aussi fréquemment que les autres, les cercles de 5ᵉ catégorie. Alors en effet, étant donné un cercle placé au hasard sur la sphère et pouvant être déplacé d'une petite quantité, comme tout élément fourni par l'observation, on aurait la certitude de le voir coïncider avec un cercle du réseau, à moins d'apporter aux observations une précision presque absolue, et probablement impossible à obtenir.

D'ailleurs un emploi fréquent de cercles de 5ᵉ catégorie serait contraire au principe même du réseau, qui, étant basé sur les applications successives d'une symétrie qui à chaque fois devient plus faible, suppose nécessairement que chaque catégorie de cercles trouvera d'autant plus d'applications qu'elle est moins éloignée de l'origine, et qu'ils seront réalisés par conséquent en raison inverse de la probabilité numérique qu'ils auraient de l'être. Cette considération montre que les cercles de catégories inférieures ne devront se présenter qu'à titre d'exception. A cette condition leur emploi ne fournira aucun argument propre à soutenir l'objection qui nous occupe, si d'ailleurs cette objection n'est pas directement applicable au réseau normal.

Or nous nous proposons de montrer que le réseau de ces cercles, si serré qu'il puisse sembler au premier abord, est pourtant en réalité assez lâche pour donner une valeur positive à l'identification de ses cercles avec les systèmes de directions observés. Pour établir ce point, nous examinerons d'abord quelle est la probabilité, pour un système observé avec une approximation donnée, de coïncider avec

un cercle du réseau moyennant des déplacements contenus dans les limites de l'approximation obtenue.

Mais il y a auparavant une question préjudicielle à examiner, c'est celle de savoir si le mode de calcul des directions transportées d'un point à un autre, n'introduit point des erreurs systématiques comparables aux erreurs d'observations, et si, par suite, on peut ou non compter sur une approximation donnée définie par les observations. Cela revient à définir ce que l'on doit entendre par le transport d'une direction d'un point à un autre, et par le parallélisme géologique de deux arcs.

Dans un district peu étendu, quelque mode de projection que l'on emploie pour le représenter, la carte est presque exactement un plan. Alors l'idée de parallélisme est nette, c'est l'idée de la géométrie plane. Mais quand les points où l'on a mesuré les diverses directions qu'il s'agit de réunir en système, sont séparés par des arcs un peu considérables de la circonférence terrestre, l'idée devient vague, et la préciser c'est justement faire une hypothèse sur la manière dont les systèmes de montagnes se sont produits.

Si, par exemple, nous supposons qu'un système de montagnes est dû à un effort longitudinal suivant un grand cercle, effort accompagné d'un certain nombre d'autres s'exerçant de part et d'autre de l'effort principal et dans des plans parallèles au premier, nous admettrons par cela même que le système se compose d'une ride plus ou moins continue placée sur un grand cercle, et d'autres rides accessoires placées à quelque distance de celle-là sur des petits cercles parallèles. Dans cette hypothèse, pour transporter une direction d'un point A situé sur le grand cercle à un point B, il faudra de B abaisser un grand cercle perpendiculaire sur la direction de A, et élever en B un arc perpendiculaire à ce grand cercle.

Mais l'hypothèse qui se traduit par ce mode de calcul

n'est point la plus rationnelle que l'on puisse faire sur la formation des dislocations. Dans l'ouvrage déjà cité, page 1239 et suivantes, M. Élie de Beaumont en expose une autre qui présente le plus grand caractère de vraisemblance. Dans cette théorie un système de dislocation est constitué par l'écrasement d'un fuseau de la sphère; il s'en suit, ce nous semble, que le système doit se traduire à la surface par des accidents, dirigés suivant les grands cercles qui peuvent être censés composer ce fuseau; les accidents seront donc analogues à des méridiens et non à des parallèles comme dans le cas précédent. Ils seront donc tous perpendiculaires à un grand cercle, l'équateur du fuseau écrasé. Et si l'on connaît cet équateur, pour transporter en un point une direction, il suffira de mener par ce point un grand cercle, perpendiculaire à l'équateur correspondant.

Or, il n'est pas indifférent pour le résultat de transporter d'une manière ou d'une autre; et nous allons montrer que, sans sortir des conditions des observations effectives, les différences données par les deux méthodes peuvent s'élever à 2 ou 3°.

Soit *cc* un grand cercle de comparaison Pl. VI, *fig.* 9, A le point où on veut en transporter la direction : menons AB perpendiculaire sur *cc*, si nous prenons $Bb = 90°$, *b*A sera la direction transportée dans le premier système. Si maintenant, dans le deuxième système, nous supposons un équateur ayant son pied en D, en prenant $Dd = 90°$, *d*A sera la direction transportée dans cette hypothèse, et l'angle *b*AB étant droit, pour avoir la différence des deux directions, il suffira de connaître l'angle *d*AB, dont le complément sera la différence cherchée. Pour cela, prenons $AB = \alpha$, $BD = \beta$ et $dAB = x$, le triangle AB*d* étant rectangle en B, nous aurons $\cotg x = \sin \alpha \tang \beta$. Si, dans cette formule, nous faisons $\alpha = 8°$ et $\beta = 20°$, nous aurons $x = 87°6'$; la différence des deux modes de transport s'élèvera donc à environ 3 degrés, et ces suppositions n'ont rien de bien extrême.

On peut remarquer que si dans la formule on connaît x et α, β s'en déduit; elle peut donc servir à chercher des équateurs.

Il ne faut pas croire néanmoins que les différences tenant aux transports influent nécessairement sur la valeur de la direction du cercle de comparaison. Si, en effet, les points d'observation sont disposés deux à deux, à peu près symétriquement par rapport à la direction centrale, en prenant un point de réduction sur cette direction, les erreurs de transport sont égales deux à deux au signe près. Elles doivent donc se détruire dans la moyenne. Seulement quand on voudra contrôler cette moyenne en la reportant aux points d'observation, ces erreurs reparaîtront certainement, à moins qu'elles ne soient inférieures aux erreurs d'observation, auquel cas celles-ci pourraient les masquer quelquefois; mais même alors elles peuvent aussi s'ajouter.

Il suit de ce qui précède que l'examen du mode d'agencement des systèmes entre eux ne saurait se séparer de celui d'une hypothèse sur la nature même des systèmes, quand on veut pousser le contrôle jusqu'à la comparaison en chaque point de la direction théorique et de la direction observée. Mais alors il n'y a pas à se préoccuper des erreurs possibles dues au calcul. Il faudra seulement se souvenir qu'on examine deux hypothèses à la fois. Si les observations ne s'accordent pas avec la théorie, cela peut tenir à la fausseté soit des deux hypothèses, soit de l'une d'elles seulement; si au contraire il y a accord, la vérité des deux hypothèses sera prouvée simultanément, pourvu que les erreurs d'observation soient inférieures aux erreurs possibles de transport. En tous cas dans les considérations qui vont suivre, nous n'aurons à compter qu'avec les erreurs d'observation, et nous aurons le droit de supposer que le calcul n'en introduira aucune.

Que l'on adopte l'une ou l'autre des hypothèses énoncées ci-dessus, rien de plus facile que de déterminer

le cercle de comparaison d'un système d'observations. Dans le premier cas, il n'y a rien à ajouter aux détails très-étendus contenus dans l'ouvrage de M. Élie de Beaumont. Dans le deuxième, on commencera par déterminer par un procédé quelconque un équateur approximatif, et on s'en servira pour faire les transports. Cela sera suffisant, car de petits déplacements de l'équateur n'influent pas sensiblement sur les résultats; d'ailleurs cet équateur sera d'autant mieux déterminé qu'on aura pris pour le calculer, deux observations plus écartées l'une de l'autre. Dans tous les cas, les transports étant faits en un point central, on en prendra la moyenne; et si ε est l'erreur à craindre sur chaque direction observée, et qu'on ait n observations à combiner, on pourra compter que le cercle de comparaison ne sera affecté que d'une erreur de direction au plus égale à $\frac{\varepsilon}{\sqrt{n}} = p$. Nous supposons bien entendu que l'on connaisse l'erreur pour chaque observation, et qu'une discussion locale minutieuse donne le droit de compter sur l'observation que l'on fait, tant comme ayant la valeur observée, que comme faisant partie du système examiné.

Ainsi la direction du grand cercle de comparaison sera connue avec une approximation exprimée par p. Mais sa position pourra être affectée aussi d'une certaine erreur. En effet, on ne sera généralement pas bien certain de connaître les deux extrémités du système, ce qui produira une incertitude sur son milieu. Il se pourra aussi que par suite de circonstances ignorées de moindre résistance, le vrai cercle de comparaison ne soit pas rigoureusement au milieu de la zone de dislocation. Soit q l'incertitude de position. Sa valeur se tirera de la considération des points mêmes où les observations seront faites, et ne dépendra en aucune façon de p.

Cela posé, le cercle tiré des observations sera susceptible 1° d'éprouver un déplacement latéral le long d'un arc q,

normal à la direction trouvée, tout en restant perpendiculaire à cet arc q; 2° dans chacune de ces positions, d'éprouver une déviation quelconque au plus égale à p. Pour que le système observé puisse être représenté par le réseau pentagonal, il faudra que dans une des positions ainsi définies, le cercle calculé d'après les observations, coïncide avec un cercle du réseau. Nous allons chercher quel est la probabilité qu'il en soit ainsi pour un cercle où l'approximation des observations est représentée par les nombres p et q, et nous commencerons par chercher quelle est la probabilité pour qu'un tel cercle coïncide avec un cercle quelconque déterminé du réseau.

Soit donc (Pl. VI, *fig.* 10) AB le cercle de comparaison obtenu par la combinaison des observations en un point central A, soit DD un grand cercle perpendiculaire mené par A. Sur DD, prenons un arc $mn = q$. Ce sera l'arc suivant lequel le grand cercle AB peut voyager sans sortir des limites des observations.

Prenons $mm_1 = nn_1 = 90°$, quand AC voyagera de m en n, normalement à DD, son pôle voyagera de m en n, si on prend $AA_1 = 90°$, A_1 sera le pôle de la position AB figurée.

Ce voyage ne comprend qu'une partie du déplacement que peut subir AB sans sortir des limites des observations. Dans une quelconque des positions, celle qui est figurée par exemple, AB peut tourner autour du point A, d'un angle au plus égal à p, de part et d'autre de la position normale, de façon à aller en Ab_1 ou en Ab'. Dans ce mouvement, il est clair que le pôle de AB décrira un arc de cercle $b_1 b_1'$, perpendiculaire à DD en A, et tel que $A_1 b_1 = A_1 b_1' = p$. Il en sera de même pour tout autre position de AB, et en opérant ainsi de m en n, on aura fait prendre à AB une seule fois toutes les positions compatibles avec les observations. Mais alors le pôle de AB se sera mû sur une surface formée par des arcs de grands cercles perpendiculaires à

DD de m_1 en n_1, et s'écartant de DD de part et d'autre à une distance uniforme pour tous et égale à p.

Or, il est évident que cette surface n'est autre chose qu'un fragment de zone sphérique dont la hauteur est 2 sin p, car toutes les extrémités des arcs du grand cercle normaux à DD et égaux à p, se trouvent sur un petit cercle parallèle à DD et distant de sin p de ce grand cercle. La valeur de cette surface est dès lors facile à calculer. Si en effet on désigne le rayon de la sphère par R, la hauteur de la zone sera $2R \sin. p$. et la surface de la zone totale de cette hauteur sera $4\pi R^2 \sin p$; mais nous n'en avons qu'un fragment correspondant à $q°$, la surface de cette fraction sera donc $4\pi R^2 \sin p \frac{q}{360}$, q étant exprimé en degrés.

Or pour que le grand cercle AB coïncide avec un cercle déterminé quelconque du réseau, il faut et il suffit que la surface en question comprenne le pôle de ce cercle. Le problème qui nous occupe est donc ramené au suivant.

Étant donné une surface de forme donnée qu'on jette au hasard sur un hémisphère, déterminer la probabilité qu'elle a d'y rencontrer un point déterminé. Or rien de plus facile à résoudre que ce problème; car il peut se renverser, et la probabilité cherchée est la même que celle qu'aurait un point jeté sur l'hémisphère d'y rencontrer une surface donnée. Cette probabilité est évidemment le rapport de la surface donnée à celle de l'hémisphère. Soit pour notre cas

$$\frac{4\pi R^2 \frac{q}{360} \sin p}{2\pi R^2} = \frac{q}{180} \sin. p;$$

q étant toujours exprimé en degrés.

Toutefois, comme nous sommes actuellement au point fondamental de notre examen, nous ne croyons pas inutile

d'arriver à la formule par une démonstration directe, au cas où le renversement du problème laisserait quelques doutes dans l'esprit du lecteur.

Soit donc S la surface donnée, et O un point quelconque défini dans son intérieur. Toutes les manières dont cette surface pourra tomber sur la sphère, seront obtenues, et obtenues chacune une fois seulement, en prenant le point O partout où il peut tomber, et faisant faire autour de lui un tour entier à la surface qui le contient. Or, dans un pareil tour, les chances de rencontre avec un point donné T seront les mêmes toutes les fois que le point O sera tombé à la même distance de T. Cela résulte évidemment de la symétrie. Mais ces chances varient avec la distance du point O au point T. Nous avons donc affaire à un événement composé, et la probabilité totale sera la somme des produits obtenus en multipliant la probabilité de chute à une distance donnée par la probabilité que cette distance donne à la rencontre.

Cherchons d'abord la probabilité pour que le point O tombe à une distance r du point T, ou plus rigoureusement pour qu'il tombe à une distance comprise entre r et $r + dr$. Si de T, comme pôle avec r et $r + dr$, comme rayon, on décrit deux petits cercles, ils déterminent une petite zone dont tous les points peuvent être considérés comme étant à une distance r de T. Soit z la surface de cette zone, H celle d'un hémisphère; la probabilité que le point tombe dans la zone est $\frac{z}{H}$. — Si maintenant le point O étant placé sur un point de cette zone, nous faisons tourner autour de lui la surface S, quelles seront les chances de rencontrer T. Pour le savoir, décrivons de O comme pôle une zone identique à la zone décrite de T. Elle coupera la surface suivant une étendue que nous appelons s; il est clair que la chance de rencontrer T est le rapport de s à la surface de la zone soit $\frac{s}{z}$; donc le produit de la probabilité de la cause par la probabilité qu'elle donne à l'événement est $\frac{z}{H} \times \frac{s}{z} = \frac{s}{H}$ et la probabilité totale sera $\frac{\Sigma s}{H}$. Mais S n'est autre chose que l'élément commun à la surface donnée et à la zone auxiliaire. Donc Σs n'est autre chose que la surface donnée S. Ainsi la probabilité totale est $\frac{S}{H}$, ce qui est la formule même que nous avons trouvée par la première démonstration.

Ainsi la probabilité qu'a un grand cercle de comparaison de coïncider avec un cercle déterminé du réseau, et exprimée par la formule $\frac{q}{180} \sin p$, p étant l'erreur maximum à craindre sur la direction, et q le déplacement latéral maximum exprimé en degrés. Reste à savoir quelle est la probabilité de coïncidence avec un cercle quelconque.

Soit N le nombre des cercles du réseau. Ce sera aussi le nombre des pôles dans un hémisphère. Si ces points sont tellement distribués que la surface S n'en puisse contenir deux à la fois, il est clair que la probabilité d'en rencontrer un quelconque sera N fois la probabilité d'en rencontrer un déterminé, soit $\frac{Nq}{180} \sin. p$.

Dans le cas contraire, cette expression sera trop forte, car une même chance de rencontre figurera deux fois dans cette valeur, et cela pour chacune des positions de la surface qui contiendra deux points à la fois. Mais en tout cas, cette expression donnera une probabilité maximum. Si donc cette probabilité telle quelle nous fournit des conclusions valables en faveur du système pentagonal, ces conclusions n'en seront que plus rigoureuses.

Dans le tableau F, nous donnons les valeurs de la formule $\frac{Nq}{180} \sin p$ pour diverses valeurs de p et de q, en pre-

nant pour N le nombre des cercles que nous avons défini plus haut, c'est-à-dire 1711. Pour un système bien observé, on ne peut guère admettre que q dépasse 4°, et c'est déjà un intervalle bien large. Quant à la valeur p, en supposant qu'on prenne 9 observations distinctes pour chaque système, elle sera le 1/3 de l'erreur à craindre sur chaque observation isolée.

Tableau F.

Valeurs de la formule $1{,}711\ \frac{q}{180}\ \sin p$.

Valeurs de q.	VALEURS DE p.									
	0° 10′	0° 20′	0° 30′	0° 40′	0° 50′	1°	1° 10′	1° 20′	1° 30′	1° 40′	1° 50′	2°
1	0,0276	0,0552	0,0829	0,1106	0,1382	0,1659	0,1935	0,2212	0,2488	0,2765	0,3041	0,3317
2	0,0553	0,1106	0,1659	0,2212	0,2765	0,3318	0,3871	0,4424	0,4977	0,5529	0,6082	0,6635
3	0,0829	0,1659	0,2488	0,3318	0,4147	0,4977	0,5806	0,6635	0,7465	0,8294	0,9123	0,9952
4	0,1106	0,2212	0,3318	0,4424	0,5530	0,6636	0,7742	0,8845	0,9953			
5	0,1382	0,2765	0,4147	0,5530	0,6912	0,8295	0,9677					
6	0,1659	0,3318	0,4977	0,6636	0,8295	0,9954						
7	0,1935	0,3871	0,5806	0,7742	0,9677							
8	0,2212	0,4424	0,6636	0,8848								
9	0,2488	0,4977	0,7465	0,9954								
10	0,2765	0,5530	0,8295									

Or, pour tout système un peu accusé et de quelque étendue, on peut bien réunir une dizaine d'observations au moins. Quant au degré d'approximation, en thèse générale une direction s'observe évidemment avec d'autant plus de précision qu'elle s'étend sur une plus grande longueur. Si, par exemple, on peut la suivre sur 20 ou 30 kilomètres en ligne droite, comme le cas se présente en plusieurs points de la subdivision de Tlemcen, sa longueur devient pour ainsi dire infiniment grande relativement aux dérangements qu'ont pu occasionner des accidents postérieurs. Dans ce cas, la précision peut atteindre et même dépasser un quart de degré, sans qu'on ait besoin d'avoir recours à un autre instrument de mesure qu'un sextant de poche. Avec des études expressément dirigées dans ce but, et en discutant soigneusement les circonstances locales, il n'y a donc rien d'exagéré à admettre qu'on pourra obtenir les directions isolées à un degré près; alors p sera inférieur à $20'$ et le tableau F montre que, pour une valeur de $p = 20'$ et $q = 4°$, la probabilité d'identification est au-dessous de $1/4$.

Mais, pour apprécier de quel degré de probabilité et par suite de quelle valeur de p et de q, on peut se contenter pour arriver à considérer le système pentagonal comme prouvé par les observations, il faut recourir encore à d'autres considérations.

On a en effet plusieurs systèmes à identifier avec le réseau; la probabilité que cette identification se fasse, dépend de la probabilité isolée de chaque système. Or, pour que l'identification d'un certain nombre de systèmes prouve l'existence d'une loi naturelle, il faut que sa probabilité soit très-faible, ce qui peut arriver même avec des probabilités isolées assez fortes, si d'ailleurs le nombre des systèmes est assez grand.

Supposons, en effet, que nous ayons mesuré toutes les directions des divers systèmes à une même approximation, et que nous prenions pour tous une même valeur de q. Il

en résultera pour chaque système une probabilité A d'identification qui sera la même pour tous. Cette probabilité pourra être trop grande, ainsi que nous l'avons remarqué plus haut, si la surface définie par les valeurs p et q peut comprendre plusieurs pôles du réseau à la fois; mais, comme ces valeurs de p et q sont supposés les mêmes pour tous les systèmes, il s'ensuit que la probabilité vraie A' sera aussi la même pour tous; on a d'ailleurs $A' < A$.

Cela posé, l'identification de k systèmes avec le réseau est entièrement semblable à des épreuves répétées d'un événement à chance constante. A étant la chance de l'événement, k le nombre des épreuves, n le nombre de cas où l'événement se réalise, et par suite $k-n$ le nombre des exceptions, on sait que la probabilité que l'événement arrive au moins n fois est exprimée par la formule :

$$\frac{1\,.\,2\ldots K}{1\,.\,2\ldots n\,.\,1\,.\,2\ldots(K-n)}\,A^n(1-A)^{k-n}+$$

$$+\frac{1\,.\,2\ldots K}{1\,.\,2\ldots(n+1)1\,.\,2\ldots(K-n-1)}\,A^{n+1}(1-A)^{k-n-1}+\ldots+$$

$$+\frac{1\,.\,2\ldots K}{1\,.\,2\ldots(K-1)}\,A^{k-1}(1-A)+A^k.$$

Pour avoir la probabilité rigoureuse, il faudrait dans notre formule mettre la valeur A' de la probabilité vraie, valeur qui nous est inconnue. Mais en mettant à la place la valeur A plus grande que donne le tableau F, nous augmenterons tous les termes de la formule, pourvu que l'on ait $A < \frac{n}{k}$. C'est la condition pour que la fonction $x^n(1-x)^{k-n}$ soit décroissante en même temps que x, car cette condition rend la dérivé positive. Cette condition sera toujours remplie dans ce qui va suivre. Nous serons donc bien sûr que la valeur de la formule correspondante à A, sera supérieure à celle qui correspondrait à A'. Elle sera encore

trop grande pour une autre raison. En effet, elle compte comme chances favorables le cas où un système s'identifierait avec un cercle déjà identifié; or ce serait en réalité pour nous un cas défavorable. De toute manière cette formule est donc un maximum, et si nous tirons des conclusions de la faiblesse de ses valeurs, ces conclusions seront applicables à *fortiori* à la probabilité réelle A' inconnue.

Cela posé, il n'y a plus qu'à tirer de la formule des valeurs numériques; nous allons essayer trois valeurs de A $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, et $\frac{1}{4}$; pour k, nous essayerons deux valeurs; d'abord $k = 22$, qui correspond au cas de 24 systèmes connus (*système des montagnes*, page 1123.) car deux servent à déterminer l'installation du réseau. Ensuite $k = 50$, nombre assez grand, mais que certainement l'observation dépassera; enfin nous donnons à n diverses valeurs; nous obtenons ainsi les résultats suivants :

$K = 22$.

	A = 3/4	A = 1/2	A = 1/4
$K - n = 1$	0,01487	0,000005484	0,000000000005058
$K - n = 2$	0,06065	0,000060558	0,000000000215152
$K - n = 3$	0,162593	0,00042772	0,00000000 5818
$K - n = 4$	0,3234856	0,00217175	0,0000001 12265

$K = 50$.

$K - n = 1$	0,000010005	0,000000000000000455	$\frac{119}{10.^{33}}$
$K - n = 2$	0,000087088	0,000000000000011333	$\frac{8816}{10,^{30}}$
$K - n = 3$	0,00041364	0,000000000001854 16	$\frac{426}{12,^{27}}$
$K - n = 4$	0,0020238	0,000000000223089	$\frac{15152}{10,^{27}}$
$K - n = 5$	0,00696117	0,000000002104925	$\frac{421}{10,^{24}}$
$K - n = 6$	0,01955348	0,000000016 2187	$\frac{9559}{10^{24}}$
$K - n = 7$	0,045 1998	0,000000104 9538	$\frac{1815}{10,^{22}}$
$K - n = 8$	0,09154 12	0,000000058 27775	$\frac{2960}{10,^{21}}$

Il y a plusieurs remarques à faire sur ces résultats. On voit d'abord que l'on peut admettre d'autant plus d'exceptions que la valeur de A est plus faible, ce qui d'ailleurs est évident sans calcul; mais on voit aussi que les probabilités croissent très-rapidement avec le nombre des exceptions. Ceci peut montrer dans quelle mesure il faut admettre des cercles de cinquième catégorie dans le réseau.

La valeur A = $\frac{1}{4}$ donne des probabilités extrêmement faibles. La valeur A = $\frac{3}{4}$ en donne de trop fortes; elles ne fourniraient pas de preuves suffisantes; mais les valeurs A = $\frac{1}{2}$ suffisent à en donner de convenables; en effet pour $k = 50$ et $k - n = 4$, la probabilité est inférieure à $\frac{1}{4.000.000.000}$. Il y a donc plus de 4 milliards à parier contre 1 que l'identification ne se fera pas dans ces conditions. Donc, si elle se fait, il y aura 4 milliards à parier contre 1 que le réseau pentagonal est l'expression d'une loi naturelle. Or, dans la quantité de

cercles employés actuellement, il n'y a que deux exceptions, dont l'une encore est contestable; il est donc probable que quand on aura 50 systèmes, le nombre des exceptions ne dépassera pas 4. Par conséquent, on peut se contenter de $A = \frac{1}{2}$; mais en prenant $q = 4°$ et $p = 0° 40'$, A est inférieur à $\frac{1}{10}$; si on base un système sur 9 observations, il suffira donc que chacune soit prise à 2° près.

Il est donc bien certain que la preuve de l'existence du réseau n'a nul besoin de conditions de précision non praticables. Il suffit d'ajouter aux études stratigraphiques habituelles la recherche du degré d'approximation de la mesure.

Les précédentes considérations de probabilités ne sont pas les seules que l'on puisse appliquer au réseau pentagonal. Si en effet une loi naturelle de symétrie vient renverser les probabilités numériques pour l'identification des systèmes observés avec les cercles du réseau, cette loi de symétrie, qui distingue ces cercles entre tous les cercles possibles tracés sur la surface de la sphère, doit aussi les distinguer entre eux et c'est en nous appuyant sur ce principe que nous avons exclu les cercles de cinquième catégorie du réseau normal. La loi doit donc opérer la réalisation des cercles les plus symétriques de préférence à celles des moins symétriques; et comme les cercles les plus symétriques sont les moins nombreux, c'est-à-dire ceux pour lesquels la probabilité numérique de se réaliser est la moindre, là encore on doit observer des identifications en sens inverse des probabilités numériques.

Nous n'avons pas pu essayer directement jusqu'à quel point les systèmes connus rentraient dans les conditions d'observations définies plus haut, parce que nulle part l'approximation des mesures n'est indiquée; nous ne pouvons donc pas juger de la probabilité d'identification de chaque système avec un cercle du réseau. Mais en supposant cette identification obtenue, rien ne nous empêche d'examiner dans l'ordre d'idées actuelles de quelle manière

ces identifications se répartissent entre les diverses séries de cercles du réseau. Seulement, pour procéder à cet examen d'une manière convenable, il ne semble pas qu'il soit rationnel de comparer les systèmes connus à la totalité du réseau. Il n'y a en effet qu'un coin de la terre étudié au point de vue des systèmes de dislocations d'une manière un peu approfondie. C'est l'Europe centrale et occidentale. Nous allons donc nous borner à considérer le pentagone formé dans l'intérieur du grand pentagone européen par les cinq dodécaédriques rhomboïdaux qui passent aux cinq points T, et comparer avec les cercles du réseau qui y passent les cercles de comparaison qui passent aussi dans le même espace.

Or, nous nous sommes assuré par une épure convenable qu'il passe dans l'espace ainsi enclos : pour les trois premières catégories, vingt cercles, savoir : cinq primitifs, cinq octaédriques, cinq dodécaédriques rhomboïdaux et cinq bissecteurs DII; pour la quatrième série 65 cercles, savoir : 65 de la première section, 75 de la section II, § 1°, 100 de la section II, § 2° et 55 de la section troisième; pour la série ambiguë, 165 cercles, en tout 480 cercles, dont 20 seulement appartiennent aux trois premières séries. D'après les probabilités numériques, la chance qu'un des cercles de comparaison coïncide avec un cercle des trois premières catégories est donc de $\frac{1}{24}$.

Si maintenant nous considérons les 24 systèmes énumérés par M. Élie de Beaumont à la page 1123, de son ouvrage, il faut en éliminer : 1° l'Oural et les Açores, comme ne passant point dans l'espace défini; 2° le Hundsruck et les Alpes occidentales, comme identifiés à des cercles de 5e catégorie; 3° le Ténare et l'axe volcanique comme déterminant l'installation du réseau. Reste 18 systèmes dont 4 appartiennent aux 3 premières séries; suivant les probabilités numériques, il devrait y en avoir au plus un seul.

Ce résultat d'ailleurs peut être l'objet de quelques obser-

vations. Dans les dernières pages du 2e volume de son ouvrage, M. Élie de Beaumont fait observer qu'il y aurait lieu de scinder en deux le système du Pays-Bas, et d'y voir deux systèmes représentés l'un par un cercle Da, l'autre par le primitif *Land's End-Apschenon*. Peut être en est-il de même du système de West Moreland et de Hundsruck. Ce qui nous porte à le penser, c'est la divergence des deux directions voisines et de nature à avoir été observées assez exactement, celles que M. Élie de Beaumont indique sous le nom de Taunus et Bingerloch (chaîne).

Leur différence a à peu près la valeur de l'angle du cercle des Pays-Bas avec le primitif Land's End-Apscheron.

Partant de cette idée, nous avons essayé de représenter diverses directions rapportées par M. Élie de Beaumont, dans l'article consacré à ce système, au moyen du primitif DT''' et du cercle Dc_1. Le tableau ci-dessous donne le résultat de ce petit calcul; les transports ont été opérés au moyen d'un équateur. Les orientations sont toutes rapportées au Nord, et le signe + indique qu'elles sont à l'Est du Nord. Dans la colonne des différences, + indique que pour annuler la différence, il faudrait déplacer l'équateur vers l'Est, — qu'il faudrait le déplacer à l'Ouest.

LOCALITÉS.	ORIENTATION observée.	ORIENTATION calculée.	DIFFÉRENCE	Observations.
	CERCLE DT''' (*a*).			
	degrés. min.	degrés. min.	degrés. min.	
Esthonie	+ 73 00	+ 72 26	— 0 34	
Wisby	+ 67 30	+ 65 30	— 2 00	(*b*)
Churchstretton	+ 48 00	+ 47 55	— 0 05	
Falmouth	+ 45 00	+ 46 19	+ 1 19	(*c*)
Freyberg	+ 62 05	+ 60 26	+ 1 39	(*d*)
Hof	+ 62 00	+ 60 18	— 1 42	
Prague	+ 61 20	+ 61 09	+ 0 11	
Condros	+ 55 00	+ 54 29	— 0 31	
Taunus	+ 56 47	+ 56 30	— 0 17	
Saint-Malo	+ 47 45	+ 48 45	+ 1 00	
Saint-Dié	+ 55 00	+ 55 30	— 0 30	
	CERCLE Dc_1.			(*e*)
Grampians	+ 52 00	+ 51 15	— 0 45	
Keswick	+ 52 30	+ 52 32	+ 0 02	
Bingerloch (chaîne)	+ 62 30	+ 62 47	+ 0 17	
Ajaccio	+ 67 30	+ 65 18	+ 2 12	(*f*)

A la montagne Noire, le cercle DT''' donne + 52° 4′; le cercle DC + 59° 36′; moyenne + 55° 50′. L'observation est + 56°.

(*a*) L'équateur est supposé passer par T'''.
(*b*) L'observation est E.-N.-E.
(*c*) L'observation est N.-E.
(*d*) L'observation est hora 5 1/4.
(*e*) L'équateur est supposé passer par T.
(*f*) L'observation est E.-N.-E.

On peut voir en consultant le tableau que les différences sont assez faibles pour prêter quelque vraisemblance à l'idée qui nous occupe. Toutefois l'étude seule des faits pourrait en établir la vérité avec certitude.

On peut objecter que le cercle de comparaison adopté par M. Élie de Beaumont est bien installé géographiquement. Mais cette raison ne prouve pas à elle seule qu'un cercle donné soit réellement le cercle de comparaison d'un sys-

tème. Si, en effet, le réseau pentagonal est une vérité, les points remarquables géologiquement et géographiquement doivent se trouver fréquemment aux intersections de cercles du réseau. Or, il est facile de voir sur une épure où sont représentés les cercles du réseau normal, qu'une ligne menée pour ainsi dire au hasard par un des points principaux de la figure, passe très-exactement par une foule de ces intersections. Il s'ensuit que des points géologiques peuvent se trouver alignés dans une foule de directions ne correspondant point à des cercles réalisés. Par suite, de tels alignements sont très-propres à prouver la réalité du réseau, mais ne suffisent point à prouver celle d'un cercle.

Si l'étude démontrait qu'il soit réellement nécessaire de partager le système du West-Moreland et du Hundsruck, dans le sens de notre indication, le système des Pays-Bas étant d'ailleurs scindé de la même manière, on aurait pour la coïncidence avec des cercles des trois premières catégories, non plus 4 systèmes sur 18, mais 6 sur 21, presque le tiers, quand la probabilité numérique est seulement 1/24.

Comme contre-épreuve, examinons ce qui advient pour les cercles ambigus. Sur les 480 cercles du réseau qui passent dans l'espace défini plus haut, 165 appartiennent à cette catégorie, soit un peu plus de 1/3. Si les choses se passaient seulement suivant la probabilité numérique, sur les 18 systèmes, il y en aurait 6 appartenant à cette classe. Or, il n'y en a que deux, Vendée et Tatra. Et encore le cercle de Tatra est-il contestable, car aujourd'hui que l'on connaît d'importants accidents de ce système en Algérie, on pourrait, pour avoir le cercle le plus central possible, prendre T''' a'' pour représentant de ce système. Or T''' a'' est un cercle de la quatrième série, première section; il correspond d'ailleurs aux observations absolument de la même manière que l'autre.

En tout cas, les considérations exposées ci-dessus prouvent, ce me semble, incontestablement que le réseau pentagonal, malgré le grand nombre de ses cercles, est susceptible de trouver dans la seule étude des directions des preuves aussi solides que celles de n'importe quelle autre loi naturelle. C'est ce que nous voulions principalement établir le tout sans préjudice des preuves que l'on peut tirer de ce que M. Élie de Beaumont appelle le quinconce pentagonal.

Quant à la vérification effective au moyen des directions, il faudrait reprendre la mesure des directions connues, en déterminant sur place l'approximation sur laquelle on peut compter. Il faudrait en même temps travailler à bien déterminer les limites latérales des systèmes, pour amener la valeur de q à être aussi faible que possible.

NÉCROLOGIE.

M. LORIEUX, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES.

M. Lorieux, inspecteur général des mines en retraite, a succombé le 17 décembre 1866 à la maladie dont il avait ressenti les premières atteintes il y a quatre ans. Après le service funéraire célébré dans l'église Saint-Thomas-d'Aquin, son corps a été transporté à Nantes. Nous donnons ici les paroles d'adieu que M. Combes n'a pu prononcer, et dans lesquelles il rend à la mémoire de son ami et ancien camarade d'école un hommage auquel s'associeront tous les membres du corps des mines et toutes les personnes qui ont eu l'honneur de connaître M. Lorieux.

Messieurs,

Je ne puis quitter la dépouille mortelle de l'homme excellent auquel m'attachaient les liens d'une amitié de cinquante ans, sans lui adresser un dernier adieu. Mais saurai-je, dans le trouble où je suis, trouver des paroles qui apportent quelque consolation à celle qui fut sa compagne dévouée et à ses enfants, qui répondent à vos regrets et à ma propre douleur.

Lorieux, entré à l'École polytechnique à l'âge de dix-huit ans, choisit à sa sortie le service des mines. Après trois autres années d'études, il débuta dans la carrière comme professeur à l'École des mineurs de Saint-Étienne, où il a laissé, comme partout où il a passé, les meilleurs souvenirs. Il fut ensuite envoyé dans les départements de l'ancienne Bretagne, avec résidence à Nantes. On sait combien les fonctions des ingénieurs des mines sont variées et souvent délicates. Chargés de la surveillance des mines et des usines au point de vue de la sûreté des hommes et de la conservation des richesses minérales, ils n'ont à intervenir directement dans la conduite des travaux que dans des cas d'urgence exceptionnellement rares. Leur action ordinaire ne peut se fonder que sur la confiance qu'ils savent inspirer. Nul ne posséda jamais à un degré plus élevé que Lorieux les qualités propres à acquérir ce genre d'influence. Il attirait tout d'abord par son accueil bienveillant, sa franchise, son

désir manifeste d'être utile. Bientôt après, la rectitude de son esprit ouvert et libéral, ses connaissances solides, l'étude consciencieuse qu'il avait faite des questions sur lesquelles il avait des conseils ou un avis à donner, lui gagnaient l'estime et l'affection des personnes appelées à avoir des relations avec lui.

Il occupa successivement le poste d'ingénieur en chef à Valenciennes, à Versailles et à Paris, jusqu'à sa nomination au grade d'inspecteur général. Son autorité était grande dans le conseil des mines, et lorsque l'heure de la retraite vint à sonner pour lui, tous ses collègues se séparèrent de lui avec un regret d'autant plus vif que l'année précédente, dans sa dernière tournée d'inspection, il avait été atteint par la maladie à laquelle il vient de succomber.

Lorieux a été ingénieur éminent, aimé et estimé de ses collègues et de tous ceux qui l'ont connu. Mais c'est dans l'intimité, dans le sein de la famille qu'il fallait le voir et le connaître pour l'aimer et l'apprécier. Quelle chaleur de cœur jusqu'à la fin! quelle absence d'égoïme, de vanité et d'orgueil! quel amour du bien et de l'honnête! Quels trésors de dévouement et de tendresse! quelle constance et quelle sûreté dans son amitié! Cher ami, cher compagnon de voyage, le souvenir de ton admirable bonté ne s'effacera point de mon cœur, et je ne cesserai de te regretter qu'en cessant de vivre.

Lorieux a eu le bonheur de voir ses deux fils entrer avec succès dans la carrière où il les avait précédés et où son souvenir les suivra. Il a eu la joie de les voir mariés ainsi que leur plus jeune sœur et d'embrasser ses petits-enfants, qui ont encore animé de quelque gaieté ses derniers jours. Il a supporté sa longue et dernière maladie avec une patience qui ne s'est jamais démentie, s'occupant moins de lui-même que des siens, et donnant à sa santé beaucoup moins de soins qu'ils ne l'auraient voulu. Il a plu à Dieu de le rappeler à lui plus rapidement que nous ne l'atteudions. Sa mort a été calme et tranquille. Que la ferme espérance de le retrouver un jour affermisse et relève les cœurs brisés par une séparation si cruelle, mais qui n'aura qu'un temps!

RAPPORT

DE

LA COMMISSION CHARGÉE D'EXAMINER UN MÉMOIRE DE M. TRIGER, INGÉNIEUR CIVIL, SUR LES MESURES A PRENDRE POUR PRÉVENIR LES ACCIDENTS AUXQUELS PEUT DONNER LIEU L'APPLICATION DE SON PROCÉDÉ DE FONDATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES.

PAR MM.

COMBES, inspecteur général des mines, *président;*
DE HENNEZEL, inspecteur général des mines;
FÉLINE-ROMANY, inspecteur général des ponts et chaussées, *rapporteur.*

Paris, le 10 avril 1866.

Monsieur le Ministre,

Vous avez renvoyé à notre examen le mémoire ci-joint, dans lequel M. Triger, ingénieur civil, et inventeur du procédé pour l'emploi de l'air comprimé dans le forage des puits de mine, indique les moyens à l'aide desquels il est parvenu, presque au début de son invention, à mettre les ouvriers à l'abri de tout accident; moyens que l'on néglige, suivant lui, d'employer depuis que ce procédé est entré dans la pratique des grands chantiers pour l'exécution des travaux de fondation des ouvrages hydrauliques.

M. Triger expose dans son mémoire qu'il emploie depuis longtemps l'air comprimé dans des conditions infiniment plus défavorables que celles que nécessite l'établissement des piles et culées des ponts, pour la fondation desquelles on n'est généralement pas descendu jusqu'à présent à plus de 20 ou 25 mètres au-dessous du fond des rivières, et il

ajoute qu'il ne lui est jamais arrivé aucun des accidents que l'on a eu à déplorer sur quelques chantiers, et qui ont fait considérer par diverses personnes, et surtout par des magistrats, son procédé comme dangereux pour la vie des ouvriers.

Pour mieux faire comprendre les explications contenues dans le mémoire de M. Triger, et les mesures de précaution qu'il indique, nous allons rappeler sommairement en quoi consiste l'ingénieux procédé de cet inventeur.

Il existe dans la vallée de la Loire un terrain houiller qui passe sous le lit même du fleuve à une profondeur de 25 à 30 mètres environ, et qui s'étend à une certaine distance sur l'une et l'autre rive.

Ce terrain, qui est exploité sur plusieurs points, et notamment à Chalonnes, où sont situées les mines de M. de Las-Cases, dont M. Triger est l'ingénieur, est recouvert d'une couche d'alluvions composées de sables et de galets sur laquelle coule la Loire.

Les besoins de l'exploitation de ces mines ont fait reconnaître à M. Triger, à une époque qui remonte déjà à plus de *vingt ans*, la nécessité de creuser un puits d'extraction *dans le lit même du fleuve*. Une pareille opération paraissait alors en quelque sorte impossible. Comment creuser un puits de mine jusqu'à la profondeur du terrain solide? comment le prolonger à travers ce terrain jusqu'aux couches de houille? et surtout comment se débarrasser des eaux d'infiltration pendant cette opération?

Chercher à vider ce puits par les procédés ordinaires, à l'aide de pompes d'épuisement, c'était, comme l'a fort bien dit M. Triger, « vouloir épuiser la Loire. » C'est alors qu'il a eu l'heureuse idée d'employer l'air comprimé au nombre d'atmosphères voulu pour faire équilibre à la pression produite par le poids d'eau de la colonne extérieure, de manière à empêcher cette eau de pénétrer dans le puits.

Il n'est peut-être pas inutile de mentionner ici que cette

idée, si simple comme toutes celles qui ont conduit aux grandes inventions, était venue à l'esprit de Denys Papin, le premier qui ait signalé toute la puissance de la vapeur et le moyen qu'on pouvait en tirer pour les machines. Il existe dans la bibliothèque universelle et historique de Leclerc, pour l'année 1691, un mémoire intitulé : « *Manière « de conserver la flamme sous l'eau*, inventée par M. Pa« pin, professeur de mathématiques, à Marbourg. »

Dans ce mémoire, qui n'avait d'abord en vue que de faire brûler une chandelle sous l'eau dans une sorte de lanterne pour pêcher la nuit au flambeau, Papin annonce qu'il a été conduit par ce problème de physique amusante à une modification importante de la cloche à plonger. Il propose d'injecter continuellement de l'air frais dans l'appareil, à l'aide d'un fort soufflet de cuir garni de soupapes, par un tuyau qui passe sous la cloche et va déboucher à sa partie supérieure. Il fait remarquer que par cette disposition la cloche, à quelque profondeur qu'on la descende, pourra toujours être vide d'eau et pleine d'un air constamment renouvelé; « elle sera facile à manœuvrer, dit-il, les « ouvriers pourront y séjourner aussi longtemps qu'ils « voudront, avoir du feu et de la chandelle, » puis il ajoute qu'à l'aide de cette modification, « la cloche demeurant « toujours vide, et la faisant appuyer tout à fait à terre, le « fond de l'eau en cet endroit demeurerait presque à sec et « on pourrait y travailler de même que hors de l'eau, et je « ne doute pas que cela ne pût épargner beaucoup de dé« pense quand *on veut bâtir sous l'eau* (*). »

Ainsi cette idée de *bâtir sous l'eau* en travaillant dans l'air comprimé et incessamment renouvelé, était venue à Papin, comme celle de tirer parti de la vapeur lui était

(*) Extrait d'un mémoire présenté à la Société industrielle d'Angers par M. Trouessart, professeur de physique au collége de cette ville.

aussi venue lorsqu'il eut reconnu sa force expansive à l'aide de sa marmite; mais il y avait encore loin de là à l'invention de M. Triger, qui a rendu pratique la conception de Papin de la manière suivante :

Après avoir enfoncé un cylindre en tôle de $1^{m},33$ de diamètre et d'une vingtaine de mètres de longueur, formé de plusieurs anneaux superposés et rattachés les uns aux autres, M. Triger à surmonté ce cylindre d'un second cylindre de même diamètre, suffisamment haut pour que des hommes puissent s'y tenir debout, et fermé à sa base ainsi qu'à sa partie supérieure. Ce cylindre, auquel il a donné le nom d'*écluse*, de *sas*, ou de *chambre à air*, est muni de soupapes et de robinets disposés de telle sorte que l'air refoulé par une pompe mise en mouvement par une machine à vapeur puisse atteindre tantôt dans le premier cylindre, tantôt dans le second, la tension nécessaire pour faire équilibre à la pression atmosphérique augmentée du poids de la colonne d'eau correspondante à la profondeur à laquelle on se trouve.

Au début de l'opération, lorsqu'il s'agit d'introduire dans l'appareil les ouvriers qui doivent fouiller le sol pour faire pénétrer le cylindre dans le terrain que l'on doit traverser, on manœuvre les robinets de manière que la pression soit la même à l'intérieur de l'écluse qu'au dehors.

Les ouvriers étant entrés dans cette écluse, on refoule l'air dans le premier cylindre pour faire baisser l'eau jusqu'au niveau du sol sur lequel il repose; on équilibre ensuite les pressions des deux cylindres par une manœuvre convenable, la soupape qui ferme le trou d'homme s'abaisse et les ouvriers descendent. On les fait remonter en faisant les mêmes manœuvres en sens inverse.

On voit par cette courte description que les ouvriers travaillent sous une pression qui dépasse d'autant plus la pression atmosphérique que la profondeur du puits est plus grande. C'est là le seul inconvénient que présente

cet ingénieux procédé, mais le danger est-il aussi grand que quelques personnes le prétendent, et n'est-il pas possible et facile d'y remédier?

C'est ce qu'affirme M. Triger dans le mémoire ci-joint.

Il indique d'abord le moyen de prévenir les explosions qui sont toujours la cause des accidents les plus graves.

L'appareil devant en raison de sa forme, de la nature et de l'épaisseur de ses parois, ainsi que du mode d'assemblage des pièces, être capable de résister à une pression très-supérieure à celle sous laquelle il doit fonctionner, il convient de soumettre le sas *monté* à une pression d'épreuve, et de le munir de deux soupapes de sûreté.

Il convient aussi de mettre le piston de la machine à vapeur et celui de la pompe foulante dans un rapport de surface et de vitesse tel que le degré de compression de l'air soit limité par cela même.

Il faut enfin mettre l'appareil en communication avec trois manomètres placés, le premier près de la machine à vapeur, afin que le mécanicien qui la dirige l'ait constamment sous les yeux, le second dans le puits, pour que les ouvriers puissent se rendre compte de la pression à laquelle ils sont soumis, enfin le troisième à l'extérieur de l'écluse, en ayant soin de disposer ce dernier à *air libre* afin qu'il puisse au besoin fonctionner comme *sifflet d'alarme* et avertir le mécanicien dans le cas où, par une circonstance quelconque, le manomètre métallique qu'il a sous les yeux ne lui accuserait pas un excès de pression intérieure.

Après le danger des explosions, celui auquel les ouvriers sont le plus exposés provient d'un *désèclusement* trop brusque.

Toujours pressés de sortir après leur travail terminé, ils abusent généralement du robinet mis à leur disposition pour rentrer à l'air libre, et ne mettent souvent que quelques secondes pour se désécluser, c'est-à-dire pour

rétablir l'équilibre de pression entre l'air de l'intérieur du sas et l'air extérieur.

Voulant obtenir un déséclusement moins brusque que celui auquel il attribuait les accidents qui devenaient plus fréquents à mesure que les travaux devenaient plus profonds, M. Triger a fait remplacer le robinet simple de sortie par un robinet à double boisseau, laissant toujours à l'ouvrier la faculté d'agir à l'intérieur pour sortir, mais réglé à l'extérieur par le surveillant des travaux de manière à à modérer l'échappement de l'air et à empêcher une dilatation trop brusque.

En fixant la durée du déséclusement à trois minutes, M. Triger a déjà constaté une certaine amélioration; en portant cette durée à cinq minutes, le résultat a été encore plus frappant : les douleurs névralgiques des ouvriers ont disparu en grande partie, et elles ont cessé complétement avec une durée de sept minutes. A partir de ce moment, M. Triger affirme qu'aucun ouvrier de ses chantiers ne s'est trouvé malade en sortant de l'air comprimé, quoiqu'il ait été obligé de les faire travailler pendant plusieurs mois de suite sous des pressions d'eau de 25 à 30 mètres.

Cette seconde amélioration obtenue, M. Triger a continué ses observations et ses recherches pour combattre les inconvénients que présente une trop grande compression, et cette fois c'est le hasard qui lui a fait découvrir un fait dont il a tiré un très-heureux parti.

Lors du percement de son premier puits, étant arrivé à une profondeur de plus de 25 mètres et obligé de descendre encore, ce n'était plus qu'avec une extrême inquiétude qu'il soumettait ses ouvriers à une pression de 3 atmosphères 1/2 pour essayer de faire sortir l'eau de son puisard par un tuyau de dégagement, lorsqu'un ouvrier donna par maladresse un coup de pic dans ce tuyau et y fit un trou. Aussitôt l'eau, qui depuis quelque temps ne pouvait plus s'élever assez haut pour dégorger, jaillit avec violence, et cependant le manomètre accusait une pression inférieure de plus d'une atmosphère à celle qui aurait été nécessaire pour faire équilibre au poids de la colonne d'eau extérieure. Ce jet d'eau continuait aussi longtemps que l'orifice inférieur du tuyau plongeait dans l'eau du puisard; il cessait aussitôt que l'eau s'abaissait au-dessous de cet orifice, pour reprendre lorsqu'elle remontait au-dessus, et cette intermittence se reproduisait autant de fois que l'eau descendait dans le puisard au-dessous de l'orifice pour remonter ensuite au-dessus par l'effet des filtrations.

M. Triger parvenait donc ainsi à se débarasser de l'eau en l'élevant *à une hauteur plus grande que celle correspondante à la pression exercée à sa surface.*

Ce fut pour lui, comme il le dit, un véritable trait de lumière, et dès ce moment il résolut de le mettre à profit pour ne plus exposer ses ouvriers qu'à des pressions beaucoup moindres que celles qu'il avait considérées d'abord comme nécessaires.

M. Triger résume ainsi les perfectionnements qu'il a successivement apportés à ses premiers essais :

1° Mettre les ouvriers à l'abri de toute explosion ;

2° Régler l'introduction de l'air dans le sas et sa sortie du sas de manière à faire disparaître complétement les névralgies et tous les autres accidents graves encore si fréquents aujourd'hui sur la plupart des chantiers ;

3° Équilibrer mathématiquement et d'une manière constante la pression de l'air avec la résistance effective à vaincre, et n'exposer ainsi les ouvriers qu'à une pression d'air beaucoup moindre que celle qui semble exigée par le niveau des eaux extérieures ou la profondeur du puits.

M. Triger termine son mémoire en émettant l'avis que, pour remédier d'une manière certaine aux accidents occasionnés par l'emploi des appareils à air comprimé, il lui paraîtrait indispensable de soumettre ces appareils, avant leur mise en activité, non pas à un contrôle *officiel*, mais à

un contrôle *officieux*, destiné à éclairer les entrepreneurs qui les font fonctionner sur la bonne ou mauvaise disposition des organes qui les composent.

Nous allons examiner successivement chacun des moyens indiqués par M. Triger.

Explosions. — Les explosions sont des accidents qui occasionnent presque toujours la mort des ouvriers.

L'essai des appareils à une pression au moins double de la pression maximum à laquelle ils doivent fonctionner est une mesure essentiellement utile, aussi bien que l'établissement de deux soupapes sur l'écluse.

Il en est de même de l'établissement de plusieurs manomètres placés notamment en vue du mécanicien et dans l'intérieur des tubes; mais nous ne pensons pas qu'il convienne de rendre ces mesures obligatoires par un règlement administratif comme celui qui régit les appareils à vapeur, parce qu'alors l'administration assumerait sur elle la responsabilité de l'inefficacité de ces mesures, dans le cas où il arriverait encore des accidents. Il vaut mieux, suivant nous, ne pas déplacer cette responsabilité, et la laisser peser tout entière sur les ingénieurs et sur les entrepreneurs qui sont les plus intéressés à prendre toutes les précautions nécessaires pour sauvegarder la vie des ouvriers qu'ils emploient, et qui ont toute l'instruction nécessaire pour diriger, exécuter et surveiller des travaux de ce genre.

Éclusement et déséclusement trop brusques. — La compression, en élevant la température, détermine une vaporisation d'eau, et la dilatation, en l'abaissant, provoque la condensation partielle de la vapeur qui s'est formée.

Ainsi le déséclusement rend l'air froid, glacial même, et nébuleux par la condensation de l'eau. C'est ce qui explique l'empressement avec lequel les ouvriers font jouer le robinet pour sortir du sas.

L'impression que l'on ressent pendant l'éclusement varie suivant la nature des individus, l'intensité de la pression et la rapidité avec laquelle on manœuvre le robinet, mais le malaise que l'on éprouve dure peu, surtout lorsque l'opération est faite avec la lenteur nécessaire pour que l'air qui remplit les organes puisse se mettre en équilibre avec l'air envahissant, et l'on est généralement assez d'accord sur ce point que les souffrances que l'on éprouve au début ne présentent aucun danger et que le séjour dans l'air comprimé n'a rien de malsain en lui-même.

Mais il n'en est pas de même d'une dilatation trop brusque. Si l'entrée et le séjour dans les tubes sont le plus souvent sans danger, il ne paraît pas en être de même de la sortie; de là ce dicton des ouvriers tubistes : « *On ne paye qu'en sortant.* » Sur ce point cependant, les avis des hommes compétents sont encore partagés, et l'on peut citer des faits qui tendraient à prouver qu'un déséclusement trop lent serait dangereux, et qu'un déséclusement rapide serait sans inconvénient. Aux mines de Douchy, où des travaux ont été faits avec des appareils à air comprimé et où le déséclusement s'opérait d'une manière tellement lente qu'il durait jusqu'à vingt minutes, des accidents graves et nombreux se sont produits. Sur le chantier du pont du Scorff à Lorient, où le déséclusement s'opérait en 30, 20, et même 10 secondes, des milliers d'hommes ont passé par les sas, et deux seulement ont péri; un surveillant d'une constitution délicate et qui était descendu impunément une première fois dans les tubes est mort quelques mois après une seconde descente opérée dans de mauvaises conditions de santé.

L'accident déplorable survenu au mois de décembre 1859 sur le chantier du pont de Bordeaux tendrait également à prouver que la décompression, *même la plus instantanée*, pourrait être sans aucun danger, puisque lors de la rupture par explosion de l'une des colonnes en fonte qui for-

ment les piles, sept des ouvriers qui y travaillaient en ce moment n'ont éprouvé aucun accident.

M. Triger affirme que les accidents disparaissent complétement lorsque le déséclusement dure *sept minutes.*

Nous ne pensons pas qu'il soit possible de poser une règle uniforme et absolue. Il nous semble que ce temps doit varier avec la constitution de l'ouvrier. Il y en a qui ne peuvent pas supporter le froid qui se produit par la dilatation brusque ; pour ceux-là il faut se hâter. Il y en a d'autres, au contraire, sur lesquels l'effet de ce changement subit de température est sans danger, et pour ceux-là il peut y avoir avantage à opérer une décompression lente et graduée.

Le seul point sur lequel les hommes de l'art paraissent être d'accord, c'est que, s'il existe un danger, il est moindre avec un déséclusement lent qu'avec un déséclusement rapide.

Ils recommandent aussi les précautions suivantes :

Se munir de vêtements de laine que l'on quitte pour prendre ceux de travail, et les déposer dans une chambre chaude et voisine des tubes pour se changer en remontant.

Après le travail, rester quelque temps dans les tubes pour se sécher.

Une fois hors des tubes, se renfermer dans une salle bien chaude, se couvrir de vêtements de laine et attendre que l'effet réfrigérant de l'écluse soit effacé.

Il semble résulter de ces prescriptions, qui sont indiquées dans une étude médicale publiée par M. Foley, docteur-médecin attaché à la compagnie des chemins de fer de l'Ouest, que ce n'est pas *dans le sas même*, mais après en être sortis, que les ouvriers doivent prendre leurs vêtements de laine. Nous croyons néanmoins qu'il ne peut y avoir qu'avantage pour eux à se garantir contre les effets du refroidissement auquel ils sont exposés *dans le sas* pendant la durée du déséclusement. Le même auteur, qui était attaché au chantier du pont d'Argenteuil, fait connaître que l'on avait disposé près des tubes un bateau sur lequel était une cabine parfaitement chauffée et que cette installation a donné les meilleurs résultats.

Quelques médecins ont émis l'avis que la durée du déséclusement devait varier avec la profondeur des puits.

M. le docteur Foley, dont nous venons de parler, donne les nombres suivants que l'expérience lui a fournis :

A une profondeur correspondante à 1 demi-atmosphère, le déséclusement ne doit durer que 30 secondes ;

Pour 1 atmosphère, 1 minute ;

Pour 1 atmosphère 1/2, 1 minute 30 secondes ;

Pour 2 atmosphères, 2 minutes ;

Pour 2 atmosphères 1/2, 2 minutes 30 secondes.

Il ajoute que, pour des pressions plus grandes, il ne faudrait probablement pas suivre cette progression, parce que 2 minutes 1/2 sont déjà bien longues dans une écluse glaciale.

Ces nombres sont, comme on le voit, sensiblement inférieurs à celui de 7 minutes recommandé par M. Triger.

On ne saurait donc poser une règle uniforme et il ne semble pas qu'il y ait lieu d'en observer une autre que celle que le bon sens indique, c'est-à-dire de ne pas ouvrir le robinet trop vite, aussi bien pour l'éclusement que pour le déséclusement, afin de donner à l'organisme le temps de se mettre en équilibre avec le milieu dans lequel il se trouve plongé.

Au surplus, quelque regrettables que soient les accidents heureusement assez rares qui sont arrivés sur les chantiers depuis que l'on y fait emploi de l'air comprimé, il est bien avéré aujourd'hui que ce mode de travail appliqué avec intelligence et discernement n'altère pas la santé d'ouvriers d'ailleurs bien portants et d'une bonne constitution, et ne saurait être par conséquent considéré comme *insalubre.*

Pour ne parler que des ponts construits en France, la compagnie des chemins de fer du Midi a fait exécuter les fondations de trois ponts par ce système, celles du pont du Tech sur l'embranchement de Narbonne, celles du pont de Bordeaux et celles du pont construit à Bayonne, sur l'Adour, pour relier les lignes françaises avec les lignes espagnoles. Il y a eu quelques accidents sur chacun de ces chantiers, mais très-peu nombreux, si on les compare au nombre des ouvriers qui ont passé par les écluses, et il n'y a eu de cas de mort que sur les deux derniers chantiers où quatre ouvriers ont péri par suite d'explosions.

La compagnie des chemins de fer de l'Ouest a foncé, de 1861 à 1864, 38 tubes, dont 30 sur la Seine à Argenteuil, à Elbeuf et à Orival, et 8 à Briollay sur le Loir, près d'Angers, et elle n'a eu à constater que des accidents peu graves n'ayant occasionné que des interruptions de travail momentanées.

La compagnie d'Orléans a fait construire sur le Scorff un pont dans les travaux de fondation duquel deux ouvriers sont morts à la suite d'un déséclusement trop rapide, comme nous l'avons dit ci-dessus, et un surveillant est mort aussi au bout de quelques mois.

La même compagnie a fait construire sur le Loiret (un des bras de la Loire), à Chalonnes, un pont où il y a eu une explosion par suite de laquelle deux ouvriers ont été tués; mais un peu plus bas, à Nantes, sur le chantier du pont construit pour livrer passage au chemin de Napoléon-Vendée, on n'a eu aucun accident grave à déplorer, bien que ce pont n'ait pas moins de seize travées, dont neuf sur le bras de la rive droite de la Loire et sept sur la rive gauche.

Indépendamment de ces ponts situés en France, il en a été construit un grand nombre à l'étranger, et notamment en Russie et en Hongrie sur la Theiss, à Szegedin.

Il résulte donc de ce qui précède :

Que les accidents auxquels sont exposés les ouvriers qui travaillent dans l'air comprimé mettent rarement leur vie en danger n'occasionnent que des interruptions de travail assez courtes, et sont surtout peu nombreuses si on les compare au nombre de passages par les sas sur chaque chantier.

Que les maladies occasionnées par ces accidents peuvent être prévenues par l'emploi des moyens indiqués dans le cours de ce rapport.

Quant aux explosions, les circonstances dans lesquelles se sont produites celles dont nous avons eu connaissance nous portent à croire qu'elles peuvent être dues à des imprudences commises dans le cours des travaux autant qu'à l'absence d'appareils de sûreté ou de précautions prises.

Tension de l'air dans l'intérieur des tubes. — Il nous reste à examiner le parti que l'on peut tirer du fait expérimental constaté par M. Triger, d'une tension d'air à l'intérieur des tubes sensiblement inférieure à celle correspondante au poids de la colonne d'eau extérieure.

Pour empêcher complétement les eaux de pénétrer dans un puits creusé à travers un terrain aquifère et perméable, il faudrait y maintenir l'air à une pression qui dépassât celle de l'atmosphère d'une quantité au moins égale à la profondeur des bancs aquifères perméables au-dessous du niveau auquel les eaux arriveraient naturellement dans le puits, si l'accès de l'air extérieur était libre, et qu'on appelle niveau *hydrostatique*. Si l'air n'est comprimé qu'à une pression moindre, l'eau pénètre dans le puits en quantité d'autant plus considérable que la pression s'abaisse davantage, et il faut pour continuer le travail l'épuiser incessamment. A cet effet, M. Triger ménage dans le fond du puits un petit puisard où se réunissent les eaux d'infiltration, et au lieu de les épuiser avec une pompe dont l'installation offrirait quelques difficultés, il les refoule par l'action même de l'air comprimé dans un tuyau de dégagement qui descend dans le tube en traversant au besoin le

sas à air, plonge par le bas dans le puisard et a son orifice de dégorgement, soit à la surface du sol, soit dans une galerie d'écoulement, quand il est possible d'en établir une. Il semble que dans ce système la pression de l'air nécessaire pour opérer le refoulement de l'eau devrait être celle d'une colonne d'eau au moins égale à la hauteur de l'orifice supérieur du tuyau de dégagement au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard, hauteur qui peut être différente de celle du niveau hydrostatique du puits et serait plus grande dans le cas général, de sorte qu'on ne trouverait pas dans ce procédé un moyen de diminuer la pression de l'air. L'artifice indiqué par M. Triger consiste à laisser pénétrer dans le tuyau de dégagement une certaine quantité d'air qui, se mêlant à l'eau et s'écoulant avec elle, diminue la densité du fluide en mouvement et permet ainsi d'opérer l'épuisement au moyen d'air à une pression beaucoup moindre que celle qui eût été autrement nécessaire. A cet effet, il adapte au tuyau de dégagement, à une certaine hauteur au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard, un ajustage de petite section pourvu d'un robinet.

Supposons que, ce robinet étant fermé, la colonne d'eau soit soutenue par la pression de l'air dans le puits à une hauteur de 20 mètres, par exemple, au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard, tandis que l'orifice de dégorgement se trouve à 10 mètres plus haut. Les choses étant en cet état, si l'on ouvre le robinet de l'ajutage, l'air entrera dans le tuyau de dégagement en vertu de l'excès de sa pression sur celle que la colonne d'eau exerce sur la paroi intérieure de ce tuyau au point où l'ajutage est appliqué. Une fois entré, il se dilatera en s'élevant dans l'eau qui remplit la partie du tuyau supérieure à l'ajutage et formera avec elle un mélange mousseux qui s'élèvera jusqu'à l'orifice de dégagement et se déversera par cet édifice. L'air ainsi dépensé étant remplacé à mesure par l'air injecté dans le puits par les pompes, de manière que la pression

soit maintenue constante, on comprend qu'il en résultera un mouvement ascensionnel continu de l'eau du puisard dans le tuyau de dégagement, qui sera rempli d'eau dans la partie inférieure à l'ajutage et d'eau mousseuse dans toute la partie supérieure. Étant données la pression constante de l'air dans le puits, les hauteurs de l'orifice de dégorgement du tuyau ascensionnel et du point d'insertion de l'ajutage au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard, on peut calculer approximativement la dépense d'air comprimé nécessaire pour l'élévation d'un volume d'eau déterminé, sauf à contrôler les résultats du calcul par l'expérience. La section la plus convenable de l'ajutage ou plutôt de l'ouverture du robinet qui donne accès à l'air est d'ailleurs à déterminer expérimentalement.

Les faits observés par M. Triger et le parti qu'il a su en tirer dans sa pratique nous paraissent mériter d'être signalés à l'attention des ingénieurs qui emploient les appareils à air comprimé pour le creusement de puits ou de travaux de fondation dans les terrains aquifères.

Conclusions. — En résumé, monsieur le ministre, le procédé de M. Triger a déjà rendu les plus grands services en permettant par son application aux travaux de fondation à de grandes profondeurs de construire des ponts qu'il aurait été impossible de fonder par les moyens employés jusqu'alors.

Il est appelé à en rendre tous les jours de nouveaux.

Les dangers que son emploi présente peuvent être écartés par un système de précautions que M. Triger indique et que nous avons rappelées dans le cours de ce rapport, savoir :

1° L'essai préalable des appareils sous une pression au moins double de celle sous laquelle ils doivent fonctionner, en ayant soin de faire cet essai sur lesdits appareils *montés*, afin de rendre l'épreuve plus décisive.

2° L'application de soupapes de sûreté et de manomètres, notamment de celui qui doit faire connaître au mécanicien le degré de tension de l'air dans l'intérieur des tubes (*).

3° Les précautions à prendre pour ralentir le passage des ouvriers de l'air libre à l'air comprimé et réciproquement, ainsi que les mesures hygiéniques à prescrire sur les chantiers.

En ce qui concerne le contrôle, même *officieux*, que M. Triger voudrait que l'administration exerçât sur les appareils, nous ne partageons aucunement l'opinion de cet ingénieur; nous croyons que l'intervention de l'administration pourrait engager sa responsabilité, mais nous pensons qu'il pourrait être utile d'appeler l'attention des ingénieurs sur les précautions que l'application du procédé rend nécessaires, et peut-être Votre Excellence jugera-t-elle qu'il y aurait lieu par ce motif d'ordonner la publication du présent rapport, dans les *Annales des mines et des ponts et chaussées.*

Nous sommes avec respect, Monsieur le Ministre, de Votre Excellence, les très-humbles et très-obéissants serviteurs,

C. Combes, E. de Hennezel, Féline Romany.

(*) D'après les renseignements qui nous ont été donnés, il paraît que, dans certaines circonstances, la pression de l'air dans le tube a été portée bien au delà de celle qui aurait suffi pour refouler les eaux dans le terrain perméable ou les évacuer par le tuyau de dégagement, qui n'existait pas, ou dont le jeu était paralysé. La pression déjà trop forte aurait encore reçu des accroissements subits par l'enfoncement brusque du tube dans des bancs argileux mous et peu perméables. Il suffirait, ce semble, pour écarter les chances d'accidents de ce genre, qui peuvent mettre les ouvriers en danger, de limiter la pression de l'air non pas seulement dans le sas, mais dans le tube lui-même au moyen d'une ou de deux soupapes adaptées à des tuyaux communiquant directement avec le tube et convenablement chargées.

DES APPLICATIONS DE LA MÉCANIQUE

A L'HORLOGERIE.

Par M. H. RÉSAL, ingénieur des mines.

L'industrie la plus importante du département du Doubs, après la métallurgie du fer, est incontestablement l'horlogerie. Lors du recensement que l'on a dû faire en 1854 en vue de l'exposition universelle de l'année suivante, on a reconnu que la ville de Besançon comptait 5.000 horlogers; depuis cette époque le nombre de ces ouvriers s'est accru successivement, et il s'élève actuellement à 10.000, soit environ un cinquième du total de la population. On fabrique journellement dans cette ville 1.000 montres dont la plupart sont en or; enfin le droit de poinçonnage de garantie perçu par l'État s'élève annuellement à 500.000 fr.

En 1856, M. le ministre de l'instruction publique, préoccupé de l'importance de l'industrie horlogère à Besançon, m'invita à consacrer quelques-unes de mes leçons de la Faculté des sciences aux applications de la mécanique à l'horlogerie dans le but de donner aux contre-maîtres une instruction analogue à celle que l'on rencontre dans les ateliers de construction; ce cours a été brusquement interrompu deux ans après sa création.

Mes notes, que j'avais mises de côté, seraient probablement pour toujours restées dans l'oubli, si une circonstance particulière n'avait réveillé mes sympathies pour l'horlogerie, que j'avais dû étudier avec soin dans mon rapport à la commission départementale pour l'exposition de 1855. Cette circonstance est la création d'une école municipale d'horlogerie qui, sous l'habile direction de M. Sire, dont le

nom a été prononcé plusieurs fois dans ce recueil, a donné déjà d'excellents résultats.

J'ai donc repris mes anciennes études, que j'ai perfectionnées et complétées, même par l'expérience, lorsque par la complication des formules ou les difficultés d'intégration je n'ai pu arriver à aucun résultat susceptible d'application. C'est le commencement de mes recherches que je me propose d'exposer quant à présent, en y intercalant quelques descriptions sommaires de manière à faciliter la lecture du mémoire.

PRÉLIMINAIRES.

1. *Des chronomètres considérés comme machines.* — On définit généralement sous le nom de *machine* un système de pièces réagissant les unes sur les autres et qui ont pour objet la transformation du mouvement et du travail des forces.

Dans une machine on distingue : 1° la puissance motrice; 2° le régulateur ou le modérateur; 3° la transmission; 4° les résistances passives, inertie, frottements, résistance de l'air, chocs, etc.; 5° enfin la résistance utile, qu'il s'agit de vaincre pour produire le travail utile voulu.

Les chronomètres sont de véritables machines dans le sens que l'on vient de définir, à cela près qu'ils ne comportent pas de résistance extérieure utile à vaincre.

La force motrice résulte de la pesanteur pour les horloges, et de la détente d'un ressort emprisonné dans un barillet pour les pendules et les montres.

Le régulateur est le pendule pour les horloges et les pendules de salon, le balancier avec son spiral pour les montres; il y a de plus (à l'exception des montres à roue de rencontre, dont le système est à peu près abandonné) une pièce d'une nature particulière à laquelle on a donné le nom d'*échappement*.

La transmission proprement dite consiste en un corps de rouages.

2. *Description générale d'un chronomètre.* — Dans les chronomètres, l'arbre correspondant à la force motrice est muni d'une roue dentée qui engrène avec un pignon formant corps avec une roue dite *roue du centre*, et monté à frottement dur sur un arbre qu'il entraîne dans son mouvement de rotation. La roue du centre fait marcher un pignon ayant le même arbre qu'une roue appelée *première moyenne* qui engrène elle-même avec un troisième pignon dont l'arbre entraîne dans sa rotation une autre roue qui a reçu le nom de *seconde moyenne*. Enfin cette dernière roue engrène avec le pignon de la *roue d'échappement*, dont les appendices également espacés, appelés *dents* par analogie, sont successivement retenus ou laissés libres par l'*échappement*; cette dernière pièce, qui est animée d'un mouvement circulaire oscillatoire et périodique, se trouve en relation immédiate avec une autre pièce possédant un mouvement circulaire, oscillatoire et isochrone qui est le *régulateur* ou *balancier*.

L'échappement a pour effet de déterminer dans le corps de rouages un mouvement varié et intermittent tel, que la vitesse angulaire moyenne de la roue du centre reste constante dans les derniers éléments du temps que l'on se propose de mesurer.

La moyenne vitesse angulaire de l'arbre moteur doit être très-faible, afin que l'appareil puisse fonctionner un temps suffisant pour que le *remontage* (opération qui consiste à emmagasiner la force motrice) ne soit pas trop fréquent pour devenir une sujétion. D'autre part, pour que l'on puisse arriver à des intermittences bien régulières, il faut que l'échappement dont nous étudierons ultérieurement les différents systèmes, ait un mouvement suffisamment rapide, ce qui explique la nécessité de multiplier les engrenages ainsi qu'on vient de le dire.

On s'arrange de manière, en réglant convenablement le balancier, que la roue du centre fasse une révolution par

heure et que l'une de ses extrémités puisse recevoir l'aiguille des minutes au delà du cadran ; l'autre extrémité, dans les montres, est terminée par un carré destiné à pouvoir recevoir une clef. Au même arbre, se trouve fixée une autre roue qui engrène avec une roue d'un même nombre de dents dont l'arbre est muni d'un pignon, lequel met en mouvement une troisième roue tournant autour du même axe que la roue du centre et qui a douze fois plus de dents que le pignon. Cette dernière roue fait corps avec un *canon* enveloppant sans frottement l'arbre des minutes et terminé par l'aiguille des heures. Il est aisé de voir que cette combinaison rend de même sens la rotation des deux aiguilles, et que de plus elles marchent sur le cadran dans le rapport voulu. En agissant sur le carré de l'aiguille des minutes, l'arbre tourne dans la roue du centre, qui, sans participer à ce mouvement, continue à se mouvoir sous l'action de la force motrice. On peut ainsi mettre le chronomètre à l'heure sans modifier d'une manière appréciable le mouvement permanent du mécanisme.

Les tourillons des arbres sont maintenus, d'une part dans un disque appelé *platine*, auquel est fixé le cadran, et de l'autre, soit au moyen d'une autre platine (petite platine) comme dans les roues de rencontre, soit comme dans les montres Lépine, par des espèces de consoles appelés *ponts* et fixées à vis sur la platine à l'une de leurs extrémités.

Nous nous bornerons, quant à présent, à ces généralités au point de vue descriptif, sauf à les préciser davantage en étudiant chacun des sytèmes chronométriques que nous avons en vue d'examiner.

DU MOTEUR.

§ 1. *Du poids moteur.*

3. Le moteur des horloges est un poids suspendu à l'extrémité d'une corde enroulée sur un arbre horizontal.

Pour entretenir constamment la marche de l'horloge, il faut remonter le poids lorsqu'il est au point le plus bas de sa course, en faisant subir à l'arbre un mouvement de rotation rétrograde à l'aide d'une manivelle ou d'une clef que l'on adapte sur le prolongement à section carrée de son axe.

Si la première roue dentée était convenablement reliée à l'arbre, toute la transmission et les aiguilles participeraient, lors du remontage, à ce mouvement rétrograde, d'où résulterait la nécessité de régler de nouveau l'horloge après chaque opération semblable, ce qui serait un inconvénient capital dans bien des cas où les moyens de réglage manquent complétement. Pour éviter qu'il en soit ainsi, on rend la roue folle sur l'un des tourillons de l'arbre auquel elle se relie par un encliquetage dont la roue et le doigt sont respectivement adaptés sur la base et la face les plus voisines de l'arbre et de la roue dentée. Le centre de la roue à rochet coïncide avec celui de la base en dessus, et ses dents sont tracées de manière que la solidarité entre l'arbre et la roue dentée ait lieu pour le mouvement de rotation dû au poids, tandis qu'elle cesse d'exister quand on imprime, lors du remontage, un mouvement rétrograde à l'arbre.

Les aiguilles sont ainsi soustraites à ce mouvement rétrograde ; mais comme elles restent stationnaires pendant toute la durée du remontage après lequel elles recommencent seulement à remarcher, les indications de l'horloge peuvent être notablement altérées au bout d'une certaine période ; on obvie à ce nouvel inconvénient en ayant recours à la disposition suivante :

L'arbre est remplacé par une simple poulie A (*fig.* 1) dont la gorge reçoit une corde sans fin qui soutient une poulie mobile B, va passer ensuite dans la gorge d'une autre poulie fixe D parallèle à la première, soutient une seconde poulie mobile C, et enfin repasse sur la poulie A. Les chapes des poulies mobiles reçoivent chacune un poids, dont l'un P, plus fort que l'autre Q, détermine le mouvement de l'appareil en faisant remonter le second poids. Un encliquetage dont la roue est solidaire avec la seconde poulie fixe D, s'oppose à ce que cette dernière participe au mouvement ci-dessus, et comme on s'arrange de manière qu'il n'y ait pas glissement de la corde sur la gorge des poulies, la première A tourne seule en entraînant avec elle la première roue de la transmission qui lui est invariablement fixée. Quand le poids moteur P est au bas de sa course, on le remonte en tirant de haut en bas la portion de la corde qui réunit la poulie à rochet à la poulie mobile C qui correspond au poids Q, et pendant cette opération le poids moteur ne cesse pas d'agir de la même manière qu'auparavant, si toutefois le remontage a lieu d'un mouvement uniforme.

4. Proposons-nous maintenant de déterminer l'accélération angulaire constante φ que prendrait la poulie A si on la rendait indépendante du rouage du chronomètre.

Soient :

T, T_1 les tensions des brins moteur et résistant de la poulie A ;

T', T_1' les tensions des brins d'attache des poulies mobiles B et C qui supportent les poids P et Q ;

ρ_1 ρ', ρ'' les rayons des tourillons de poulies A, B, C ;

I, I', I'' les moments d'inertie de ces poulies ;

R, R', R'' leurs rayons ;

f le coefficient de frottement de chacune des poulies sur son axe ;

$R(1+\alpha+2\beta' T_1)$ la distance de l'axe de la poulie A au brin résultant dont la tension est T_1, α, β étant des constantes relatives à la roideur de la corde, et qui ne dépendent que de sa nature et de son diamètre. On aura des expressions semblables pour les autres poulies.

Le frottement des tourillons de poulies mobiles étant très-sensiblement horizontal, on a

$$(1)\qquad \begin{cases} T'+T=P, \\ T_1+T_1'=Q ; \end{cases}$$

et le théorème des moments donne

$$TR-T_1'R(1+\alpha+2\beta T_1)-I\varphi-f(T+T_1)=0,$$

$$T'R'-TR'(1+\alpha+2\beta T)-I'\varphi\frac{R}{R'}-fP\rho'=0,$$

$$T_1R''-T_1'R''(1+\alpha+2\beta T_1')-I''\varphi\frac{R}{R''}-fQ\rho''=0.$$

Comme le coefficient β est très-petit, on peut sans erreur sensible remplacer les tensions qui le multiplient par leurs valeurs résultant de l'hypothèse où les résistances passives seraient nulles, en négligeant de plus l'inertie des poulies ; ce qui vient à prendre $T=\frac{P}{2}$, $T_1'=T_1=\frac{Q}{2}$. Les trois équations ci-dessus deviennent par suite

$$(2)\qquad \begin{cases} T-T_1\ (1+\alpha+\beta Q)-\dfrac{I\varphi}{R}-f(T+T_1)\dfrac{\rho}{R}=0 \\ T'-T\ (1+\alpha+\beta P)-\dfrac{I'R}{R'^2}\varphi-fP\dfrac{\rho'}{R'}=0 \\ T_1-T_1'(1+\alpha+\beta P)-\dfrac{I''R}{R''^2}\varphi-fP\dfrac{\rho''}{R''}=0 \end{cases}$$

Ces équations, jointes aux formules (1), permettront de déterminer les tensions et de calculer l'accélération φ. On obtiendra en premier lieu

$$T\left(1-f\frac{\rho}{R}\right)-T_1\left(1+f\frac{\rho}{R}+\alpha+\beta Q\right)=\frac{I\varphi}{R},$$

$$T=\frac{P\left(1-f\frac{\rho'}{R'}\right)-I\frac{R'^2}{R}\varphi}{2+\alpha+\beta P},$$

$$T_1=\frac{Q\left(1+\alpha+\beta P+f\frac{\rho''}{R''}\right)+\frac{I''R}{R''^2}\varphi}{2+\alpha+\beta P}.$$

En négligeant le quarré des termes négatifs aux résistances passives, les deux dernières de ces formules donnent

$$T=\frac{P\left(2-\alpha-\beta P-2f\frac{\rho'}{R'}\right)-\frac{I'R}{R'^2}\left(2-\alpha-\beta P\right)\varphi}{4},$$

$$T=\frac{Q\left(2+\alpha+\beta P+2f\frac{\rho''}{R''}\right)+\frac{I''R}{R''^2}\left(2-\alpha-\beta P\right)\varphi}{4},$$

et en portant ces valeurs dans la première des formules ci-dessus, on trouve

$$(3)\quad \varphi=\frac{P\left[2-\alpha-\beta P-2f\left(\frac{\rho}{R}+\frac{\rho'}{R'}\right)\right]-Q\left[2+3\alpha+\beta(P+2Q)+2f\left(\frac{\rho''}{R''}+\frac{\rho}{R}\right)\right]}{4\frac{I}{R}+\frac{I'R}{R'^2}(2-2f-\alpha-\beta P)+\frac{I''R}{R''^2}\left(2+\alpha+\beta P+2f\frac{\rho}{R}\right)}.$$

On déduira facilement de là l'expression de $I\frac{\varphi}{R}$ que l'on pourra considérer comme étant la véritable force motrice agissant tangentiellement à la poulie A considérée comme libre, force produisant le même effet sur le rouage que le système formé par les poulies B, C, la corde et les poids P et Q dont on pourra dès lors faire abstraction.

Si f_1 est le coefficient de frottement de la corde sur la

poulie A, il faudra, comme on le sait, pour qu'il n'y ait pas glissement sur cette poulie, que

$$\frac{T}{T_1}<e^{2\pi f_1},$$

et l'on aura des conditions semblables pour les poulies B et C.

Avant de terminer, nous ferons remarquer que la formule (3) est encore applicable au cas où la roue dentée de la poulie A engrènerait avec le corps de rouages de l'horloge, en attribuant au moment d'inertie I une certaine valeur que nous déterminerons ultérieurement.

On emploie encore d'autres dispositions pour le remontage, dont la meilleure est empruntée aux montres à fusée dont nous nous occuperons plus loin; c'est pourquoi nous ne nous étendrons pas plus loin sur ce sujet, en renvoyant pour plus de détails aux traités spéciaux d'horlogerie.

§ 2. *Du ressort moteur.*

5. *Du ressort moteur et de ses accessoires.*— Dans les pendules et les chronomètres portatifs, la puissance motrice est créée par la détente d'un ressort, dont les deux extrémités sont fixées respectivement à un noyau cylindrique (la *bonde*) et à la surface intérieure d'une enveloppe également cylindrique (la *virole* du *barillet*) de même axe que le noyau et d'un diamètre triple.

Le ressort, avant d'être placé dans le barillet, affecte une forme spiraloïde dont le rayon vecteur croît très-rapidement, et devient bientôt égal à huit ou dix fois le rayon du barillet.

Deux appendices triangulaires obtusangles, fixés au noyau et à la surface interne de la virole, pénètrent chacun dans une ouverture correspondante ménagée dans le ressort pour en assujettir les extrémités. Ainsi placé, le ressort

forme à partir de la virole, avec laquelle il se trouve en contact, une série de spires jointives terminées intérieurement par une petite portion de lame peu courbée qui les relie au noyau.

Le noyau fait corps avec un arbre qui traverse, à frottement doux, les rondelles qui forment les deux bases de la virole et qui complètent ainsi le barillet. Cet arbre se termine à une de ses extrémités par une partie à section carrée (le *carré*) destinée à recevoir une clef.

Si par un moyen quelconque on rend fixe le barillet et que l'on imprime à l'arbre, au moyen de la clef, une rotation d'un sens contraire à celui dans lequel les rayons vecteurs vont en croissant, on arrive à enrouler le ressort autour du noyau en spires jointives, reliées au barillet par une petite portion de lame peu courbée.

Supposons maintenant que l'on fixe l'arbre et que l'on rende la liberté au barillet; le ressort se détendra; les spires intérieures se sépareront successivement les unes des autres en s'éloignant de l'axe et mettront en mouvement le barillet et la transmission du chronomètre.

Pour réaliser les conceptions ci-dessus, on monte sur l'arbre, vers celle de ses extrémités qui est opposée au carré du remontage, une roue à rochet dont le cliquet est fixé sur la platine du cadran. Cet encliquetage permet seulement le mouvement de l'arbre dans le sens du remontage et non dans celui de la rotation du barillet.

Lorsque l'on n'emploie pas la fusée, sur laquelle nous reviendrons plus loin, le couvercle du barillet voisin du carré est muni d'une denture qui engrène avec le pignon de la roue du centre.

Il est clair que, par la disposition précédente, la force motrice, lors du remontage, ne cesse pas d'exercer son action sur le corps de rouages du chronomètre dont le fonctionnement n'est pas interrompu.

Les deux extrémités du ressort sont un peu détrempées

sur une certaine longueur pour diminuer les chances de rupture en ces deux points où il fatigue le plus.

Les deux crochets, surtout celui du noyau, déterminent à très-peu près deux encastrements. Toutefois, dans les pièces soignées, on renforce le crochet extérieur par une lame d'acier, appelée *bride* ou *barette*, fixée de part et d'autre aux couvercles du barillet et qui détermine plus complétement l'encastrement de l'extrémité extérieure du ressort.

Lorsque le ressort est complétement détendu, il doit occuper la moitié de l'intervalle libre ou 1/3 du rayon du barillet, et quand il est complétement enroulé, le vide à la circonférence du barillet est 1/6 du rayon.

Il faut autant que possible que le ressort s'enroule et se déroule sans se jeter d'un côté et de l'autre, et que, lorsque la dernière spire est détachée de la virole, il se replie autour du noyau en se serrant en spires non contiguës jusqu'au moment où elles l'enveloppent complétement en se touchant. Pour être certain d'arriver à ce résultat, on donne au ressort, dans les pièces soignées, une épaisseur qui va en diminuant de la circonférence au centre, en faisant en sorte quelle soit un peu plus forte au milieu qu'aux bords.

Nous citerons comme exemple de ressort celui qui correspond au *calibre* le plus usité, celui de *dix-huit lignes* (*), et que l'on définit ainsi par le diamètre de la platine. Le diamètre intérieur du barillet est de 16 millimètres; la longueur du ressort de $0^{m},58$, la largeur de $1^{mm},82$ et son épaisseur de $0^{mm},15$.

Pour la longueur, on peut dire d'une manière générale qu'on la prend à peu près égale à douze fois le diamètre de la platine, soit vingt-quatre fois le diamètre extérieur du barillet.

(*) Suivant les horlogers qui ne sont pas encore arrivés à se servir du système métrique.

6. *Des arrêtages.* — Le nombre des tours du barillet ou de la clef nécessaire pour armer complétement le ressort est compris entre douze et quatorze.

Pour réduire, dans des limites suffisamment restreintes, les variations de la force motrice du commencement à la fin du remontage, afin qu'elles puissent être compensées par l'échappement, comme nous le verrons ultérieurement (condition nécessaire pour obtenir la régularité voulue dans la marche des chronomètres), on n'utilise que 3, 4 et 6 au plus des tours du milieu.

Pour y arriver, on emploie l'une ou l'autre de certaines dispositions appelées *arrêts de remontoirs*, et dont la plus usitée est la *croix de Malte*, ainsi désignée à cause de la forme de la pièce principale de cet organe. Sur l'arbre du barillet, et dans le plan de la face extérieure du couvercle non denté, se trouve fixé un disque *a* (*fig.* 2), muni d'un appendice saillant ou doigt, à la naissance duquel on a pratiqué un évidement. Dans le même plan, tourne autour d'un axe fixé sur le même couvercle, une sorte de croix, généralement à cinq branches, dont quatre sont terminées en creux par des arcs de cercle de même rayon que le disque, et la cinquième par une partie convexe. A chaque tour du barillet, le doigt déplace une des branches creuses et amène la suivante au contact du disque, de manière à la rendre immobile tant que le doigt ne vient pas agir sur elle pour la remplacer par celle qui doit lui succéder. Mais lorsque arrive la cinquième branche, la convexité de son extrémité vient s'arc-bouter avec le disque qui ne peut plus passer, et le mouvement du barillet se trouve forcément arrêté. Le même arc-boutement se produit en sens inverse dans le remontage, lorsque l'on a fait faire à la clef le nombre voulu de tours. On voit de suite que si n est le nombre de ces tours, fixé d'avance, le nombre des branches de la croix de Malte doit être $n + 1$.

Un de nos habiles horlogers, M. Gontard, établi à Montbéliard, en vue de rendre l'arrêtage plus solide, plus facile

à construire et à réparer, substitue au doigt une cheville fixée au noyau du barillet (amené à un diamètre plus faible dans le plan de la croix) de manière à remplacer l'effet du disque.

Il est facile de voir que la longueur du doigt comptée depuis l'axe de l'arbre, le rayon du cercle circonscrit à la croix et la ligne des centres forme un triangle rectangle, dont l'angle compris entre les deux derniers côtés est $\frac{\pi}{n+1}$, ce qui permet de déterminer l'un quelconque des trois côtés connaissant les deux autres, soit par un tracé graphique, soit par une formule trigonométrique. Si, comme cela a souvent lieu, la longueur x du doigt est égale au rayon du cercle circonscrit à la croix, on a pour déterminer x, en appelant d la ligne des centres,

$$x = 2d \sin \frac{\pi}{2(n+1)}.$$

Dans les montres marines où l'on fait faire six tours à la clef, la croix de Malte (*fig.* 3), est formée de cinq branches creuses, dont la distance angulaire du milieu de l'une à celle qui la suit est égale à $\frac{2\pi}{7}$. L'angle au centre non utilisé, $\frac{4\pi}{7}$, correspond à un appendice convexe de forme symétrique à l'extrémité duquel est fixée une vis saillante. Le disque défini plus haut porte, dans un plan supérieur, un appendice dont le milieu correspond à celui du doigt, et qui, agissant sur la vis après les six tours, détermine l'arrêt. Cette disposition a, sur la précédente, l'avantage de produire une butée normale au point de contact des surfaces qui déterminent l'arrêt, d'où résulte une pression passant par l'axe de la croix, ce qui donne une grande invariabilité à l'arrêtage. Mais elle ne peut pas s'employer pour les

montres, en raison du surcroît d'épaisseur qu'on serait obligé de leur donner.

7. *De la fusée.* — Dans les montres sans échappement ou à roue de rencontre, dont la fabrication est maintenant bien restreinte, il est indispensable, pour obtenir une marche régulière, que la force motrice exerce une action bien uniforme sur le corps des rouages.

Pour atteindre ce but, on a imaginé la disposition suivante : sur le barillet, dépourvu de denture et dont l'arbre ne sert plus au remontage, s'enroule une chaîne de Vaucanson en acier, qui passe d'autre part sur des retraites hélicoïdales ménagées dans une pièce appelée *fusée*. La forme générale de la fusée est celle d'une surface de révolution, ne différant d'un cône que parce que les génératrices rectilignes sont remplacées par une courbe un peu convexe vers l'axe.

La fusée, en un point de la base de laquelle est fixée l'autre extrémité de la chaîne, fait corps avec l'arbre qui sert au remontage.

Lorsque le ressort est complétement bandé, la chaîne est enroulée suivant les spires successives de la fusée ; à mesure que le barillet tourne, la chaîne s'enroule sur sa surface en se dégageant successivement des spires, à partir de celle du plus petit rayon.

Le bras de levier de la tension exercée par la chaîne sur la fusée va ainsi en augmentant à mesure que l'intensité de cette force décroît avec celle du ressort. Les spires sont tracées de manière que le moment moteur de la fusée reste constant.

Une roue dentée est établie à frottement doux sur la grande base de la fusée, au moyen d'une virole faisant corps avec cette roue et pénétrant dans une cavité cylindrique centrale pratiquée dans la fusée. Cette roue, qui doit communiquer le mouvement à la roue du centre, porte le cliquet d'un rochet dont la roue est noyée dans la

base de la fusée, et cet organe joue, pour le remontage, le même rôle que son similaire du barillet dans les montres à échappement.

A la fin du remontage, lorsque la chaîne atteint les spires supérieures de la fusée, sa partie rectiligne soulève graduellement un levier appelé *garde-chaîne*, maintenu incliné vers la grande platine par une lame de ressort, jusqu'au moment où l'enroulement étant sur le point d'être complet, le levier arrive au niveau de la petite base de la fusée et vient buter contre un appendice dont elle est munie et qui produit l'arrêt.

L'emploi de la fusée rend superflue l'addition d'un arrêt de remontoire pour limiter le nombre des tours utiles du ressort ; en effet, d'une part le garde-chaîne empêche la fusée de remonter le barillet au delà du point voulu ; de l'autre, la tension du ressort est limitée à son minimum employé, par la chaîne qui reste tendue sur la goupille de la fusée où elle s'accroche.

Les inconvénients attachés à l'emploi de la fusée sont les suivants : 1° Les frottements sont augmentés par l'introduction d'un mobile de plus, ce qui nécessite l'emploi d'un ressort plus fort. 2° Il faut rectifier le tracé des spires chaque fois que l'on change le ressort. 3° La fusée occupe un grand espace que l'on pourrait employer plus utilement. 4° Le mouvement du mécanisme est suspendu pendant le remontage.

8. *Remontoir.* — Quoique les montres marines soient pourvues d'un échappement, on a cru longtemps qu'il était indispensable d'y adapter une fusée pour régulariser l'action de la force motrice, et ce n'est que dans ces dernières années que l'on a reconnu qu'elle pouvait être supprimée sans inconvénient.

Mais en adoptant la fusée, il était nécessaire, en vue de la précision dans les indications que doivent comporter les appareils, de parer au dernier des inconvénients signa-

lés ci-dessus, et l'on y est arrivé au moyen d'une disposition particulière à laquelle on a donné le nom de *remontoir*.

A cet effet, on place entre la roue dentée et la fusée une roue à rochet, dont le cliquet adapté à la grande platine empêche toute participation au mouvement du remontage. La roue à rochet est reliée à la roue dentée par un ressort presque circulaire, correspondant à un angle de 270 degrés environ, dont les extrémités sont fixées respectivement à ces deux pièces. La chaîne, en agissant sur la fusée, a pour effet de bander le ressort; pendant le remontage il réagit sur la roue en se détendant, et il entretient par suite le mouvement de la montre.

9. *Relations entre la longueur du ressort, le diamètre du barillet, le nombre des spires avant et après le remontage et le nombre de tours du remontage.* — Soient :

l la longueur de la lame ;

R_0, R les distances au centre du barillet, des points d'encastrement intérieur et extérieur du ressort ;

N_0, N les nombres entiers ou fractionnaires des spires qu'il forme lorsqu'il est complétement bandé et lorsqu'il est détendu ;

$m = N_0 - N$ le nombre de tours correspondant au remontage complet ;

e l'épaisseur de la lame supposée constante.

Si nous désignons d'une manière générale par r et ω le rayon vecteur et l'angle polaire correspondant, compté à partir du rayon mené à l'encastrement intérieur, nous aurons pour l'équation de la spirale d'Archimède formée par le ressort lorsqu'il est complétement bandé

$$r = \frac{e}{2\pi}\omega + R_0,$$

et en faisant abstraction de la petite lame qui réunit l'ensemble des spires à la virole,

$$l = \int_0^{2\pi N_0} \sqrt{\left(\frac{e}{2\pi}\omega + R_0\right)^2 + \left(\frac{e}{2\pi}\right)^2}\, d\omega.$$

Mais si l'on remarque que R_0 correspond à plusieurs spires supprimées de la spirale, on en conclut qu'il est beaucoup plus grand que $\frac{e}{2\pi}$ que nous pourrons négliger sans grande erreur. Nous aurons ainsi

$$(1) \qquad l = \int_0^{2\pi N_0} \left(\frac{e}{2\pi}\omega + R_0\right) d\omega = \pi N_0 \left(N_0 e + 2R_0\right).$$

En partant de l'équation

$$r = R - \frac{e}{2\pi}\omega,$$

relative aux spires lorsque le ressort est débandé, on trouve de la même manière

$$(2) \qquad l = \pi N (2R - Ne),$$

et comme

$$(3) \qquad m = N_0 - N,$$

on a trois équations qui permettront de déterminer trois des quantités qui y entrent, connaissant les autres.

Des deux premières on tire

$$(4) \qquad (N_0^2 + N^2)e + 2N_0R_0 - 2NR = 0.$$

En réunissant cette formule à la précédente et considérant R_0 comme une donnée, proposons-nous de rendre minimum le rayon R du barillet. Par la différentiation avec l'hypothèse de $\frac{dR}{dN} = 0$, $\frac{dR}{dN_0} = 0$, l'équation (4) donne

$$(5) \qquad (N + N_0)e = R - R_0,$$

ce qui exprime que la somme des *pleins* dans les deux conditions extrêmes de tension du ressort, doit fournir l'équivalent de la zone annulaire totale du barillet, et comme les deux pleins sont égaux, il s'ensuit que chacun d'eux doit être égal au vide correspondant (*).

Des équations (3) et (5) on tire

$$N = \frac{\frac{R-R_0}{e} + m}{2}, \qquad N_0 = \frac{\frac{R-R_0}{e} - m}{2},$$

et en substituant la première de ces valeurs dans la formule (2), on obtiendra une équation de second degré qui fera connaître R, sans qu'il puisse y avoir d'indécision sur le choix de la racine que l'on doit prendre.

§ 3. *Recherches analytiques sur la detente des ressorts moteurs des chronomètres.*

10. L'énergie d'un ressort moteur qui se détend, suit une loi très-compliquée qu'il ne paraît pas possible de représenter par les fonctions simples et transcendantes que nous connaissons. Aussi n'aborderons-nous cette question que pour montrer jusqu'où conduit l'analyse, en nous réservant de faire connaître plus tard des formules empiriques, déduites de l'expérience, pour la portion de la détente que l'on utilise dans la pratique.

Dans ces recherches, nous appliquerons la théorie ordinaire de la résistance des matériaux, en négligeant dans l'équation des moments, comme on le fait d'habitude et sans commettre d'erreur appréciable, la dilatation longitudinale de la fibre moyenne.

(*) Ce théorème a été démontré d'une autre manière par M. Rozé dans la *Revue chronométrique* (1857).

Prenant le centre O du barillet pour origine des coordonnées, nous désignerons par

l la longueur de la lame;

μ son moment d'élasticité supposé constant;

ρ_0, ρ les rayons de courbure en un point m de la fibre moyenne, à l'état naturel de la lame, et à un instant quelconque de la détente;

R_0, R les distances au centre des points d'encastrement intérieur et extérieur;

x, y les coordonnées rectangles du point m, en faisant passer l'axe des y par le point d'encastrement intérieur;

θ l'angle de la tangente correspondante en ce point m avec l'axe Ox;

x', y' les coordonnées de l'extrémité extérieure du ressort ou de son encastrement dans le barillet;

φ la valeur de θ correspondant à ce dernier point;

$\frac{\mu}{U}$ le moment du couple auquel donne lieu l'encastrement extérieur, ou si l'on veut le moment des forces élastiques développées dans cette action par rapport au point correspondant de la fibre moyenne;

μX, μY les composantes, parallèles aux axes Ox, Oy, de l'action du ressort sur le barillet.

11. ***Examen du cas le plus général où les spires ne se touchent pas.*** — Ce cas est le plus intéressant à étudier, car le contraire n'a lieu que pour une très-petite partie de la détente, vers ses deux limites extrêmes, et que l'on n'utilise pas.

Le ressort se trouvant soumis à son extrémité extérieure à des actions égales et contraires à celles qu'il exerce sur le barillet, nous aurons en vertu de la théorie de la résistance des matériaux

$$\mu\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) = -\mu X(x'-x) + \mu Y(y'-y) - \frac{\mu}{U}.$$

Si l'on pose

$$X = a, \quad -Y = b, \quad -Xx' + Yy' - \frac{\mu}{U} = c',$$

a, b, c' étant des constantes relativement à x, y, θ, mais des fonctions de φ qu'il s'agit de trouver, on aura tout simplement

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = ax + by + c'. \tag{1}$$

Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer que $-\mu c'$ représente le moment moteur produit par le ressort sur le barillet, c'est-à-dire l'inconnue principale de la question.

L'équation (1) ne peut s'intégrer que dans les cas où ρ_0 est nul ou constant, c'est-à-dire lorsque la circonférence primitive de la lame est une droite ou un cercle. Mais comme pour les ressorts des montres et des pendules, le rapport $\frac{\rho}{\rho_0}$ est très-petit par rapport à l'unité, nous pourrons le négliger, sauf à montrer plus loin comment il serait possible de tenir compte de sa première puissance.

Intégration dans le cas où $\rho_0 = \infty$. — En désignant par s la longueur d'un arc de la fibre moyenne, comptée à partir du point d'encastrement intérieur, on a

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds}, \quad \frac{dy}{ds} = \cos\theta, \quad \frac{dx}{ds} = \sin\theta,$$

et en différentiant par rapport à s l'équation

$$\frac{1}{\rho} = ax + by + c', \tag{2}$$

à laquelle se réduit la formule (1) dans l'hypothèse actuelle, on trouve

$$\frac{d^2\theta}{ds^2} = a\cos\theta + b\sin\theta, \tag{3}$$

d'où en multipliant par $d\theta$ et intégrant

$$\frac{1}{2}\left(\frac{d\theta}{ds}\right)^2 = a\sin\theta + b\cos\theta + c = \frac{1}{2}\frac{1}{\rho^2}, \tag{4}$$

c étant une nouvelle constante qui se trouve substitué à la constante c', à laquelle elle est liée par une relation qu'il est facile d'obtenir ; il suffit en effet de supposer que $\frac{1}{\rho}$ a la même valeur pour $\theta = 0$ d'après la formule (4) que pour $x = 0$ et $y = R_0$ d'après l'équation (2), ce qui donne

$$(bR_0 + c')^2 = 2(-b + c). \tag{5}$$

De l'équation (4) on tire

$$ds = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{a\sin\theta - b\cos\theta + c}}, \tag{6}$$

d'où

$$\begin{cases} s = \dfrac{1}{\sqrt{2}} \displaystyle\int_0^\theta \frac{d\theta}{\sqrt{a\sin\theta - b\cos\theta + c}}, \\ x = \dfrac{1}{\sqrt{2}} \displaystyle\int_0^\theta ds\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^\theta \frac{\cos\theta\, d\theta}{\sqrt{a\sin\theta - b\cos\theta + c}}, \\ y - R_0 = \dfrac{1}{\sqrt{2}} \displaystyle\int_0^\theta ds\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^\theta \frac{\sin\theta\, d\theta}{\sqrt{a\sin\theta - b\cos\theta + c}}. \end{cases} \tag{7}$$

La première de ces transcendantes se ramène, comme on le sait, en prenant pour variable $\frac{\theta}{2}$ au lieu de θ, à une intégrale elliptique de la première espèce ; on peut de plus remplacer l'une des deux autres par une formule dépendant uniquement des fonctions elliptiques des deux premières espèces. Il suffit pour cela de remarquer que

$$(8)\quad -bx+a(y-R_0)+cs=\frac{1}{\sqrt{2}}\int_0^\theta \frac{d\theta}{\sqrt{a\sin\theta-b\cos\theta+c}},$$

ou

$$(8')\quad -bx+a(y-R_0)=\frac{1}{\sqrt{2}}\left\{\int_0^\theta \sqrt{a\sin\theta-b\cos\theta+c}\,.\,d\theta-\int_0^\theta \frac{d\theta}{\sqrt{a\sin\theta-b\cos\theta+c}}\right\},$$

ce qu'il fallait établir.

Si $\frac{\rho}{\rho_0}$ au lieu d'être nul était cependant assez petit pour que l'on puisse en négliger les puissances supérieures à la première, on pourrait également effectuer l'intégration, en observant que l'on aurait au lieu de la formule (3) une équation de la forme

$$\frac{d^2\theta}{ds^2}-f(s)=a\cos\theta+b\sin\theta,$$

attendu que $\frac{1}{\rho_0}$ peut être considéré comme une fonction connue de s. En remplaçant s dans $f(s)$ par sa valeur (7), multipliant ensuite par $d\theta$, puis intégrant, on obtiendra la longueur de l'arc, par suite x, y sous la forme de transcendantes dépendant de l'angle θ. Mais nous n'insisterons pas sur ce mode d'approximation, qui apporterait dans la question qui nous occupe une grande complication nullement en rapport avec l'avantage que nous en retirerions.

Équations différentielles relatives à la détente.

Si l'on remarque $x'=P\sin\varphi$, $y'=-R\cos\varphi$, les équations (7) donnent

$$(9)\quad \begin{cases} q=\dfrac{1}{\sqrt{2}}\displaystyle\int_0^\varphi \frac{d\theta}{\sqrt{a\sin\theta-b\cos\theta+c}}, \\ R\sin\varphi=\dfrac{1}{\sqrt{2}}\displaystyle\int_0^\varphi \frac{\cos\theta\,d\theta}{\sqrt{a\sin\theta-b\cos\theta+c}}, \\ R\cos\varphi-R_0=\dfrac{1}{\sqrt{2}}\displaystyle\int_0^\varphi \frac{\sin\theta\,d\theta}{\sqrt{a\sin\theta-b\cos\theta+c}}, \end{cases}$$

c'est-à-dire trois équations entre les inconnues a, b, c qui, si l'on pouvait les déterminer, permettraient d'obtenir μX, μY, $\frac{\mu}{U}$ ou $-\mu c'$ et par suite la loi du mouvement du barillet. Mais ces trois équations n'étant pas solubles, nous allons chercher à les remplacer par des équations différentielles entre les inconnus par rapport à φ.

Pour simplifier nous ferons

$$2a=\frac{\alpha}{R^2},\quad 2b=-\frac{\beta}{R^2},\quad 2c=\frac{\gamma}{R^2},\quad \frac{l}{R}=\lambda,\quad \frac{R_0}{R}=r_0,$$

$$P=\sqrt{\alpha\sin\theta+\beta\cos\theta+\gamma}.$$

En substituant α, β, γ aux inconnues a, b, c, nous aurons

$$(10)\quad \begin{cases} \lambda=\displaystyle\int_0^\varphi \frac{d\theta}{P}, \\ \sin\varphi=\displaystyle\int_0^\varphi \frac{\cos\theta\,d\theta}{P}, \\ -\cos\varphi-r_0=\displaystyle\int_0^\varphi \frac{\sin\theta\,d\theta}{P}. \end{cases}$$

Maintenant si nous posons

$$(11)\quad \begin{cases} \Delta=\sqrt{\alpha\sin\varphi+\beta\cos\varphi+\gamma},\ \Delta_0=\sqrt{\beta+\gamma}, \\ A=\dfrac{1}{2}\displaystyle\int_0^\varphi \frac{\sin^2\theta\,d\theta}{P^3} \qquad D=\frac{1}{2}\int_0^\varphi \frac{\sin\theta\,d\theta}{P^3}, \\ B=\dfrac{1}{2}\displaystyle\int_0^\varphi \frac{\sin\theta\cos\theta\,d\theta}{P^3} \qquad E=\frac{1}{2}\int_0^\varphi \frac{\cos\theta\,d\theta}{P^3}, \\ C=\dfrac{1}{2}\displaystyle\int_0^\varphi \frac{\cos^2\theta\,d\theta}{P^3} \qquad E=\frac{1}{2}\int_0^\varphi \frac{d\theta}{P^3}, \end{cases}$$

nous aurons, en différentiant les formules (10) par rapport à φ,

$$(12)\quad \begin{cases} \theta = \dfrac{1}{\Delta} - D\dfrac{d\alpha}{d\varphi} - E\dfrac{d\beta}{d\varphi} - F\dfrac{d\gamma}{d\varphi}, \\ \cos\varphi = \dfrac{\cos\varphi}{\Delta} - B\dfrac{d\alpha}{d\varphi} - C\dfrac{d\beta}{d\varphi} - E\dfrac{d\gamma}{d\varphi}, \\ \sin\varphi = \dfrac{\sin\varphi}{\Delta} - A\dfrac{d\alpha}{d\varphi} - B\dfrac{d\beta}{d\varphi} - D\dfrac{d\gamma}{d\varphi}. \end{cases}$$

On peut éliminer de ces équations les huit transcendantes (11) par suite des relations qui existent entre elles et celles qui entrent dans les formules (9), et c'est ce que nous allons faire voir.

(*a*) Il est d'abord évident qu'on a

$$(13)\qquad A + C = F.$$

$$(14)\qquad D\alpha + E\beta + F\gamma = \frac{\lambda}{2}.$$

(*b*) De ce que

$$d\frac{1}{P} = -\frac{1}{2}\frac{(\alpha\cos\theta - \beta\sin\theta)\,d\theta}{P^3},$$

on a, en intégrant entre les limites o et φ,

$$(15)\qquad -E\alpha + D\beta = \frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\Delta_0}.$$

(*c*) Si l'on remarque que la formule (8) donne

$$\beta\sin\varphi - \alpha(\cos\varphi + r_0) + \gamma\lambda = \int_0^{\varphi}\sqrt{\alpha\sin\theta + \beta\cos\theta + \gamma}\cdot d\theta,$$

on voit de suite que l'on a la relation

$$(16)\qquad A\alpha^2 + C\beta^2 + 2B\alpha\beta\gamma + 2E\beta\gamma + 2D\alpha\gamma + \gamma^2 F = \frac{\beta\sin\varphi - \alpha(\cos\varphi + r_0) + \gamma}{2}.$$

(*d*) On a

$$d\frac{\sin\theta}{P} = \frac{\cos\theta\,d\theta}{P} - \frac{1}{2}\frac{\sin\theta(\alpha\cos\theta - \beta\sin\theta)\,d\theta}{P^3},$$

d'où, en intégrant et ayant égard à la seconde des formules (10),

$$(17)\qquad -B\alpha - A\beta = \sin\varphi\left(1 - \frac{1}{\Delta}\right).$$

(*e*) On a de même

$$d\frac{\cos\theta}{P} = -\frac{\sin\theta\,d\theta}{P} - \frac{1}{2}\cos\theta\left(\frac{\alpha\cos\theta - \beta\sin\theta}{P^3}\right),$$

d'où

$$(18)\qquad C\alpha - B\beta = \cos\varphi + r_0 - \frac{1}{\Delta} + \frac{1}{\Delta_0}.$$

Les six équations (13)...(18) nous permettront de déterminer les valeurs des transcendantes et par suite de les éliminer des formules (12).

On peut obtenir de suite une des équations finales, débarrassées des transcendantes, auxquelles on doit arriver; il suffit pour cela d'ajouter membre à membre la deuxième et la troisième des équations (12) multipliées respectivement par α et β, en ayant égard aux relations (17), (18) et (15), ce qui donne

$$(A)\quad (\alpha\cos\varphi - \beta\sin\varphi)\left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\Delta_0}\right) = -\sin\varphi\left(1 - \frac{1}{\Delta}\right)\frac{d\alpha}{d\varphi} - \left[\left(1 - \frac{1}{\Delta}\right)\cos\varphi + r_0 + \frac{1}{\Delta_0}\right]\frac{d\beta}{d\varphi} + \left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\Delta_0}\right)\frac{d\gamma}{d\varphi}.$$

Il ne paraît pas que l'on puisse obtenir les deux autres équations finales sans être obligé de résoudre le système d'équation (13)...(18) entre les transcendantes, et c'est maintenant ce que nous allons faire.

Si l'on ajoute à l'équation (16) les équations (17) et (18)

multipliées respectivement par $-\beta$ et α, en ayant égard à la relation (13), on trouve

$$(1)\quad F(\alpha^2+\beta^2+\gamma^2)+2D\alpha\beta+2E\beta\gamma=\frac{\beta\sin\varphi-\alpha(\cos\varphi+r_0)+\gamma\lambda}{2}+(\beta\sin\varphi-\alpha\cos\varphi)\left(\frac{1}{\Delta}-1\right)+\alpha\left(\frac{1}{\Delta_0}+r_0\right),$$

et en retranchant de cette dernière l'équation (14) multipliées par 2γ, il vient

$$(20)\quad F=\frac{1}{\alpha^2+\beta^2+\gamma^2}\left[\frac{\beta\sin\varphi-\alpha(\cos\varphi+r_0)}{2}+(\beta\sin\varphi-\alpha\cos\varphi)\left(\frac{1}{\Delta}-1\right)+\alpha\left(\frac{1}{\Delta_0}+r_0\right)\right].$$

Si l'on ajoute les équations (17) et (18) multipliées respectivement par $-\alpha$ et β en ayant égard à la relation (13), on obtient

$$(21)\quad -B(\alpha^2+\beta^2)+\alpha\beta F=(\alpha\sin\varphi-\beta\cos\varphi)\left(\frac{1}{\Delta}-1\right)+\beta\left(\frac{1}{\Delta_0}+r_0\right),$$

équation qui, au moyen de la précédente, fera connaître B.

Les équations (14) et (15) donneront de même D et E, en fonction de F, en se transformant ainsi :

$$(22)\quad D(\alpha^2+\beta^2)+F\gamma\alpha=\frac{\alpha\lambda}{2}+\beta\left(\frac{1}{\Delta}-\frac{1}{\Delta_0}\right),$$

$$(23)\quad E(\alpha^2+\beta^2)+F\gamma\beta=\frac{\beta\lambda}{2}-\alpha\left(\frac{1}{\Delta}-\frac{1}{\Delta_0}\right).$$

En éliminant B entre les équations (17) et (18), on trouve

$$A\beta^2-C\alpha^2=[\beta\sin\varphi-\alpha(\cos\varphi+r_0)]\left[\frac{1}{\Delta}-1-\alpha\left(\frac{1}{\Delta}+r_0\right)\right],$$

et en joignant cette formule à l'équation (13), on en tire

$$(24)\quad A(\alpha^2+\beta^2)=\beta^2F+[\beta\sin\varphi-\alpha(\cos\varphi+r_0)]\left(\frac{1}{\Delta}-1\right)-\alpha\left(\frac{1}{\Delta_0}+r_0\right),$$

$$(25)\quad C(\alpha^2+\beta^2)=\alpha^2F-[\beta\sin\varphi-\alpha(\cos\varphi+r_0)]\left(\frac{1}{\Delta}-1\right),$$

ce qui fera connaître A et C.

Après la substitution des valeurs des transcendantes dans la première, la seconde ou la troisième des équations (12), on obtiendra deux relations qui, jointes à la formule (A), formeront le système d'équations différentielles du problème proposé. Nous ne croyons pas utile de reproduire ces équations, qui sont trop compliquées pour que l'on songe à les intégrer. Il paraît même assez difficile d'en tirer quelques indications sur les relations de grandeur qui doivent exister entre les quantités α, β, γ pour chacune des valeurs de φ.

En admettant que l'interprétation soit possible, il faudrait, pour déterminer les constantes qu'elle introduirait, substituer les intégrales obtenues dans les formules (9), et l'on aurait en vue un autre problème dont la solution paraît présenter des difficultés insurmontables.

Supposons que, au contraire, ces constantes soient connues, ou plutôt que l'on ait pu obtenir les valeurs de α, β, γ correspondant à une valeur déterminée φ' de φ. Les équations (12), dont nous savons maintenant calculer les coefficients, nous permettront d'obtenir successivement les valeurs de ces mêmes quantités α, β, γ pour des valeurs croissantes de φ, en considérant $d\varphi$ comme un accroissement fini de quelques degrés, et $d\alpha$, $d\beta$, $d\gamma$, comme les différences correspondantes des fonctions inconnues. Or l'expérience semble indiquer, ainsi que nous le verrons plus loin, que l'on peut, sans grande erreur, considérer les valeurs de α, β, γ, correspondant au moment où les spires commencent à se détacher, comme étant égales à celles qui

sont relatives au remontage complet pour la valeur correspondante de φ. Nous sommes donc conduit à nous occuper du problème suivant, dont la solution même approximative nous permettra de considérer celui qui est relatif à la détente comme complétement résolu, quoique d'une manière fort peu élégante.

12. ***Du ressort lorsqu'il est enroulé en spires jointives.*** — Lorsque le ressort est complétement tendu ou détendu, il est, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, enroulé en spires jointives sur une grande partie de son étendue. Nous nous proposons maintenant d'examiner ces deux cas particuliers, en rappelant auparavant quelques propriétés de la spirale d'Archimède sur lesquelles nous devons nous appuyer.

Soient :

$r = a\omega$ l'équation d'une spirale d'Archimède;

v l'angle formé par la tangente avec le rayon vecteur;

s la longueur de l'arc comptée à partir de ce point dont le rayon vecteur et l'angle polaire sont respectivement R_0 et ω_0;

ρ le rayon de courbure.

On a

$$\operatorname{tang} v = r\frac{d\omega}{dr} = \omega, \qquad \cos v = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2}}, \qquad \sin v = \frac{\omega}{\sqrt{1+\omega^2}},$$

$$\text{(A)} \quad \begin{cases} ds^2 = a^2(1+\omega^2)d\omega^2, \qquad s = a\int_0^{\omega}\sqrt{1+\omega^2}d\omega \\ \dfrac{1}{\rho} = \dfrac{d\omega + dv}{ds} = \dfrac{2+\omega^2}{a(1+\omega^2)^{\frac{3}{2}}}; \end{cases}$$

Si l'angle ω est au moins égal à 4π, par exemple, on pourra sans grande erreur négliger l'unité devant sa seconde puissance, et l'on aura

$$\cos v = \frac{1}{\omega}, \qquad \sin v = 1, \qquad v = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{\omega}, \qquad ds = a\omega\, d\omega,$$

$$\text{(B)} \quad \begin{cases} s = \dfrac{a}{2}(\omega^2 - \omega_0^2) = \dfrac{r^2 - R_0^2}{2a}, \qquad \omega = \sqrt{\dfrac{2s}{a} + \dfrac{R_0^2}{a^2}} \\ \rho = a\omega = r = \sqrt{2sa + R^2}, \end{cases}$$

Ces formules sont applicables aux spires d'un ressort enroulé sur lui-même, puisque l'espace occupé par la bonde correspond à un nombre de spires qui dépasse ordinairement dix.

Dans la question qui nous occupe, on a, en continuant à désigner par e l'épaisseur relativement très-petite de la lame,

$$a = \frac{e}{2\pi},$$

et d'après ce que nous avons déjà vu plus haut, nous pourrons sans erreur sensible négliger les puissances de

$$\frac{a}{r} = \frac{e}{2\pi r}$$

supérieures à la première.

De cette manière nous pourrons supposer que les plans normaux aux spires jointives passent par le centre du barillet.

Soient μn_ω, μt_ω les tensions élastiques respectivement perpendiculaire à une section normale correspondant à l'angle polaire ω et comprise dans cette section; nous les considérons comme positives ou négatives selon qu'elles seront dirigées ou non dans le sens du rayon pour la première et dans celui de l'accroissement de ω pour la seconde. Désignons de plus par $\mu m_\omega d\omega$ l'action normale exercée par l'élément d'une spire correspondant à l'accroissement $d\omega$ de ω, sur la spire immédiatement inférieure

donnant lieu sur la première spire à une réaction égale et de sens opposé.

Soient maintenant (Pl. IX, *fig.* 4), ab, $a'b'$ les faces qui limitent l'élément ci-dessus, déterminées par les angles ω, $\omega + d\omega$. Ces faces sont respectivement sollicitées par les forces

$$-\mu t_\omega, \quad -\mu n_\omega \quad \text{et} \quad \mu(t_\omega + dt_\omega), \quad \mu(n_\omega + dn_\omega),$$

et par les couples ayant pour moments

$$-\mu\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) \quad \text{et} \quad \mu\left[\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} + d\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right)\right].$$

Les faces aa', bb' supportent d'ailleurs les pressions normales $\mu m_\omega d\omega$, $-\mu m_{\omega+2\pi} d\omega$. Les conditions d'équilibre de l'élément considéré seront donc exprimées par des équations

$$\begin{aligned} &d\left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right) = (n_\omega + dn_\omega) ds, \\ &dt_\omega - n_\omega d\omega = 0, \\ &dn_\omega - t_\omega d\omega + (m_\omega - m_{\omega+2\pi}) = 0, \end{aligned}$$

ou, en ayant égard à la quatrième des formules (B)

$$(1) \quad \begin{cases} \dfrac{d}{d\omega}\left(\dfrac{1}{\rho} - \dfrac{1}{\rho_0}\right) = a\omega n_\omega, \\ \dfrac{dt_\omega}{d\omega} - n_\omega = 0, \\ \dfrac{dn_\omega}{d\omega} - t_\omega + (m_\omega - m_{\omega+2\pi}) = 0. \end{cases}$$

Si, comme nous l'avons fait plus haut, nous négligeons le rapport $\frac{\rho}{\rho_0}$ devant l'unité, nous obtiendrons, en ayant égard aux formules (B) et désignant par C une constante arbitraire,

$$(2) \quad \begin{cases} n_\omega = -\dfrac{1}{a^2\omega^3} = -\dfrac{a}{r^3} = -\dfrac{e}{2\pi r^3} \\ t_\omega = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1}{a^2\omega^2} + C\right) = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1}{r^2} + C\right), \\ m_\omega - m_{\omega+2\pi} = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1}{r^2} + C\right) - \dfrac{3a^2}{r^4}. \end{cases}$$

On voit aussi que la composante élastique normale est de l'épaisseur de la lame et qu'elle est dirigée vers le centre.

La dernière des formules précédentes donne, en négligeant le quarré de $\frac{a}{r}$ comme nous l'avons fait jusqu'ici,

$$(3) \qquad m_\omega - m_{\omega+2\pi} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r^2} + C\right) = t_\omega.$$

En admettant que les spires soient enroulées autour de la bonde, on a, pour l'avant-dernière, $m_{\omega+2\pi} = 0$; et en supposant que r' désigne le rayon vecteur de cette spire (que l'on peut considérer comme constant et sensiblement égal à celui de la spire immédiatement intérieure), et désignant par t', n', m' les valeurs correspondantes de t_ω, n_ω, m_ω, on a

$$m' = t' = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r'^2} + C\right);$$

comme cette valeur doit être positive, il faut qu'il en soit de même de t', ou que la force $\mu t'$ soit une traction, ce que l'on devait prévoir.

Il faut de plus que

$$C \geq -\frac{1}{r'^2};$$

d'où

$$t_\omega \geq \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r'^2}\right),$$

et comme $r \geq r'$, il s'ensuit que la composante élastique

longitudinale sera une traction dans toute la partie de la lame formée de spires jointives.

Soient (Pl. IX, *fig.* 5) :

a l'encastrement de la lame dans la virole du barillet;

b le point où cesse le contact des spires jointives;

ω' la valeur correspondante de ω;

λ la longueur de la lame ab;

ψ l'angle $b\mathrm{O}a$ qui est comme λ une inconnue de la question.

Rapportons la courbe ab à deux axes rectangulaires $\mathrm{O}\eta$, $\mathrm{O}\chi$ dirigés respectivement suivant $a\mathrm{O}$ et la tangente en a à l'encastrement. En admettant que l'on puisse intégrer l'équation différentielle de la courbe ab qui est du second ordre, on introduira deux constantes arbitraires que l'on fera disparaître par les conditions relatives au point a. En exprimant que la courbe passe par le point b et qu'elle est normale en ce point à $\mathrm{O}b$, on établira deux relations entre r' ou ω' et ψ qui permettra de déterminer l'angle que nous avons désigné plus haut par φ, et qui dans le cas actuel est égal à $\omega' + \psi + \frac{\pi}{2}$. Il reste dans la solution du problème l'arbitraire C, comme on devait s'y attendre; car en négligeant, comme nous l'avons fait, l'extensibilité de la fibre moyenne (ce qui ne peut pas avoir d'influence sensible sur les conditions géométriques du problème), on arrive à conclure que, à partir d'une certaine valeur de la tension t', et en la faisant croître jusqu'au moment où l'on atteint la limite de l'élasticité, l'état géométrique des spires jointives ne sera pas modifié; de sorte que, entre certaines limites, C reste indéterminé.

Le dernier état du ressort, qui précède celui où les spires jointives doivent se séparer, a lieu lorsque la dernière spire extérieure cesse de presser la spire sous-jacente et où l'on a par conséquent

$$m' = t' = 0 \quad \text{ou} \quad \mathrm{C} = -\frac{1}{r'^2}.$$

L'action du ressort sur le barillet se réduit alors au moment moteur.

$$\frac{\mu}{r'},$$

et à une force égale parallèle et contraire à n' agissant en a. Pour une plus petite valeur de C, l'hypothèse des spires jointives sera inadmissible; elles se sépareront alors les unes des autres, à moins de défectuosités de la part du ressort.

Si, dans une première approximation, on néglige λ par rapport à l, on aura en vertu des formules (B) et de l'approximation adoptée

$$l = \frac{r'^2 - \mathrm{R}_0^2}{2a} = \pi\left(\frac{r'^2 - \mathrm{R}_0^2}{e}\right);$$

d'où pour le moment moteur

$$\frac{\mu}{\sqrt{\frac{le}{\pi} + \mathrm{R}_0^2}},$$

et

$$\mu n' = -\frac{\mu e}{2\pi\left(\frac{le}{\pi} + \mathrm{R}_0^2\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

La question peut toutefois se résoudre complétement, ou du moins par approximation, en remarquant que, vu la faible courbure de ab, on peut appliquer à cette lame la formule ordinaire de la résistance des matériaux et poser

$$\frac{d^2\eta}{d\chi^2} = n'(\lambda - \chi) + \frac{1}{r'};$$

d'où en ayant égard aux conditions relatives au point a

$$\frac{d\eta}{d\chi} = -n'\left(\lambda - \frac{\chi}{2}\right)\chi + \frac{\chi}{r'},$$

$$\eta = -n'\left(\frac{\lambda}{2} - \frac{\chi}{6}\right)\chi^2 + \frac{\chi^2}{2r'},$$

Pour $\chi = \lambda$ on a, $\frac{d\eta}{d\chi} = \operatorname{tang}\psi$, $\eta = r'\sin\psi$, et il vient, par suite, en ayant égard à la première des formules (1),

$$\operatorname{tang}\psi = \frac{1}{2}\frac{a\lambda^2}{r'^3} + \frac{\lambda}{r'}$$

$$r'\sin\psi = \frac{1}{3}\frac{a\lambda^3}{r'^3} + \frac{\lambda^2}{2r'};$$

de plus on a

$$l = \lambda + \frac{\pi}{2}\left(\frac{r'^2 - R_0^2}{e}\right);$$

d'où trois équations qui permettront de déterminer les inconnues λ, ψ, r'.

Supposons maintenant que l'on veuille calculer la pression m_ω exercée par le ressort sur la bonde. Il suffira de faire la somme Σ des formules (3) pour toutes les sections des spires déterminées par un plan normal défini par l'angle ω, et en remarquant qu'il ne restera des m_ω que la pression cherchée; ce qui donnera

$$m_{\omega=\omega} = \frac{1}{2}\Sigma\left(\frac{1}{r^2} + C\right);$$

mais comme e est très-faible, on peut sans grande erreur prendre

$$m_\omega = \frac{1}{2e}\int_{R_0}^{r'}\left(\frac{1}{r^2} + C\right)dr = \frac{1}{2}(r' - R_0)\left(C - \frac{1}{R_0 r'}\right).$$

Si le ressort est complétement détendu et que les spires soient collées contre le barillet, on a pour la spire intérieure

$m_{\omega=0}$, et pour que $m_{\omega=2\pi}$ soit positif, il faut que

$$t' = \frac{1}{2}\left(C + \frac{1}{r'^2}\right) < 0;$$

d'où

$$t_\omega < \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r'^2} - \frac{1}{r^2}\right),$$

et la force élastique longitudinale sera une compression.

Au point de vue de l'utilité, les résultats du calcul, comme on vient de le voir, sont loin d'être satisfaisants dans la question de la détente des ressorts. Ce qu'il nous reste à faire est d'établir des formules d'interpolation déduites de faits observés, et c'est ce que nous exposerons dans un prochain mémoire.

Bulletin des explosions d'appareils à vapeur arrivées pendant le 1er semestre de 1865.

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.
24 janvier. .	Laverie mécanique pour minerai de fer près Maubeuge. P. La compagnie des forges et hauts fourneaux de Maubeuge (Nord).	Chaudière cylindrique sans bouilleur, alimentant une machine de 6 chevaux. Longueur = 5m; diamètre = 0m,80; — épaisseur = 8mil,4. — Timbre = 5 atmosphères.	Rupture d'une des tôles formant la partie supérieure de la chaudière. — Division de la chaudière en trois fragments. Projection de ces fragments et des débris du fourneau à de grandes distances.	13 ouvriers atteints par les fragments de la chaudière ou du fourneau (3 tués, 10 blessés). — Tous ces ouvriers étaient occupés, extérieurement au local des chaudières, au transport des minerais. — Renversement de la cheminée et d'une partie du bâtiment de la machine.	Mauvaise qualité de la tôle; métal mal soudé. — La feuille qui s'est rompue était divisée sur son épaisseur de manière à former deux lames, dont l'épaisseur, en certains points, descendait à 2 millim., et était ainsi devenue incapable de supporter la pression normale de marche de la chaudière.
12 février. .	Ateliers des hauts fourneaux du Creusot (Saône-et-Loire). P. Compagnie du Creuzot.	Chaudière cylindrique verticale, chauffée par les gaz des hauts fourneaux et alimentant la machine des monte-charges. — Hauteur = 14 mètres; diamètre = 1m,20; timbre = 5 atmosphères. — Le fond supérieur de la chaudière était plat, en fonte, d'une épaisseur de 35 millim., d'un poids de 280 kilogr.	Rupture du fond supérieur sur le pourtour entier du plateau, pendant la mise en pression de la chaudière. — Projection dudit fond à une grande distance.	Pas d'accident de personne ni de dégât matériel sensible.	Altération produite dans la résistance du métal par un froid de 12° qui avait précédé la mise en feu de la chaudière, et grande différence de température qui existait entre les deux faces du fond, au moment de la mise en pression. (Les fonds en fonte des autres chaudières semblables ont été remplacés par des fonds en fer.)
15 février. .	Exploitation agricole à Boves (Somme). P. M. Wauhert de Genlis. C. Chaudière d'occa-	Chaudière cylindrique à 2 bouilleurs, alimentant une machine destinée aux travaux de la ferme. — Longueur = 2m,90; diamètre = 0m,70; timbre =	Rupture du corps de la chaudière, suivant une génératrice, immédiatement au-dessous du niveau des carneaux et au-dessus de la grille. — La tôle en cette région avait été amincie	2 enfants tués; 1 ouvrière blessée. (Les 2 enfants étaient ceux du chauffeur: ils étaient dans le local de la chaudière au moment	Mauvaise conduite de la chaudière. — Le chauffeur calait les soupapes : il allumait et mettait en pression en laissant habituellement le niveau de l'eau au-dessous des carneaux. — La tôle,
	mergue, chaudronnier à Amiens.	seur = 10 millim. — Réprouvé en 1862.	et brûlée par des coups de feu. — Rupture du bouilleur suivant une section transversale. — Projection des différentes parties de la chaudière et du fourneau. — L'épaisseur du métal, dans la partie déchirée, était réduite à 7 millim.	de l'accident. Leur père était sorti. — L'ouvrière travaillait au dehors.)	détériorée par ce fait, n'a pas résisté à la trop grande pression sous laquelle on la faisait travailler.
1er avril. . .	Usine métallurgique d'Aubin (Aveyron). P. Compagnie d'Orléans. C. Construite en Angleterre ; importée en 1847.	Chaudière cylindrique, sans bouilleur, à fonds presque plats, faisant partie d'un groupe de 7 chaudières, dont 5 en travail, alimentant la machine motrice de la soufflerie et chauffées par les gaz perdus des hauts fourneaux. — Longueur = 10 mètres; — diamètre = 1m,70; — timbre = 4 1/2 atmosphères. — Epaisseur de tôle = 12 millim. (Les eaux d'alimentation proviennent ordinairement du ruisseau de Cransac; mais quand ce ruisseau est à sec, elles sont empruntées aux eaux extraites des mines de houille d'Aubin. Celles-ci renferment de l'acide sulfurique en quantité qui peut s'élever jusqu'à 1 gramme par litre.	Rupture de la chaudière en un grand nombre de morceaux, mais notamment suivant un plan diamétral passant à peu près par la ligne de niveau d'eau, zone où l'épaisseur qui, primitivement, était de 12 millim., était descendue, par l'effet de la corrosion des eaux, jusqu'à 1 et 2 millim. — Projection des débris de la chaudière et de la maçonnerie du fourneau à de grandes distances. — Deplacement et aplatissement de la chaudière de gauche qui n'était pas en travail. — Ecrasement, déchirure et explosion d'un bouilleur de la chaudière de droite qui était en pression. — Dégagement d'une immense quantité de vapeur.	4 ouvriers tués, soit brûlés par la vapeur, soit atteints par les projections de la chaudière. — Plusieurs autres blessés, deux assez grièvement. — Tous ces ouvriers étaient occupés, soit à la réparation d'une chaudière dans le même local, soit dans une forge située sur le prolongement de l'axe des chaudières.	Corrosion des tôles, dans la partie correspondante aux oscillations du niveau de l'eau, par suite de l'emploi d'eaux d'alimentation acides non neutralisées.
3 juin. . . .	Mine de houille (Loire), P. Compagnie de Roche-la-Molière. C. Revollier, à Saint-Etienne.	Chaudière cylindrique horizontale à fonds hémisphériques, alimentant la machine d'extraction d'un puits de mine. — Longueur = 12 mètres; — diamètre = 1m,35; — timbre = 5 atmosphères; — épaisseur = 13 à 14 millim. Construite en 1855. — Réparée fréquemment par suite de rupture suivant les lignes de rivets.	Rupture du corps de la chaudière suivant une ligne de rivets verticale, à peu près au droit du coup de feu. — Des fuites s'étaient manifestées depuis plusieurs jours dans la ligne de rivets qui s'est rompue. — Les deux parties de la chaudière ont été projetées au loin.	Un chauffeur et un ouvrier qui passait accidentellement, près de la chaudière, brûlés par la vapeur et morts des suites de leur brûlures. — Plusieurs ouvriers légèrement contusionnés par suite de la projection des briques du fourneau.	Vice de construction. — Défaut de surveillance. — Tôle aigre, formée de mises mal soudées. — Rivets trop rapprochés. — Surfaces de recouvrement trop étroites. — La chaudière n'eût pas dû être laissée en service, à cause des fuites qui s'y étaient manifestées depuis plusieurs jours.

RAPPORT

ET

AVIS DE LA COMMISSION CENTRALE DES MACHINES A VAPEUR

SUR

L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR A METZ (MOSELLE).

Dans sa séance du 12 juillet 1866, à laquelle assistaient MM. Combes, *président;* Mary, Pironneau, Lechatelier, Couche, Callon, Cléry, *secrétaire*, la commission centrale des machines à vapeur, sur l'envoi fait par Son Excellence M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 19 mars 1866, a pris connaissance des pièces concernant une explosion de chaudière dans une fabrique sise à Metz, et elle a entendu la lecture du rapport suivant, rédigé par M. l'ingénieur en chef des mines, rapporteur.

RAPPORT.

Le 6 février dernier, la fabrique de draps et de couvertures de laines du sieur Féry fils, à Metz, a été le théâtre d'une explosion de chaudière assez considérable, qui n'a cependant occasionné ni blessures graves ni dommages matériels en dehors de l'établissement même du sieur Féry.

Les circonstances de cet accident sont parfaitement décrites dans le procès-verbal en date du 13 février de M. l'ingénieur ordinaire Barré, procès-verbal qui a été transmis à M. le procureur impérial à Metz.

La chaudière dont il s'agit était cylindrique, à deux bouilleurs, d'une capacité totale de $2^{m},41$.

Le jour de l'explosion, elle avait été remise en feu après

un chômage de plusieurs semaines et un nettoyage complet. Elle marchait depuis plusieurs heures, lorsqu'on dut arrêter pour recoudre la grande courroie motrice des ateliers.

Le niveau de l'eau était alors au-dessus de sa hauteur normale et le manomètre marquait 5 atmosphères 1/4. Le chauffeur, appelé pour prêter la main à la réparation de la courroie, ferma auparavant le robinet d'aspiration de la pompe alimentaire, et ouvrit en grand la porte du foyer. Quelques minutes après, l'explosion avait lieu; le corps cylindrique de la chaudière s'ouvrait suivant une ligne de rivure à la hauteur de l'axe; les deux feuilles de tôle, en se développant, se déchiraient suivant deux lignes parallèles à la précédente, sur la moitié de la longueur de la chaudière; le fragment supérieur était violemment projeté en l'air, et l'autre au fond de la fosse du générateur. En même temps, l'un des bouilleurs était déplacé en tournant autour de son cuissard postérieur. Les deux ouvriers occupés à la réparation de la courroie dans le local voisin étaient atteints, mais sans gravité, par la masse de vapeur.

On a constaté, après l'accident, que la tôle était propre, qu'elle avait conservé son épaisseur normale et qu'elle ne portait aucune trace de coup de feu.

Il résulte de cet exposé sommaire que l'explosion n'a point eu lieu par suite d'un fait de négligence imputable au chauffeur, qui est d'ailleurs donné comme un homme de confiance particulièrement soigneux.

M. l'ingénieur ordinaire et, avec lui, M. l'ingénieur en chef, pensent que l'accident est dû au règlement défectueux du niveau normal de l'eau dans la chaudière. Ce niveau passait en effet *par la ligne supérieure des carneaux*, et, en outre, il coïncidait *avec une ligne de rivure*. C'était une circonstance doublement fâcheuse.

La tôle, déjà affaiblie par les trous des rivets, était fatiguée par les effets de dilatation et de contraction auxquels

elle était alternativement soumise, selon que le niveau de l'eau était descendu à quelques centimètres au-dessous ou était ramené à quelques centimètres au-dessus de sa position normale.

Ces effets, répétés un grand nombre de fois chaque jour, ont fini par énerver le métal, et un dernier mouvement moléculaire, produit peut-être par le refroidissement dû à l'ouverture de la porte, a déterminé la rupture.

J'ajoute qu'il est assez vraisemblable que le métal, quoique sain, était aigre et d'assez médiocre qualité; cela me paraît résulter du nombre et de la forme des fragments qui ont été entièrement arrachés de la chaudière par l'explosion.

Si l'explication ci-dessus est exacte, l'accident dont nous nous occupons serait un exemple propre à faire ressortir l'importance de la disposition réglementaire qui fixe, en général, le niveau normal de l'eau dans une chaudière à un décimètre au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux.

A ce point de vue, il pourrait y avoir quelque intérêt à publier un extrait du rapport de M. l'ingénieur Barré, avec l'avis de la commission centrale.

Telle est la conclusion que j'ai l'honneur de soumettre à la commission.

Signé CALLON.

AVIS DE LA COMMISSION.

La commission, après en avoir délibéré, approuvant les observations contenues dans le rapport qui précède, en adopte les conclusions.

Extrait du rapport de M. Barré, *ingénieur des mines.*

La chaudière dont il s'agit avait été autorisée par arrêté préfectoral du 4 juillet 1857, en même temps que la machine de douze chevaux, servant de moteur aux métiers de la fabrique, à laquelle elle fournissait la vapeur. La demande en autorisation de l'établir avait soulevé des oppositions fort vives qui furent portées, lorsque l'arrêté eut été rendu, devant le conseil de préfecture. Mais celui-ci les rejeta le 29 juin 1860, sous la condition que M. Féry ferait à son appareil certaines modifications qui furent exécutées dans le délai voulu. Jusqu'au moment de l'explosion, la chaudière est restée dans les conditions d'emplacement définies par l'arrêté du 4 juillet 1857, c'est-à-dire dans une cour vitrée enclavée dans la fabrique, enterrée de façon que sa partie supérieure se trouvait à 1 mètre en contre-bas du sol, et protégée du côté de l'église Saint-Vincent par un mur de 1 mètre d'épaisseur en solide maçonnerie qui dépassait de 1 mètre la face supérieure de la chaudière, et était séparé par un espace vide de $0^{m},50$ du massif sur lequel elle reposait. — Le plan (*fig.* 9) montre la disposition des lieux.

La chaudière, construite dans les ateliers de M. Munier à Devant-les-Gonts, avait été éprouvée le 20 avril 1857 et timbrée à 6 atmosphères. L'état d'épreuves porte en observation : « Cette épreuve a bien réussi. » Depuis la mise en marche dans la même année elle n'avait eu à subir aucune réparation. C'était une chaudière horizontale, cylindrique, à fonds emboutis, munie de deux bouilleurs également cylindriques, rattachés à elle par deux paires de cuissards, le tout en tôle puddlée d'Hayange. La capacité totale était de $2^{mc},41$. Les dimensions sont données par la vue latérale et les deux coupes (*fig.* 6, 7 et 8), qui montrent en même temps le système de chauffage employé. La flamme passait sous les deux bouilleurs, dont le tiers de la surface supérieure environ, encastrée dans la maçonnerie formant le fond des carneaux de la chaudière, n'était pas chauffé, revenait en avant par le carneau de chaudière de gauche (*), passait devant la chaudière pour gagner le carneau de droite qui la recouduisait au fond, et revenait enfin à la cheminée située en avant par un carneau latéral n'ayant plus aucune influence sur le chauffage. La chaudière était munie : 1° de deux soupapes de sûreté, dont celle du fond perdait à une pression notablement inférieure à 6 atmosphères, et dont celle de tête passait pour fonctionner exactement; 2° D'un manomètre métallique; 3° D'un appareil indicateur du niveau de l'eau à aimant, du système Lethuillier-Pinel fonctionnant bien. — Ce dernier portait le manomètre à sa partie supérieure, et les deux appareils, montés sur l'avant de la chaudière, étaient nettement observables pour le chauffeur placé près du foyer.

(*) Il faut comprendre ici par la droite et la gauche celles d'un spectateur placé au foyer et regardant la chaudière.

La chaudière était munie aussi d'un système de robinets indicateurs du niveau de l'eau, qui, d'après la déclaration de M. Féry, étaient encrassés et ne pouvaient fonctionner le jour de l'explosion. Elle ne portait pas de tube indicateur.

L'alimentation était faite par une pompe, mue par un excentrique calé sur l'arbre de la machine. Elle était discontinue et était déterminée par l'ouverture d'un robinet d'aspiration. L'eau foulée par la pompe, après avoir emprunté quelque chaleur à l'échappement de la machine dans une bâche spéciale, pénétrait dans l'avant de la chaudière par un tube qui descendait verticalement jusqu'au fond, et se recourbant ensuite horizontalement, la conduisait jusqu'à la région du trou d'homme, c'est-à-dire jusqu'au milieu. Elle provenait d'un puits ouvert dans les alluvions de la Moselle, était potable et peu incrustante. La prise de vapeur se faisait par un tube s'ouvrant au ras de la partie supérieure de la chaudière dans son avant.

Tel était l'état de la chaudière le 6 février, jour de l'explosion. Elle n'avait pas servi depuis la première semaine de janvier, et avait été nettoyée complétement pendant le chômage. On alluma le feu à cinq heures du matin, après l'avoir remplie d'eau comme d'habitude, c'est-à-dire de façon à ce que son niveau, observé par le trou d'homme encore ouvert, atteignît la ligne horizontale de rivets qui court tout le long de la chaudière en son milieu. On fut à pression à sept heures et demie et la machine fut alors mise en marche pour donner le mouvement à trois appareils seulement de la fabrique, prenant une force d'environ cinq chevaux, c'est-à-dire moins de moitié de la force qu'elle pouvait fournir. Elle fut arrêtée vers neuf heures vingt minutes par suite de la déchirure de la courroie principale dans une couture, et le chauffeur Gérard dut quitter la chaudière pour aider le foulonnier Bruno à la rattacher. Il ouvrit auparavant la porte du foyer, et en arrivant dans la chambre de la machine, en A (*fig.* 9), il ferma le robinet d'aspiration de la pompe alimentaire. Le manomètre marquait alors, suivant les déclarations, 6 atmosphères un quart. L'indication du niveau ne peut-être précisée, car, suivant M. Féry fils qui l'aurait

observé à peu près à ce moment, il marquait 2, soit 2 centimètres au-dessus du niveau normal, et, suivant le chauffeur Gérard, 12. Bruno et Gérard étaient occupés à rattacher la courroie, lorsque, à neuf heures et demie, la chaudière fit explosion; ils se précipitèrent sur l'escalier *b* (*fig.* 9), pour s'enfuir, et furent alors atteints par l'eau et la vapeur qui leur brulèrent le visage, le cou et les mains. Aucun d'eux toutefois n'a été grièvement blessé.

Les effets de l'explosion furent les suivants :

La partie de la chaudière située à droite des deux grandes déchirures *ddddd*, *d'd'd'd'd'* (*fig.* 10), dont la première est sur le demi-cylindre supérieur et la seconde sur le demi-cylindre inférieur, fut entièrement détachée et séparée en deux portions principales suivant la ligne des rivets *rrrr*, nettement arrachée. La portion supérieure, α, sauf les deux fragments β et γ, voisins du trou d'homme, qui restèrent dans la fosse, fut lancée à une hauteur considérable et fut retrouvée sur le toit A (*fig.* 9) des soufroirs de la fabrique; la portion inférieure δ fut retrouvée dans la fosse, sauf un fragment compris entre le cuissard et le fond antérieur qui fut lancé à une grande hauteur et fut retrouvée sur le toit des bâtiments B (*fig.* 9), à une dizaine de mètres en horizontale de l'emplacement de la chaudière et à une douzaine de mètres en verticale. La soupape de devant avec un flotteur d'alarme hors de service qui en dépendait, et le niveau Lethuillier portant le manomètre, furent retrouvés dans la pièce C (*fig.* 9) du foulon située à gauche de la chaudière. La tuyauterie de prise de vapeur fut lancée dans la petite cour D par-dessus le toit E; la partie antérieure du tuyau d'alimentation fut lancée sur ce même toit, tandis que la partie horizontale intérieure fut retrouvée dans la cour vitrée de la chaudière en F.

La portion antérieure du bouilleur de droite fut entièrement et nettement arrachée suivant la ligne de rivets ρρρρρ (*fig.* 10), et ouverte aussi très-nettement suivant la ligne de rivets intérieure ρ'ρ'ρ'ρ'ρ'. Elle se partagea en trois fragments qui furent retrouvés tous trois en avant; le trou d'homme en fonte avec le bouchon dans le passage qui fait communiquer la force du foyer avec la chambre de la machine, et les fragments ε et *g*, devant le foyer.

Le toit ou appentis C (*fig.* 9), qui recouvrait la portion antérieure de la cour de la chaudière, avait été complétement emporté, et le vitrage de cette cour avec ses supports en grande partie détruit. Le pont *cd* en fonte et en maçonnerie qui permettait le passage par-dessus la fosse de la chaudière en avant du foyer, avait été complétement retourné sens dessus dessous et bout pour bout, et était

retombé sur ses appuis sans tomber dans la fosse. Le cuissard de droite surmontait ses débris. Le mur de défense H était intact à sa base et écorné à sa partie supérieure par le passage du grand fragment supérieur de la chaudière. Des fragments de briques et de tuiles avaient été lancés dans toutes les directions et jusque dans la rue Goussaud sans produire d'accidents ou de dégâts graves.

La portion de gauche de la chaudière fut retrouvée dans la fosse, avec le bouilleur de gauche et ses cuissards intacts, la partie postérieure du bouilleur de droite et son cuissard arraché, dévié vers la droite. L'ensemble avait fait un léger mouvement en avant, en s'inclinant un peu.

L'examen attentif des débris de l'appareil n'a fait reconnaître en aucun point des incrustations, que le dernier nettoyage aurait négligé de faire disparaître. La seule trace de coup de feu que j'aie constatée sur la chaudière et sur le bouilleur arraché consistait en un fendillement en étoile qui se montrait dans la région *o* de ce dernier; mais il n'était que superficiel, n'était pas accompagné de gonflement, et m'a paru sans liaison aucune avec les déchirures produites. Dans tous les points voisins des déchirures, la chaudière et le bouilleur avaient conservé leur épaisseur normale de 10 millimètres et de 8 millimètres, sans trace d'oxydation, alors que le procès-verbal d'épreuve porte seulement 9 millimètres et $7^{mm},5$.

De l'examen de tous les résultats de l'accident il découle, pour moi, que la chaudière a dû s'ouvrir en premier lieu suivant la ligne de rivets horizontale *rrrrr* (*fig.* 10), que la fracture suivant les lignes *ddddd*, et *d'd'd'd'd'* s'en est suivie, et que l'explosion du bouilleur a été une conséquence de celle de la chaudière. Celui-ci a été projeté en l'air et en avant avec une grande violence, et le pont *cd* (*fig.* 9), qui, en cédant, a joué le rôle de matelas, a été évidemment un heureux préservatif contre des dégâts et des accidents graves. La cause déterminante de la rupture de la chaudière suivant la ligne de rivets *rrrrr*, ne peut d'ailleurs être attribuée à une forte élévation progressive de la pression; les portes du foyer avaient été, comme je l'ai dit, ouvertes pendant le repos de la machine, arrêtée fort peu de temps avant l'explosion; les soupapes de sûreté n'étaient pas surchargées et jouaient facilement avant 6 atmosphères.

Aucun indice ne permet non plus de croire que le niveau de l'eau soit descendu pendant la matinée au-dessous de la ligne des carneaux, que la tôle ait ainsi rougi, et que la dernière alimentation, en remontant le plan d'eau, ait amené la formation d'une

grande quantité de vapeur. Il n'y avait en effet sur la tôle aucune trace de surchauffement, et il faudrait admettre cependant qu'elle eût été portée à une température assez élevée pour maintenir l'eau pendant un temps notable à l'état sphéroïdal, puisque le plan d'eau dépassait, d'après toutes les déclarations, la ligne des carneaux au moment où le chauffeur se rendit dans la chambre de la machine, c'est-à-dire dix minutes avant l'explosion.

Je ne puis donc voir la cause de l'explosion que dans l'affaiblissement considérable, et depuis longtemps progressif de la résistance de la tôle, qui a cédé à un moment donné sous l'influence en apparence peu sensible d'une circonstance qui pourrait être le refroidissement et la contraction dues à l'ouverture des portes du foyer non accompagnée de la fermeture du registre de la cheminée.

L'affaiblissement de la tôle trouve une explication plausible dans le système tout à fait vicieux employé pour l'indication du niveau de l'eau dans la chaudière. J'ai dit en effet que la ligne supérieure des carneaux était au milieu de la chaudière, ainsi que la ligne des rivets, et que celle-ci servait de repère pour le remplissage *à froid* de la chaudière. L'eau échauffée montait ainsi jusqu'à 5 centimètres environ sur le niveau Lethuillier, qui avait été monté par le mécanicien de la fabrique de façon à marquer 0, c'est-à-dire le niveau normal, pour la ligne des rivets, alors que ce niveau normal aurait dû être à 10 centimètres au-dessus. Il est dès lors indubitable qu'avec le système d'alimentation discontinu employé, le plan d'eau a dû, dans beaucoup de circonstances, descendre en pleine marche au-dessous du niveau de la ligne des carneaux. Il n'est jamais descendu, sans doute, d'une hauteur considérable au-dessous de cette ligne, car, d'après tous les renseignements, la chaudière était bien surveillée, et le chauffeur Gérard, attaché à son poste depuis 1861, remplissait exactement son devoir; mais si la tôle n'a jamais été assez découverte pour rougir, elle a eu néanmoins à subir souvent des dilatations et contractions inégales qui l'ont fatiguée.

EXTRAITS DE GÉOLOGIE.

Par MM. DELESSE et A. DE LAPPARENT.

Nous nous proposons de résumer sommairement les principaux travaux de géologie qui ont été publiés en 1864. Comme l'année précédente ces extraits se composeront de deux parties comprenant l'une les roches, l'autre les terrains. Les roches ont été spécialement traitées par M. Delesse et les terrains par M. de Lapparent.

PREMIÈRE PARTIE.

TERRAINS.

PALÉONTOLOGIE.

L'abondance des travaux de paléontologie n'est pas moindre en 1865 que dans les années précédentes; une revue consacrée spécialement à la géologie ne peut que les mentionner brièvement; un très-petit nombre seront donc ici l'objet de courtes notices; pour tous les autres, une simple indication bibliographique nous a paru suffisante, eu égard au but que nous nous proposons dans ce travail.

Colonies.

On sait que la doctrine des colonies, professée par M. Barrande, repose sur ces deux hypothèses fondamentales :

1° La coexistence partielle de deux faunes, qui, considérées dans leur ensemble, sont véritablement consécutives.

2° Des émigrations répétées de certaines espèces, destinées à expliquer leur apparition intermittente dans le bassin silurien de la Bohême.

Ces émigrations pourraient être attribuées à des changements de relief des terrains, produits, par exemple, par des éruptions de grünsteins. Elles pourraient également être attribuées à des changements dans la climatologie et dans le régime des courants.

Cette doctrine avait été combattue par MM. Suess, Lipold et Krejci, aux yeux de qui la présence des fossiles de l'étage E au milieu de l'étage D s'expliquait soit par des plissements et des coincements, soit par d'autres causes étrangères à la migration des espèces; et MM. Krejci et Lipold s'étaient fondés sur ce que, dans les environs de Hlubocep, près de Prague, on observe des dislocations qui ont fait pénétrer dans l'étage G des couches de l'étage H, en présentant des apparences en tout semblables à celles des colonies.

Dans un nouveau travail (1), M. Barrande conteste entièrement les conclusions de ses adversaires; il établit qu'il n'existe, à Hlubocep, que des apparences de dislocations sans aucun trouble réel dans la stratification, avec des réapparitions très-éloignées de roches que les géologues ne sauraient distinguer sûrement les unes des autres; enfin des intermittences répétées dans l'apparition, sur un même point, de certaines formes animales, ce qui confirme le principe de migration et de retour.

Ainsi la localité invoquée, loin d'ébranler la doctrine des colonies, ne ferait que la confirmer.

Il est du reste à remarquer que la théorie de la migration des espèces paraît gagner chaque jour du terrain depuis les travaux de MM. Darwin, Pictet (2) et Jules Marcou.

Fossiles retirés du fond de la mer par des sondages.

Dans le cours de sondages entrepris autour des îles de la Manche, M. Jeffreys (3) a trouvé des coquilles appartenant à des espèces fossiles, et une qui est inconnue aujourd'hui dans les mers du nord; les coquilles en question ont la même apparence que celles d'individus morts d'espèces actuelles; il est visible qu'elles n'ont été ni roulées ni transportées.

(1) *Défense des colonies*, III, 1865.
(2) *Succession des Gastéropodes pendant l'époque crétacée dans les Alpes suisses et le Jura.* — Genève, 1864.
(3) *Geol. Mag.*, II, 517.

Les coquilles fossiles recueillies, Potamides tricarinatus, P. cinctus, etc., sont éocènes.

Enfin, auprès de Jersey, on a obtenu le cerithium vulgatum, qui habite aujourd'hui la Méditerranée et l'Adriatique.

Répartition des foraminifères dans les mers.

Des sondages ont été entrepris par MM. Kitchen Parker et Rupert Jones (1) dans le but de connaître les conditions d'existence des foraminifères vivants; ces sondages, exécutés sur les côtes de l'Amérique du Nord et de la Norwége, ont permis de reconnaître que les genres polystomella et miliola préfèrent les rivages, tandis que les genres globigerina, pullenia, orbulina, vivent à des profondeurs de deux mille brasses et plus.

Comme les genres et même les espèces de foraminifères vivants actuellement se retrouvent dans les divers terrains à l'état de fossiles, on conçoit que ces recherches offrent de l'intérêt pour la restauration des mers anciennes.

Monographies.

Insectes.

D'après M. Hassencamp (2) le rapport entre les insectes à métamorphose incomplète et ceux à métamorphose complète serait ÷ 6 : 1 pour l'époque carbonifère, ÷ 5 : 9 pour l'époque tertiaire, ÷ 1 : 10 pour l'époque actuelle.

Il semblerait donc, autant du moins qu'on en peut juger par le petit nombre d'insectes fossiles actuellement connus, que la proportion des insectes à métamorphose complète tend à augmenter de plus en plus.

Bélemnites.

L'histoire naturelle des bélemnites vient d'être l'objet des recherches de M. Huxley (3). Grâce aux collections qu'il a eues à sa disposition, M. Huxley a pu éclaircir certains points douteux; ainsi il a montré que la plume des bélemnites ne correspond qu'à une portion de celle du calmar; et pour ce motif il lui donne le nom de pro-ostracum. En outre il a fait voir que certaines bélemnites

(1) *Phil. Trans.*, 1865, 325.
(2) Würzburg. Naturwiss. Zeitschrift; I, 78.
(3) *Memoirs of the Geol. Survey.* — Londres, 1864.

étaient pourvues de crochets sur les bras, de becs cornés, et d'une grande poche à encre; tous ces caractères sont visibles sur des échantillons du lias de Lyme-Regis se trouvant aujourd'hui au British museum.

L'examen des fossiles recueillis par M. Day dans le lias de Charmouth, conduit d'ailleurs M. Huxley à établir, dans la famille des bélemnites, le nouveau genre Xiphoteuthis, caractérisé par la forme et la structure de sa plume, son cône chambré long, étroit, rappelant les orthocères, et son rostre cylindrique.

Les bélemnites ont également été étudiées par M. John Phillips (Paleontological society) et par M. Karl Mayer (Nouveaux mémoires de la Société helvétique).

Ammonites.

M. Suess (1) a entrepris de remanier la classification des ammonites. Dans un premier travail, il s'est occupé surtout du bord extérieur de la dernière loge, dont il a défini les caractères.

M. Suess détache du groupe des ammonites les globosi et les amœni qu'il réunit sous le nom d'arcestes; les heterophylli forment le genre phylloceras; les fimbriati deviennent le genre ophiceras.

Graptolithes.

M. Hall (2) a publié la deuxième décade de la paléontologie du Canada, comprenant la description des graptolithes.

En Europe, on sait que ces fossiles apparaissent bien avec la faune primordiale, mais seulement dans la Norwége; car on ne les y a pas encore trouvés en Angleterre ni en Bohême. Dans l'Amérique du Nord, il en est tout autrement et les graptolithes sont beaucoup plus nombreux dans la faune primordiale que dans les faunes seconde et troisième. Ils atteignent même leur plus grand développement dans le terrain taconique de la Pointe-Levis (groupe de Québec de Sir William Logan). Le nombre des espèces observées dans ce groupe est de cinquante, et toutes lui sont spéciales. On connaît trente espèces dans les groupes de Trenton et de la rivière Hudson; et dans le silurien supérieur on n'en rencontre que deux, qui se présentent dans le groupe de Clinton.

Les genres décrits sont : graptolithus, diplograpsus, climacograpsus, retiolites, retiograpsus, phyllograpsus, dendrograpsus, callograpsus, dictyonema, ptilograpsus, thamnograpsus.

(1) *Académie des sciences de Vienne*, 30 juin 1865.
(2) Montréal, 1865.

Travaux français.

Le comité de la paléontologie française a publié cette année deux livraisons sur les zoophytes jurassiques, par MM. de Fromentel et de Ferry; et quatre livraisons sur les échinides crétacés, par M. Gustave Cotteau.

— De son côté, M. Deshayes (1) a terminé son grand travail sur les animaux sans vertèbres du terrain tertiaire des environs de Paris; cet important ouvrage forme maintenant cinq volumes, dont trois de texte et deux de planches; et une savante introduction fait connaître les bases de la classification zoologique adoptée.

Travaux américains.

Le Geological Survey de la Californie a publié la description des espèces fossiles qu'il a rencontrées jusqu'ici dans les terrains carbonifères et secondaires (2). Les fossiles carbonifères sont en petit nombre, les roches de cette période n'occupant qu'une faible étendue. Douze ou quatorze espèces sont décrites par M. Meek, parmi lesquelles productus semireticulatus et spirifer lineatus.

Les autres espèces se répartissent ainsi :

Triasiques, 28, par M. Gabb; jurassiques, 12, par M. Meek; crétacées, 300, par M. Gabb; ces dernières appartiennent toutes à la craie blanche.

On doit aussi à M. Hall de nombreux travaux sur la paléontologie de l'état de New-York (3), notamment : description de nouveaux brachiopodes des groupes Helderberg supérieur, Hamilton et Chemung; observations sur quelques brachiopodes; sur le genre streptorhynchus; sur un actylospongia silurien, etc.

Travaux divers.

— Nous terminerons maintenant ce chapitre par une énumération des principaux travaux paléontologiques de l'année 1865, en les rangeant d'après les publications dans lesquelles on peut les rencontrer.

(1) Paris, Baillière.
(2) *Amer. Journ*, XXXIX.
(3) 16e rapport annuel de l'Université de New-York.

Bulletin de la Société géologique de France :

A. Gaudry. Remarques sur les Hipparions, XXII, 21.
Hébert. Sur le Belemnites brevis, XXII, 201.
Hébert et Ébray. Observations sur l'Hemiaster Verneuilli.

Comptes rendus de l'Institut :

Marcel de Serres. Sur le Glyptodon clavipes et le G. ornatus, LXI, 457. 537, 665.
Alph. Milne Edwards. Sur la faune ornithologique quaternaire. LXI, 244.

Annales des sciences naturelles zoologiques, 1865 :

Alph. Milne Edwards. Crustacés fossiles cancériens.

Geological Magazine :

Owen. Stéréodus Melitensis, poisson fossile miocène de Malte ((II, 145).
Rofe. Échinodermes du calcaire carbonifère; genres Actinocrinus, Cyathocrinus, Rhodocrinus, Pentremites, Codonaster (II, 245).
Woodward. Dents de crustacés (II, 401).
F. E. Edwards. Quelques nouvelles espèces éocènes de Cypræa et de Marginella (II, 536).
H. Seeley. Cétacés fossiles d'Ely (II, 54).

British association :

Wright. Sur le développement des Ammonites (1864).
Ray Lankester. Sur les espèces anglaises de Céphalaspis et de Pteraspis (1865).

Quarterly Journal of the geological society of London :

Duncan et Wall. Coraux fossiles de la Jamaïque (1865, 1).
Falconer. Note posthume sur les genres Mastodon et Elephas (1865, 257).

Geological society of Dublin :

Baily. Sur la structure du Palæchinus (1865).

Neues Jahrbuch de Leonhard et Geinitz :

Bölsche. Fossiles de la Rauchwacke du Harz méridional (1864, 665).
Geinitz. Quelques fossiles rares du Dyas inférieur et du terrain houiller 1865, 385).

Voyage de la frégate autrichienne Novara :

Zittel. Mollusques et échinodermes fossiles de la Nouvelle-Zélande.
Karrer. Foraminifères du grès vert tertiaire d'Auckland.
Stoliczka. Bryozoaires fossiles de la Nouvelle-Zélande.
Unger. Plantes fossiles de la Nouvelle-Zélande.

Institut géologique de Vienne, 1864.

Reuss. Coraux des couches triasiques et rhétiques des Alpes. — Coraux et bryozoaires du bassin de Mayence. — Coraux et bryozoaires de l'oligocène supérieur d'Allemagne.
Hörnes. Bivalves du bassin tertiaire de Vienne.

Publications diverses :

Paleontographica de Dunker et Hermann de Meyer.
H. Woodward et Salter. Tableau des crustacés fossiles.
Van Beneden. Recherches sur les Squalodons, Bruxelles, 1865.
Cocchi. Monographie des Pharyngodopilides, nouvelle famille des poissons labroïdes, Florence, 1864.
Zittel. Bivalves de la formation de Gosau, Vienne, 1864.
Laube. Révision des spongiaires, coraux, échinides et crinoïdes de Saint-Cassian (Acad. des sciences de Vienne, XXIV, 1864).
U. Schlönbach. Etudes paléontologiques sur le Jura et la craie dans l'Allemagne nord-ouest. Cassel, 1865.
Winkler. Catalogue systématique de la collection du musée Teyler à Harlem.
Meek et Hayden.. Invertébrés du Missouri supérieur (Smithsonian Contribution to knowledge).
J. Leidy. Les reptiles crétacés des États-Unis (Smithsonian cont.).
L. de Koninck. Sur les fossiles paléozoïques recueillis dans l'Inde.
Salter et Blanfort. Paléontologie de Niti dans le Nord de l'Himalaya ; Calcuta.
Ferdinand Stoliczka. Coupes dans le Nord-Ouest de l'Himalaya avec une révision de tous les fossiles connus dans le district de Spiti (Mémoires du Geological Survey de l'Inde, V, 1re partie).

PALÉOPHYTOLOGIE.

Fixité des espèces végétales.

M. Göppert, bien connu des géologues par ses recherches sur la paléophytologie, a demandé à l'étude des végétaux fossiles des enseignements sur la transmutation des espèces, soutenue récemment par M. Darwin.

Il a reconnu qu'à toutes les époques on a vu apparaître et disparaître des espèces nouvelles, sans rapports intimes les unes avec les autres. De plus, certaines espèces, telles que les algues et les fougères, atteignent, dès leurs premières apparitions, un grand développement, et conservent leurs caractères essentiels à travers toutes les formations jusqu'à l'époque actuelle, sans subir de transmutation et sans présenter le moindre symptôme d'évolution.

La structure si particulière des sigillaria et des stigmaria, nous offre d'ailleurs un fait sans exemple et sans analogue dans les flores ultérieures.

En un mot, tous les faits semblent d'accord pour établir que les organismes apparaissent indépendamment les uns des autres, et

qu'il ne s'accomplit point d'évolution séculaire. La doctrine de la transmutation n'a donc, d'après M. Göppert, aucun support à attendre de l'étude des végétaux fossiles.

Flore paléozoïque.

Forêt Noire. — M. Sandberger (1) distingue quatre flores paléozoïques dans la forêt Noire.

1° Celle du Dyas inférieur ou du grès rouge de Dierbach, Oberkirch et Bade.

2° Du terrain houiller supérieur de Bade, Oppenau, Hinterohlsbach et Géroldseck ;

3° Du terrain houiller moyen de Berghaupten ;

4° Du terrain houiller inférieur ou grauwacke de Kulm, de Badenweiler et de Lenzkirch.

Amérique du Nord. — M. Dawson, dont nous avons mentionné les travaux sur la flore paléozoïque de l'Amérique du nord (2), a présenté à l'Association britannique un résumé de ses dernières recherches (3).

La flore carbonifère est surtout développée dans l'étage houiller moyen; les grès et schistes équivalant au millstone-grit ainsi que les dépôts marins qui correspondent au calcaire carbonifère, contiennent très-peu de plantes.

Le terrain houiller inférieur (*subcarboniferous*) renferme un certain nombre d'espèces végétales très-distinctes de celles du terrain houiller.

Les plantes dévoniennes sont aussi très-différentes de celles de la série carbonifère.

Dans le silurien, l'étage d'Helderberg inférieur est le seul dans lequel on ait rencontré des plantes terrestres; encore n'est-ce que dans une seule localité, celle de Gaspé, où l'on a reconnu la marque des racines du psilophyton et des traces de feuilles rapportées avec doute au cordaïtes angustifolia.

M. Dawson croit que beaucoup des prétendus fucoïdes du silurien inférieur du Canada sont des traces de vers ou de simples concrétions; très-peu appartiendraient réellement à des algues. Il n'a pas trouvé la moindre trace de plantes terrestres dans le silurien inférieur ni dans le grès de Potsdam. Mais il ne désespère

(1) *Neues Jahrbuch*, 1865, 371.
(2) *Revue de géologie*, IV, 157.
(3) *Geol. Mag.*, II, 563.

pas de mettre en évidence une forme organique définie dans les substances graphiteuses du terrain laurentien, qu'il est porté à considérer comme des débris d'algues marines.

Citons encore, comme travaux spéciaux relatifs aux plantes fossiles, une monographie du genre sphenophyllum, par MM. Coomans et Kickx (1), et un travail de M. Watelet sur les végétaux tertiaires du bassin de Paris (2) (floridées, fucoïdes, fougères, naïades, palmiers).

Fougères arborescentes.

D'après M. Göppert (3), les fougères arborescentes font leur première apparition dans le terrain houiller supérieur : le nombre des espèces atteint son maximum dans le grès rouge; le grès bigarré et les marnes irisées n'en contiennent qu'un petit nombre. On n'en a pas trouvé dans l'oolithe; et c'est dans le terrain crétacé qu'elles reparaissent, notamment à Oppeln, en Silésie, dans le groupe turonien.

TERRAINS PALÉOZOÏQUES.

TERRAINS ANTÉRIEURS AU TERRAIN SILURIEN.

Angleterre. — Jusqu'ici, les roches qui composent la chaîne des Malvern-Hills avaient été décrites comme syénites. M. Harvey Holl (4) les croit plutôt métamorphiques; elles consistent en schistes et gneiss principalement amphiboliques, avec lits interstratifiés de diorite; le tout est traversé par des filons quartzo-feldspathiques et des dykes de diabase. La direction dominante est sud-est-nord-ouest.

Les roches des Malvern-Hills étant recouvertes en stratification discordante, par le terrain cambrien, et contenant, comme le laurentien d'Amérique, une grande quantité de minéraux basiques, M. Holl croit pouvoir les assimiler au laurentien du Canada.

New-York. — M. Hall et Sir William Logan (5) ont reconnu que le gneiss des Highlands de l'État de New-York présentait tous

(1) *Bulletin de l'académie royale de Belgique*, 1864.
(2) Baillière, 1865.
(3) *Neues Jahrb.*, 1865, 395.
(4) *Geol. Mag.* II, 563
(5) *Amer. Journ.*, XXXIX, 97.

les caractères du système laurentien du Canada. Le comté d'Orange et les portions adjacentes du New-Jersey appartiendraient à cette formation. Cette conclusion s'accorderait d'ailleurs avec les observations de MM. Vanuxem, Keating et Cook, d'après lesquelles le gneiss et les calcaires cristallins d'Orange et de New-Jersey sont en stratification discordante avec les couches siluriennes inférieures.

Eozoon Canadense.

En annonçant, l'année dernière (1), la découverte d'un fossile, l'eozoon canadense, dans un terrain inférieur de plusieurs milliers de mètres au système de la faune primordiale, nous n'avons pu mentionner que très-brièvement les travaux qui avaient établi ce fait important, et qui n'étaient connus alors que par quelques communications succinctes de leurs auteurs. Aujourd'hui que ces travaux ont été publiés en entier, il nous paraît utile d'en préciser de nouveau les résultats.

Sir W. Logan (2) établit d'abord avec netteté la place géologique des calcaires à eozoon; il y a, dans le système laurentien inférieur, trois bandes de calcaire, et c'est dans la plus élevée d'entre elles qu'a été rencontré le fossile en question; cette assise est d'ailleurs séparée par une immense épaisseur des couches caractérisées par la faune primordiale de M. Barrande.

M. Dawson (3) étudie ensuite les caractères de l'éozoon, dont il a examiné des plaques minces au microscope; à l'œil nu, il semble composé de couches alternatives de serpentine ou de pyroxène et de carbonate de chaux; sous le microscope, les deux premiers minéraux paraissent cristallins et ne présentent aucune trace de structure organique; au contraire, les couches calcaires offrent une texture très particulière; leur matière est finement granuleuse, parcourue par de nombreux petits tubes qui forment un réseau compliqué. Des caractères observés, M. Dawson croit pouvoir conclure que la matière serpentineuse ou pyroxénique s'est introduite par infiltration ou sédimentation dans des cavités préexistantes, et que la substance calcaire accuse une structure organique prononcée, qui rappelle les foraminifères, quoique avec des dimensions exceptionnellement considérables.

Cherchant ensuite à préciser davantage, il signale la ressemblance

(1) *Revue de géologie*, IV, 117.
(2) *Geol. Society*, 1865, 45.
(3) *Geol. Society*, 1865, 51.

du fossile laurentien avec les genres carpenteria et nummulina, et admet qu'un grand nombre d'individus devaient se réunir pour constituer quelque chose d'analogue à un récif corallien.

En outre, M. Dawson signale, dans un assez grand nombre d'échantillons de calcaires laurentiens, des fibres et des granules de matière charbonneuse, qui ne présentent pas de structure cristalline et ont un aspect tout à fait semblable à celui du charbon résultant de la décomposition des algues dans les calcaires modernes.

M. Carpenter (1) a pu compléter les résultats obtenus par M. Dawson en examinant des spécimens préalablement débarrassés de l'élément calcaire par l'acide nitrique, et montrant à nu un squelette de serpentine qui laissait voir tous les détails de l'organisation tubulaire. La structure de la coquille rapproche l'éozoon du genre nummulina; le système des canaux rappelle les calcarina, et l'absence d'une séparation complète entre les chambres justifie l'analogie signalée avec les carpenteria.

Tous les caractères sont bien ceux d'un foraminifère.

Enfin, M. Sterry Hunt (2) a fourni quelques détails sur les substances minérales associées à l'éozoon; il pense que les silicates qui ont donné lieu à la serpentine, au pyroxène et à la loganite se déposaient dans les eaux où l'éozoon vivait, ou tout au moins où il venait de périr depuis peu de temps. M. Sterry Hunt paraît même disposé à admettre que ces substances minérales se formaient sur place, par suite d'une combinaison de la silice en dissolution dans l'eau avec l'oxyde de fer rendu soluble par les matières organiques en décomposition. Nous avons cru devoir mentionner cette hypothèse de M. Sterry Hunt; ajoutons cependant que nous en laissons toute la responsabilité à son auteur.

— Une fois la découverte de l'éozoon bien constatée, l'attention des géologues s'est portée avec une certaine prédilection sur les roches primitivement considérées comme azoïques, afin d'y rechercher des traces d'organismes semblables.

C'est ainsi qu'en Irlande, dans les marbres serpentineux de Connemara, M. Sandford (3) avait cru reconnaître un fossile analogue à l'éozoon; mais, d'une part, il n'y avait pas identité entre les deux espèces, puisque l'éozoon est une immense nummuline, tandis que le fossile de Connemara paraissait plutôt analogue à un

(1) *Geol. Society*, 1865, 59.
(2) *Geol. Society*, 1865, 67.
(3) *Geol. Mag.*, II, 87.

gigantesque polytrême. En outre, le marbre serpentineux où il a été trouvé appartient incontestablement, d'après sir Roderick Murchison (1), au terrain silurien inférieur, dans lequel il est intercalé en stratification concordante; et le savant directeur du *Geological Survey* n'a pas hésité à dire que, même la découverte d'un éozoon authentique dans ce calcaire, ne saurait en aucune façon l'identifier avec le laurentien, dont l'équivalent, dans la Grande-Bretagne, est le gneiss fondamental d'Écosse.

Enfin M. Harkness (2) a tranché la question en faisant voir que les prétendus organismes de Connemara n'étaient en réalité qu'un groupement minéral résultant d'un dépôt de serpentine sur de la trémolite et sur des minéraux asbestiformes.

TERRAIN SILURIEN.

Bohême. — Nous avons à enregistrer cette année un important travail sur le terrain silurien : c'est une étude détaillée de M. Barrande sur les étages G et H appartenant au silurien supérieur de la Bohême (3).

L'étage G est subdivisé en g^1, g^2 et g^3;

g^1 et g^3 sont des calcaires noduleux;

g^2 est un groupe de schistes argileux dans lequel on rencontre des intercalations de grünsteins; ces schistes présentent des couches bigarrées à la partie supérieure.

L'étage H est également subdivisé en trois assises :

h^1 formé de schistes argileux, clivables, avec quelques couches calcaires;

h^2, schistes avec quartzites;

h^3, schistes argileux sans quartzites ni calcaires. Ainsi le calcaire manque presque complétement dans l'étage H.

Le chiffre total des espèces fossiles dans les étages G et H s'élève à 305; si l'on en déduit 49 réapparitions d'espèces antérieures, il reste 254 pour représenter des espèces distinctes constituant la troisième phase de la faune silurienne troisième.

Les trilobites sont au nombre d'environ 50; les céphalopodes sont largement représentés dans l'étage G; on y trouve notamment 17 espèces de goniatites du type des nautilini; cependant les

(1) *Geol. Mag.*, II, 147
(2) *Bril. assoc.*, 1865.
(3) *Défense des Colonies*, III, 1865.

étages G et H sont liés aux étages inférieurs E et F par de très-puissantes affinités paléontologiques; ils ont, au contraire, peu de rapports avec les assises dévoniennes inférieures; et, s'ils offrent des goniatites assez semblables, quoique non identiques, aux espèces des schistes dévoniens de Wissembach, la troisième phase de la faune troisième présente, dans son ensemble, moins de formes dévoniennes que les deux premières phases.

En résumé, entre les étages G et H, d'une part, et le terrain dévonien, d'autre part, il n'y a d'autres affinités paléontologiques que celles qui se manifestent durant la fin d'une période géologique pour annoncer la période suivante, et, à cet égard, M. Barrande déclare se rallier complétement au principe formulé par M. Dana (1) : « Le commencement d'un âge se trouvera dans le milieu d'un âge précédent, et les signes de l'avenir qui se dispose à paraître doivent être considérés comme prophétisant cet avenir. »

Ajoutons que M. Barrande conteste l'exactitude de la concordance que M. Lipold avait cherché à établir entre les diverses assises de la Bohême et celles du terrain silurien d'Angleterre. Sans doute les grandes divisions se correspondent dans les deux pays; mais il n'y a pas de parallélisme absolu entre les faunes successives, et il est inutile de rechercher à reconnaître en Bohême le Ludlow, l'Aymestry et les Passage-Beds. Cette opinion est d'ailleurs partagée par Sir Roderick Murchison et par M. Haidinger.

Angleterre. — M. Harkness (2) avait montré, par les fossiles et par la stratigraphie, que les schistes de Skiddaw sont véritablement siluriens, et pas plus anciens que le Llandeilo. Récemment (3), il a découvert des fossiles dans les schistes verts intermédiaires entre le Skiddaw et le silurien supérieur; il en a trouvé aussi dans les Coniston-flags, qu'il regarde comme équivalents au Caradoc supérieur. Enfin il a montré, pour la première fois, que les roches schisteuses du Westmoreland, qui séparent le massif carbonifère du bassin permien du val d'Eden, contiennent les fossiles du silurien inférieur du Cumberland.

(1) *Manual of Geology*, 125.
(2) *Revue de Géologie*, IV, 152.
(3) *Geol. Mag.*, II, 462.

TERRES ARCTIQUES. — Des fossiles recueillis par M. Hays, dans un calcaire grisâtre, sur les bords du canal Kennedy, près du pôle boréal, ont été examinés par M. Meek (1), qui a reconnu les espèces suivantes : syringopora, favosites, strophomena rhomboïdalis, spirifer, orthoceras, illœnus. Ces fossiles démontrent l'existence du terrain silurien supérieur dans les régions boréales; de plus, leur apparence et celle de la roche rappellent le calcaire schisteux de Castkill dans le Helderberg inférieur de New-York. Et bien qu'il soit difficile de se prononcer d'une manière absolue sur cette identité avant d'avoir des exemplaires plus nets, M. Meek admet qu'on a affaire à la même formation; cette similitude, à 40 degrés de distance, est très-remarquable et importante à constater; elle s'accorde du reste complétement avec les recherches de MM. Haughton et Salter sur les collections rapportées de l'archipel Arctique par le capitaine Mac Clintock (2) et par le docteur Sutherland (3).

CANADA. — Les géologues canadiens ont créé (4), dans le terrain silurien de leur pays, un groupe spécial entre celui d'Onondaga et celui du Niagara : c'est le groupe de *Guelph*, ainsi nommé de la localité de Guelph ou Galt, où il est développé.

Il se compose d'un calcaire magnésien, souvent cristallin, quelquefois bitumineux, contenant les fossiles suivants :

Pentamerus occidentalis, megalomus canadensis, murchisonia bivittata, murchisonia macrospira, pleurotomaria solaroïdes, p. elora, bellerophon angustata, favosites gothlandica, obolus, orthoceras indéterminé.

Le groupe de Guelph paraît manquer dans l'État de New-York : il formerait donc une lentille. Suivant M. Jules Marcou, il pourrait d'ailleurs être l'équivalent de la partie inférieure du groupe d'Onondaga de New-York, qui ne se retrouve pas dans le Galt.

ÉTATS-UNIS. — M. James Hall (5) a étudié le grès de Potsdam du Mississipi, qui correspond à la faune silurienne première; il y distingue trois étages caractérisés par leurs fossiles.

En bas dominent : conocephalites, lingula, lingulepis, obolella et theca.

(1) *Amer. Journ.* XL. 31.
(2) *Revue de Géologie*, I, 179.
(3) *Journal of a voyage in Barrow straits*, 1852.
(4) *Geol. of Canada*, 1863.
(5) 16e rapport annuel des régents de l'Université de New-York; Albany, 1863.

L'étage moyen contient : conocephalites, dikelocephalus, arionellus, ptychaspis, chariocephalus, illœnurus, agnostus avec orthis et platyceras. Les graptolites y font leur apparition.

Dans l'étage supérieur on trouve : dikelocephalus, triarthrella, aglaspis avec lingula, serpulites, enomphalus.

Ainsi les premiers trilobites appartiennent au genre conocephalites, et le dikelocephalus ne fait son apparition que dans l'étage moyen, pour atteindre son véritable développement dans l'étage supérieur. Cependant il faut reconnaître que, dans leur ensemble, les trois faunes diffèrent très-peu. Chaque espèce y est représentée par un très-grand nombre d'individus.

Maintenant le grès de Potsdam du Mississipi correspond-il bien exactement au Potsdam de New-York, de Vermont et du Canada? En tout cas, l'absence du genre paradoxides semble prouver qu'il est postérieur aux couches de Braintree près Boston et à celles de Terre-Neuve; il n'est donc pas ce qu'il y a de plus ancien dans la série silurienne.

TERRAIN DÉVONIEN.

ANGLETERRE. — Le calcaire carbonifère repose, dans le sud-est de l'Irlande, sur le vieux grès rouge par l'intermédiaire d'un schiste noir dont l'épaisseur atteint jusqu'à 100 mètres. M. Jukes (1) considère l'ensemble de ces deux assises comme l'équivalent du « schiste « carbonifère » des comtés du sud et des grès (Coomhola grits) qu'il contient. Or ce schiste présente une identité remarquable avec les couches dites dévoniennes de Coblentz; de plus, on trouve à Coblentz des grès rouges et jaunes semblables à l'old red d'Angleterre; enfin les couches à possidonies, avec leurs veines de houille, rappellent la base des coal-measures d'Irlande. M. Jukes est donc disposé, ainsi que la plupart des géologues irlandais, à contester l'existence d'un système dévonien.

Cependant M. Baily fait observer que les calcaires de Plymouth, Newton-Bushell, etc., n'ont pas d'équivalents en Irlande, tandis qu'ils sont représentés dans le Nassau; or il y a lieu de les regarder comme dévoniens, puisque ce sont des couches intermédiaires entre le système silurien et le système carbonifère.

Remarquons aussi que les savants qui se sont le plus occupés des terrains anciens, tels que MM. Murchison, d'Archiac et de Ver-

(1) *Geol. Mag.*, II, 275.

neuil n'acceptent pas les vues de M. Jukes, et croient que ce géologue s'est laissé induire en erreur par ce fait que la série paléozoïque est incomplète en Irlande.

Faune.

Le terrain dévonien du Nouveau-Brunswick a fourni les plus anciens insectes connus. M. Scudder (1) y a reconnu un représentant gigantesque de la famille des Ephemerina, dont la dimension est trois ou quatre fois celle des plus grands individus aujourd'hui vivants. Les autres spécimens recueillis ont des caractères mixtes qui donnent à penser que les insectes de cette époque réunissaient les caractères des névroptères et ceux des orthoptères.

TERRAIN CARBONIFÈRE.

ALLEMAGNE. — Le terrain carbonifère inférieur ou Culm est bien développé dans le district du Kellerwald, situé dans la Hesse Électorale. M. Württenberger (2) en a fait une étude détaillée, et y a distingué 25 assises, groupées en trois étages principaux.

1° Culm supérieur, ou étage de la Grauwake de Culm :

Grauwake avec plantes fossiles ;
Schistes argileux ;
Grauwake à Knorria et Sagenaria, avec schistes siliceux ;
Schistes argileux, quelquefois avec algues marines.

2° Culm moyen, ou étage du grès de Culm :

Brèche siliceuse, grès quartzeux ;
Schistes argileux à sphérosidérite ;
Grès quartzeux ;
Grès siliceux avec tiges de crinoïdes ;
Grès quartzeux très-compacte.

3° Culm inférieur, ou étage des schistes de Culm :

Schistes siliceux ;
Grès micacé en plaquettes ;
Schistes argileux à sphænopteris ;
Grès siliceux ;
Schistes siliceux à Cyathophyllum et tiges de crinoïdes avec schistes argileux.

(1) *Amer. Journ*, XXXIX, 357.
(2) *Neues Jahrb.*, 1865, 530.

Il ne paraît pas y avoir de grünsteins au milieu du Culm du Kellerwald.

Bien que le terrain houiller proprement dit n'existe pas dans le Kellerwald, M. Württenberger ne doute pas que le Culm supérieur et une partie du Culm moyen de cette contrée ne doivent être assimilés au millstone-grit.

Quant au Culm inférieur, il serait l'équivalent des culm-beds du Devonshire et des schistes à possidonies, bien que ce fossile n'y ait pas encore été rencontré.

INDE. — M. Godwin-Austen (1) a étudié la formation carbonifère de la vallée de Cachemire, qui présente, d'après lui, une épaisseur de plus de 500 mètres.

La partie supérieure contient peu de fossiles ; mais la partie inférieure, ou étage de Zèwan. est constituée principalement par des débris de brachiopodes et de bryozoaires, et quelques-unes de ses assises contiennent des restes abondants de productus. Il y a aussi un calcaire à goniatites dont la position n'est pas encore déterminée avec certitude, mais qui semble devoir être rangé dans la série de Zèwan.

Les brachiopodes de ce terrain ont été décrits par M. Davidson qui y a reconnu beaucoup d'espèces déjà signalées en Europe et en Amérique ; elles paraissent appartenir à la faune carbonifère inférieure.

La moitié des fossiles rencontrés dans la contrée de Cachemire sont connus dans les couches carbonifères de l'Angleterre ; plusieurs espèces sont même identiques avec les fossiles carbonifères de l'Amérique du Nord, de la Bolivie et de la Nouvelle-Hollande. Ce fait est assurément fort remarquable.

Faune.

Palœdaphus insignis.

Le curieux poisson, désigné sous le nom de Palœdaphus insignis, n'était guère connu que par une figure de la Zoologie et Paléontologie française ; mais récemment MM. van Beneden et de Koninck (2) sont parvenus à dégager convenablement ce fossile de la roche qui l'enveloppait en partie, et ils en donnent une description. C'est un plagiostôme squalidien qui s'éloigne notablement des formes habituelles et se rapproche plus des raies que des squales.

(1) *Geol. Society*, XXI, 492.
(2) *Bulletin de l'Académie de Belgique*, 2e série, XVII, 143.

Il provient du calcaire paléozoïque des environs de Liége; les auteurs n'hésitent pas à le rapporter au calcaire carbonifère de Tournay ou inférieur.

Faune du millstone grit.

Le millstone-grit de Sweeney, dans le Shropshire, est remarquable par la quantité peu ordinaire de fossiles qu'il contient. M. Prosser (1) y signale : Sigillaria, Encrinites, Productus cora, Rhynchonella pleurodon, Orthis resupinata, Schizodus, etc. On y a également trouvé un très-bel exemplaire d'Orthoceras giganteum.

Fossiles marins dans le terrain houiller.

Nous avons déjà mentionné (2) la découverte, dans plusieurs contrées, de fossiles marins dans les parties exploitables du terrain houiller. Un fait du même genre a été observé près de Glasgow par M. Skipsey (3), qui a trouvé, à 120 mètres au-dessus de la couche de houille connue sous le nom d'Ell-coal, les Productus scabriculus, Discina nitida, Conularia quadrisulcata, Bellerophon Urii, plus ou moins engagés dans des nodules de minerai de fer qu'enveloppait un schiste alternant avec des grès et des argiles réfractaires.

Or ces fossiles n'avaient été rencontrés jusque-là que dans le calcaire carbonifère, à 600 mètres au-dessous de l'Ell-coal; il est à remarquer aussi que la Discina nitida se retrouve dans le terrain permien.

A cette occasion, M. Ward (4) rappelle que déjà MM. Hull et Green avaient signalé des fossiles marins dans le terrain houiller supérieur à Ashton-under-Lyne, et que lui-même en avait trouvé dans le Nord-Staffordshire; il cite, entres autres, Discites falcatus, Discina nitida, Macrocheilus, Aviculopecten, etc.

Sphenophyllum.

MM. Coomans et Kickx (5) ont donné une monographie des Sphenophyllum d'Europe. Ce genre, spécial à l'époque houillère et classé diversement, a été rangé par les auteurs parmi les dicotylédones gymnospermes. Ils réduisent à six le nombre des espèces connues, et ils en donnent le dessin ainsi que la synonymie.

(1) *Geol. Mag.*, II, 107.
(2) *Revue de Géologie*, IV, 155.
(3) *Geol. Mag.*, II, 186.
(4) *Geol. Mag.*, II, 234.
(5) *Bulletin de l'Académie de Belgique*, 2e série, XVIII, 134.

Limite entre le terrain houiller et le terrain permien.

La question de la limite entre le terrain houiller et le terrain permien à Saarbrück a soulevé une discussion dont nous avons déjà parlé l'année dernière (1). Depuis cette époque, grâce aux recherches de MM. Weiss et Bäntsch (2), le niveau de la Leaia Bäntschiana a été déterminé avec précision. Il a paru convenable de distinguer deux zones intermédiaires qui se classent dans la série générale de la manière suivante :

Grès rouge inférieur.	6.	Grès bigarré.
	5.	Grès rouge supérieur, fossiles inconnus.
	4.	Couches de Lehach avec Acanthodes, Amblypterus, Rhabdolepis, Xenacanthus, Archegosaurus, Estheria, Unio? et plantes caractéristiques du grès rouge.
	3.	Deuxième zone de passage avec Walchia, Cyatheites confertus en haut; et poissons, estheria, unio; il n'y a pas d'Acanthodes.
Terrain houiller. . .	2.	Première zone de passage ou couches d'Ottweiler. Walchia rare ; flore houillère dominante; Sigillaria, Stigmaria; mêmes poissons que dans 3; Unio, Estheria, Leaia à la base.
	1.	Formation houillère ou couches de Saarbrück; flore houillère pure; pas d'Estheria, d'Unio ni de Leaia.

La limite la plus nette est celle qui sépare les couches d'Ottweiler de la formation houillère exploitable; non-seulement parce que les affleurements ont permis de l'établir avec plus d'exactitude; mais parce que la Leaia Bäntschiana s'est montrée, jusqu'ici, exclusivement à ce niveau, constituant ainsi un horizon bien défini.

Quant à la limite entre les deux zones de passage, elle est extrêmement difficile à tracer.

TERRAIN PERMIEN.

RUSSIE. — M. Ludwig avait donné dans le « Dyas » de M. Geinitz, une description du système permien en Russie, où il classait

(1) *Revue de Géologie*, IV, 163.
(2) *Neues Jahrb.*, 1865, 838.

comme formations d'eau douce les calcaires situés sur le revers occidental de l'Oural. M. de Möller (1) y a cependant trouvé, à Kungur, en compagnie de plantes terrestres, des fossiles marins, tels que Schizodus truncatus, Clidophorus Pallasii, et une petite térébratule. Ce résultat s'accorde avec les conclusions de MM. Murchison, de Verneuil et Keyserling, en sorte que ce calcaire correspondrait exactement au zechstein supérieur.

M. de Möller reconnaît, dans le terrain permien de la Russie orientale, deux formations parallèles, l'une calcaire, l'autre sablo-marneuse, et dont chacune correspond à l'ensemble du grès rouge et du zechstein.

La formation calcaire se divise en deux groupes : le supérieur, contenant : Avicula speluncaria, Schizodus truncatus, Clidophorus Pallasii, Arca Kingeana, se trouve sur le Wolga, la Kama, et à Kungur; l'inférieur, caractérisé par Orthis pelargonata, Pecten sericeus, Spirifer rugulatus, Nautilus Freieslebeni, est développé à Kischerma, Kiriloff, Balykowo, et dans quelques régions des provinces Samara et Orenbourg; il paraît reposer directement sur le calcaire carbonifère à Fusulines.

Quant à la formation sablo-marneuse, qui se montre dans les gouvernements de Perm et d'Orenbourg, elle est marine comme la première, car on y trouve des poissons à Perm, des goniatites à Artinsk, le Spirifer rugulatus dans Orenbourg. Mais on n'y a pas encore recueilli assez de fossiles pour établir nettement son parallélisme avec la formation calcaire.

Ajoutons que M. de Möller est disposé à ranger dans le trias au moins les couches supérieures des marnes bigarrées qui recouvrent le système permien en Russie.

Flore permienne.

En annonçant la prochaine publication des dernières livraisons relatives à la flore permienne (2), M. Göppert (3) a présenté sur cette flore quelques observations générales que nous résumerons ici :

La flore permienne, tout en possédant les caractères généraux des flores paléozoïques, est cependant tout à fait indépendante et mérite d'être considérée à part.

(1) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 425.
(2) Voir *Revue de Géologie*, IV, 146.
(3) *Neues Jahrb.*, 1865, 301.

Le nombre des espèces aujourd'hui connues s'élève à 272, se répartissant de la manière suivante :

Fungi	1	Noeggerathiæ	12
Algæ	4	Calamiteæ	4
Calamariæ	21	Sigillariæ	5
Filices	130	Cycadeæ	11
Selagines	11	Coniferæ	31
Palmæ	30	Genera incertæ sedis	12

Une seule espèce (Neuropteris Loshii) est commune au permien et au carbonifère : 19 ou 20 se retrouvent dans le terrain houiller.

Sur les 272 espèces, 258 appartiennent au grès rouge, qui est l'équivalent du grès cuprifère de la Russie. Le Weissliegende en contient 3, et le schiste cuivreux 14.

Les trois étages du zechstein ne contiennent qu'une algue et quelques plantes ayant déjà fait leur apparition dans le schiste cuivreux.

Voltzia heterophylla et Calamites arenaceus sont les seules espèces permiennes qui pénètrent dans le trias, en sorte qu'il y a une séparation tranchée entre les flores des deux formations.

Les plantes du grès rouge qu'on peut considérer comme caractéristiques sont Calamites gigas, Odontopteris obtusiloba, Callipteris conferta, Walchia piniformis.

La flore permienne contient les derniers représentants des groupes Lepidodendron, Noeggerathia et Sigillaria. Parmi les fougères, les espèces arborescentes dominent. On y trouve des plantes monocotylédones incontestables, telles que les Scitaminées et les Palmiers, ainsi que de nombreux fruits qui rappellent les dicotylédonés.

TERRAINS MÉSOZOÏQUES.

TERRAIN TRIASIQUE.

Le trias est particulièrement développé en Allemagne, et son importance industrielle y est très-grande; aussi les géologues s'attachent-ils à en définir avec précision les diverses assises : nous

avons fait connaître l'année dernière un certain nombre de classifications de ce terrain (1); nous croyons utile d'en reproduire encore quelques-unes.

Allemagne centrale. Nous commencerons par celle de M. F. Sandberger (2), laquelle s'applique à l'Allemagne centrale.

(1) *Revue de Géologie*, IV.
(2) *Neues Jahrb.*, 1865, 746.

	WÜRTEMBERG et BADE.	WÜRZBOURG.	THURINGE.
Groupe de la Lettenkohle.	Dolomie grise dure.	Dolomie grise dure.	Dolomie grise dure.
	Dolomie fossilifère et argile à Cardinia.	Argile schisteuse grise à Cardinia.	Schistes argileux.
		Dolomie brune sans fossiles.	
	Argile noire à plantes fossiles.	Argile noire à plantes fossiles.	
	Grès (Hauptsandstein).	Grès.	Grès (à cycadées).
		Grès brun rouge.	
		Dolomie drusique.	Grès brun rouge.
	Niveau de la flore de la Lettenkohle à Bâle.	Principal gisement de Cardinia Keuperina. Grès à Widdringtonia.	Manque.
		Schistes durs gris blancs.	Manquent.
		Schistes gris verdâtres alternant avec des bancs de dolomie (anaplophora lettica).	Argiles grises et dolomies; mêmes fossiles qu'à Würzburg.
	Dolomie dure à Anoplophora et grès à ossements.	Calcaire glauconieux à Bairdia et ossements.	
	Dolomie à Trigonodus.	Dolomie à Trigonodus.	Manque.
Muschelkalk. — Calcaire à cératites.	Calcaire en plaquettes avec Ceratites enodis.	Calcaire en plaquettes avec argile (Cer. enodis, Corbula gregaria, poissons).	*a*. Calcaire en plaquettes avec argile (C enodis). *b*. Calc. glauconieux à poissons et sauriens.
	Manque.	Banc à Ter. vulgaris (var. cycloïdes).	Banc à Ter. vulgaris (var. cycloïdes).
	Plaquettes calcaires.	Argiles et plaquettes calcaires.	Argiles et plaquettes calcaires.
	Manque.	Banc à gros individus de la Ter. vulgaris.	Manque.
	Bancs calcaires avec Ceratites nodosus.	Calcaire avec couches d'argile (C. nodosus).	Calc. avec couches d'argile (C. nodosus).
Muschelkalk. — Calcaire à encrines.	As-ise à Myophoria vulgaris.	Assise à Myophoria vulgaris.	Manque.
	Bancs à encrines.	Bancs à encrines.	Bancs à encrines.
	Calcaire en plaquettes avec hornstein.	Calcaire en plaquettes avec hornstein.	Calcaire oolithique.
	Oolithe blanche.	Oolithe blanche.	Oolithe à Sauriens avec hornstein.
Groupe de l'anhydrite.	Dolomie celluleuse.	Dolomie celluleuse.	Dolomie celluleuse.
	Marnes gypseuses et sel.	Marnes gypseuses.	Marnes gypseuses.
Wellenkalk.	Schistes marneux supérieurs (myophoria orbicularis).	Schistes marneux à Myophoria orbicularis.	Schistes marneux à myophoria orbicularis.
	Manque.	Calcaire écumeux.	Calcaire écumeux.
	Manque.	Couche à térébratules, Rhynchonella decurtata.	Couche à térébratules.
	Manque.	Banc à dentales.	Banc à dentales.
	Wellenkalk inférieur.	Wellenkalk inférieur.	Wellenkalk inférieur.
	Wellendolomit.	Wellendolomit.	Manque.
Grès bigarré.	Argiles schisteuses rouges.	Argiles schisteuses rouges.	Argiles schisteuses rouges; couches à rhizopolypiers.
	Grès bigarré.	Grès bigarré.	Grès bigarré.

M. Gümbel (1) a décrit de son côté le trias de la Franconie. Nous en extrayons le tableau suivant :

Keuper. . . .	I. Keuper jaune ou étage rhétien (zone à avicula contorta et Equisetites Munsteri).	
	II. Keuper bigarré	Assises supérieures à Belodon. Assises inférieures avec gypse (corbula Keuperina).
	III. Keuper gris ou étage de la Lettenkohle.	Horizon dolomitique dit de Beaumont (myophoria Goldfussii). Horizon du grès de la Lettenkohle (Pterophyllum Munsteri).
Muschelkalk.	I. Muschelkalk supérieur ou proprement dit.	Pierre de Rothenburg ou à Ter. vulgaris. Couches à cératites 1° C. enodis 2° C. nodosus Couches à crinoïdes
	II. Muschelkalk moyen ou groupe de l'anhydrite.	
	III. Muschelkalk inférieur ou Wellenkalk.	Supérieur à Myophoria orbicularis. Moyen à Pentacrinus dubius. Inférieur à Myophoria cardissoïdes.
Grès bigarré.	I. Supérieur. . . .	Wellendolomit avec Natica Gaillardoti. Glaises bigarrées et grès à cheirotherium Barthi.
	II. Moyen.	Grès rougeâtres. Grès blanc et grès schisteux.
	III. Inférieur. . . .	Schistes (Leberschiefer).

Tyrol.— M. Pichler (2) a reconnu les couches du trias au milieu des Alpes centrales du Tyrol, dans le massif de l'Oetzthaler, où l'on observe la coupe suivante.

1. Calcaire alpin supérieur ou calcaire de Hallstadt; roches claires, analogues au marbre, avec des lamelles de mica comme le cipolin. Malgré leur métamorphisme, on y reconnaît les coraux propres au calcaire alpin supérieur.

2. Calcaires et dolomies de Saint-Cassian, avec cardita crenata. Les couches dites de Partnach en font partie.

(1) *Bavaria*, IV, 11e cahier. — Munich, 1865.
(2) *Jahrb. d. K. K. R.*, XIV, 436.

3. Calcaire noir écailleux, veiné de blanc, probablement muschelkalk.

Au-dessous apparaissent la Rauchwacke, le gypse, le grès bigarré en partie métamorphosé sous forme de quartzite d'un gris verdâtre, enfin le schiste micacé.

Ce qui est remarquable, c'est la structure de ces roches triasiques, qui sont beaucoup plus cristallines que dans le bassin de l'Inn; de sorte que, sans les fossiles, il eût été fort difficile de les reconnaître.

ALPES ORIENTALES.—M. Hertle (1) a décrit les dépôts houillers, appartenant aux grès triasiques supérieurs, qu'on rencontre dans les Alpes du nord-est, tantôt en chaînes continues, tantôt sur des points isolés.

Cette houille des Alpes paraît représenter la Lettenkohle du Keuper. Le territoire sur lequel elle se trouve est situé entre la plaine de Vienne et le fleuve Steyer dans la haute Autriche. Les grès du Keuper et les lits houillers atteignent leur plus grand développement dans le Vorgebirge; il y en a très-peu dans le Mittelgebirge. Enfin ils manquent entièrement dans le Hochgebirge. Ordinairement on rencontre trois ou quatre couches, enclavées dans une zone de schiste argileux, ayant de 16 à 25 mètres, près de la limite des grès keupériens et des couches de Raibl. Le charbon, de consistance friable, est excellent pour le chauffage et la forge.

AMÉRIQUE DU NORD.—D'après M. Whitney (2), le trias supérieur est abondamment représenté, sur les côtes du Pacifique, par des roches que leurs caractères fossilifères relient intimement aux calcaires de Hallstadt et aux couches de Saint-Cassian. Ce bassin triasique s'étend depuis le Mexique jusqu'à la Colombie anglaise; il est plus d'une fois interrompu par des roches volcaniques, et presque partout il a subi un métamorphisme avancé. Les régions les plus fossilifères sont les montagnes de Humboldt et le comté de Plumas en Californie. Quatre espèces ont été reconnues identiques à des formes européennes; l'ensemble du faciès est celui des couches de Hallstadt; on y trouve le même mélange d'orthocères, goniatites, nautiles, cératites et ammonites globuleuses, avec halobia, monotis, avicula, pecten, myophoria, etc.

Il est fort curieux de retrouver en Amérique ce faciès marin

(1) *Jahrb. d. K. K. R.*, XV, 72.
(2) *Americ. Journ.*, 113, 1864.

du trias supérieur, qui avait paru d'abord si singulier en Tyrol, alors qu'on ne connaissait guère le trias que par les dépôts du centre de l'Allemagne et de l'est de la France.

Limite entre le trias et le lias.

Étage rhétien.

Comme les années précédentes (1), la question de la limite entre le trias et le lias nous a valu plusieurs travaux intéressants dont nous donnerons ici une courte analyse.

FRANCE. — Citons d'abord M. J. Martin (2) auquel on doit un important travail d'ensemble sur les dépôts de passage entre le trias et le lias. Après avoir coordonné tous les matériaux publiés jusqu'à ce jour en Angleterre, en Allemagne, en Italie, en Suisse, en Belgique et en France, M. Martin examine et discute les caractères de ces couches de jonction.

Il constate que ces dépôts compris entre le Keuper et la zone à ammonites planorbis, généralement gréseux et arénacés en France, en Belgique et en Allemagne, sont marno-calcaires ou schisteux en Angleterre, en Italie et dans les Alpes. Cette constitution pétrographique est d'ailleurs en rapport avec les roches sous-jacentes; elle est gréseuse ou arénacée au contact des roches de cristallisation, marneuse et calcaire sur les sédiments d'origine vaseuse.

Sauf de rares exceptions, les dépôts de cet horizon sont en concordance à la fois avec le lias et le trias, et aucun accident stratigraphique ne paraît être spécial à la zone à avicula contorta.

La faune présente des rapports d'affinité avec le trias, mais plus encore avec le lias; cependant cet ensemble organique possède un cachet tout particulier, justifiant la création d'un étage distinct, l'*étage rhétien*, qui pour M. Martin serait le premier terme de la série jurassique.

Le mémoire de M. J. Martin est accompagné d'une liste de 533 espèces signalées jusqu'ici dans la zone à avicula contorta, avec une description de types nouveaux, recueillis dans la Côte-d'Or.

(1) *Revue de Géologie*, t. III et IV.
(2) *Mémoire de l'Académie de Dijon*, XII, 1865.

— Après avoir répondu à quelques critiques de détail relatives à ses travaux, M. Levallois (1) a contesté la relation signalée par M. Martin entre la constitution pétrographique des couches de jonction et celle des terrains sous-jacents; la preuve du contraire serait mise en évidence par toutes les observations faites depuis l'Ardenne jusqu'au Morvan.

M. Levallois fait ensuite observer que M. Martin, malgré sa persistance à ranger les couches de jonction dans le terrain jurassique, n'hésite pourtant pas, en présence des caractères paléontologiques, à déclarer que leur faune ne peut être confondue ni avec celle du trias, ni avec celle du lias, et qu'elle leur sert en quelque sorte de trait-d'union.

Or, aux yeux de M. Levallois, la question de l'intercalation de ces couches dans le lias ou le trias est tout à fait secondaire : ce qui importe, c'est que leur caractère spécial soit nettement reconnu, et, pour sa part, il accepte volontiers le nom d'étage rhétien.

Il fait remarquer en outre qu'il n'est guère utile, comme le fait M. Martin, de comparer les fossiles français avec ceux des Alpes; la faune des couches en litige varie beaucoup suivant des localités aussi éloignées et peut avoir ses analogies, ici dans le lias, là dans le trias, ainsi que l'a observé M. Renevier.

— M. Terquem (2), invité par M. Martin à dire son opinion sur la question paléontologique, s'est rangé du côté de M. Levallois. Il discute les assimilations d'espèces faites par M. l'abbé Stoppani. En outre, dans une longue série de fossiles qu'il possède du grès bigarré de Saint-Avold (Moselle) et de Ruault près Plombières (Vosges), il a retrouvé presque tous les acéphales que MM. Stoppani et Martin ont indiqués dans la zone à avicula contorta.

Quant à la stratigraphie, elle montre, dans certaines localités, les marnes irisées et le bone-bed soulevés et redressés tandis que le lias les recouvre en couches horizontales; c'est en particulier ce qui a lieu dans les environ de Metz (3).

Enfin M. Terquem a retrouvé constamment, dans la Moselle et le grand-duché de Luxembourg, la couche de marnes rouges signalée par M. Levallois entre le calcaire du lias et le bone-bed.

— Enregistrons encore un travail de M. Pellat (4) sur la zone de

(1) *Observations*, etc. — Paris, Savy, 1865.
(2) Metz, 1864.
(3) *Revue de géologie*, t. II, p. 204.
(4) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 546.

jonction dans les environs de Couches-les-Mines (Saône-et-Loire).

On distingue dans cette région trois bone-beds, et les assises se partagent ainsi, en commençant par le sommet :

1° Calcaires siliceux, ferrugineux, foncés, de couleur chamois, avec calcaire siliceux en plaquettes, lits de grès grossiers, marnes versicolores et calcaires cloisonnés (saurichthys acuminatus, avicula contorta, gervillia præcursor, gyrolepis teniistriatus).

2° Calcaires gris, siliceux, donnant de la chaux hydraulique (avicula contorta, plicatula interstriata, myophoria, sargodon tomicus, hybodus minor).

3° Grès à avicula contorta et anatina præcursor, avec un troisième bone-bed à dents de poissons.

M. Pellat examine à son tour les affinités paléontologiques de l'étage avec le lias et le trias ; après avoir fait ressortir les difficultés de la question et son peu d'importance théorique, il propose l'idée suivante :

L'étage rhétien peut être jurassique dans certains pays, et triasique dans d'autres. Lorsque, dépôt marin, comme en Bourgogne, il succède à un dépôt formé dans des conditions différentes, il se relie au lias, dépôt marin comme lui, plutôt qu'au trias. Lorsque, au contraire, la faune keupérienne, mieux développée, a pu persister plus longtemps, il se relie plutôt au trias.

— Aux diverses régions de la France dans lesquelles la zone à avicula contorta a été reconnue, il convient d'ajouter maintenant le département de l'Ariége. En effet, M. l'abbé Pouech (1) annonce qu'il y a rencontré les fossiles de l'infralias, notamment : mytilus minutus, anatina præcursor et avicula contorta.

Angleterre. — M. Boyd Dawkins (2) annonce la découverte de débris de carnivores et d'insectivores dans des couches appartenant à l'étage rhétien, et que le Geological Survey a classées comme série de Penarth, dans le Somerset.

En outre, on y trouve, dans les assises moyennes, pecten valoniensis, sargodon tomicus, avicula contorta et acrodus minimus très-abondant : enfin le cardium rhæticum se rencontre dans toute la hauteur de la série.

Alpes Bavaroises. — La valeur de l'avicula contorta comme fossile

(1) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 162.
(2) *Geol. Mag.*, II, 481.

caractéristique a été contestée par M. Schafhäutl (1) qui prétend l'avoir rencontrée dans les Alpes bavaroises, et notamment dans le calcaire à oolithes blanches du Zugspitz, en compagnie des cidarites elegans, terebratula ascia, ammonites arduennensis. Or, les géologues alpins rapportent le calcaire du Zugspitz au muschelkalk, et d'un autre côté l'ammonites arduennensis appartient au portlandien. Faut-il donc admettre que l'avicula contorta va depuis le muschelkalk jusqu'au sommet du Jura, et que par conséquent elle n'est pas un fossile caractéristique?

Nous n'enregistrons que sous toutes réserves ces observations de M. Schafhäutl. En effet, ce géologue semble avoir pris à tâche de détruire, au moins pour la région des Alpes, la notion des fossiles distinctifs des terrains. Or nous verrons plus loin que, au moins pour ce qui concerne le terrain crétacé, l'opinion de M. Schafhäutl a déjà trouvé dans M. Gümbel un contradicteur énergique.

— En somme, il est un point sur lequel tous les observateurs sont d'accord : c'est qu'il convient de reconnaître comme une individualité géologique le groupe des couches de jonction du trias et du lias. Ainsi se trouve confirmé, par de savantes investigations, le résultat pressenti par la sagacité de MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy, qui, dans la carte géologique de France, avaient attribué une couleur distincte au grès infra-liasique.

Et une pareille distinction, faite à cette époque, sur une carte d'ensemble, est d'autant plus remarquable, que l'étage infra-liasique n'a guère que 30 mètres d'épaisseur.

TERRAIN JURASSIQUE.

Lias.

Angleterre. — Le lias de Lyme-Regis a été étudié par M. Day (2) Dans cette localité, célèbre pour ses fossiles, le lias inférieur se compose de 25 mètres de calcaires alternant avec des marnes, et de 70 mètres de marnes où l'élément calcaire joue un rôle très-faible.

Tout en reconnaissant que les ammonites du lias inférieur n'apparaissent que sur des étendues verticalement très-limitées, et

(1) *Neues Jarhb.*, 1865, 17.
(2) *Geol. Mag.*, II, 518.

qu'elles se succèdent suivant l'ordre habituellement indiqué, M. Day croit qu'il est très-rare que chacune d'elles soit associée à une faune vraiment définie.

Les gastéropodes manquent. Les restes de l'animal de la bélemnite se trouvent dans des couches inférieures à toutes celles qui renferment les rostres de cette espèce. Enfin les reptiles et les poissons apparaissent dans toute la hauteur du lias inférieur, sans qu'aucun d'eux puisse être regardé comme spécial à un horizon.

En outre, M. Day ne croit pas que le lias moyen et le lias inférieur constituent deux formations distinctes.

Il est bon d'ajouter que l'auteur limite le lias inférieur, en haut à l'ammonites raricostatus, et en bas à l'ostrea liassica. Tout ce qui se trouve au-dessous ferait partie de l'étage rhétien.

FRANCE. — M. Terquem (1) a publié un quatrième mémoire sur les foraminifères du lias, comprenant les polymorphines des départements de la Moselle, de la Côte-d'Or et de l'Indre. Les foraminifères du lias commencent dans l'assise à Amm. planorbis, où foisonnent les dentalines et les polymorphines; très-peu nombreux dans l'assise à Amm. angulatus, ils se retrouvent dans les couches à gryphées arquées. Deux genres, annulina et involutina, sont caractéristiques du lias moyen; et le lias supérieur possède une série variée de placopsilina.

Le lias de Semur renferme 14 genres de foraminifères, comprenant 122 espèces, réparties de la manière suivante :

Étage inférieur : 50, dont 13 passent dans les autres étages;

Étage moyen : 71, dont 15 passent dans l'étage inférieur et 6 dans l'étage supérieur;

Étage supérieur : 20.

Étage oolithique.

DORDOGNE. — M. Dufrénoy avait rangé dans le calcaire à gryphées arquées un calcaire compacte bleuâtre qu'on observe au-dessus des calcaires magnésiens formant la base des terrains jurassiques dans le sud-ouest de la France, par exemple auprès de Terrasson, dans le département de la Dordogne.

M. Harlé (2) a fait voir que la couche calcaire en question repose sur le lias supérieur parfaitement caractérisé par ses fossiles

(1) Metz, 1864.
(2) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 33.

et que la gryphée qu'elle contient n'est autre que l'O. Buckmanni ou O. Sublobata, Desh., qui s'y trouve accompagnée des Bel. unicanaliculatus et B. abbreviatus, c'est-à-dire que ce calcaire se place à la base de l'oolithe.

M. Harlé cite la côte de Turenne (Corrèze), comme l'un des endroits où l'on peut le mieux observer la position de la couche d'huîtres. On y remarque la succession suivante :

Oolithe.
Banc à Ostrea sublobata.
Marnes à Belemnites irregularis.
Marnes à Belemnites tripartitus, Amm. bifrons.
Marnes et calcaires liasiens à Ostrea cymbium, Pecten æquivalvis.

ARDÈCHE. — La distribution des ammonites dans l'oxfordien de l'Ardèche a été étudiée par M. Oppel (1), qui a distingué, dans les environs de Valence, sept horizons principaux :

Oxford-clay.	Zone de la Terebratula impressa.
	— l'Ammonites transversarius
	— Amm. Cordatus.
	— Amm. Lamberti.
Kelloway-rock.	— Amm. Athleta.
	— Amm. Anceps.
	— Amm. Macrocephalus.

HANOVRE. — M. H. Credner (2) supprime en Hanovre l'étage corallien et fait de la zone à cidaris florigemma son oxfordien supérieur. Cet auteur a découvert, dans le terrain jurassique du Hanovre, une couche qui, par la nature de ses restes organiques, mérite d'être considéréc comme un véritable horizon; elle sépare les couches à melania heddingtonensis et echinobrissus scutatus des couches à cidaris florigemma, et consiste en une assise de $0^m,25$ d'argile marneuse grossièrement oolithique, où l'on rencontre des fossiles remarquablement bien conservés, parmi lesquels : chemnitzia subulata, cerithium limæforme, astarte rotundata; mais l'espèce dominante est l'opis similis, Phill., qui y est assez fréquente pour que M. Credner propose de donner à la couche le nom de zone à opis similis : cette espèce caractériserait donc l'oxfordien moyen.

(1) *Palæontologische Mitth.* IV et V.
(2) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 157.

Russie. — M. Trautschold (1) a poursuivi le cours de ses études sur le terrain jurassique des environs de Moscou, études dont la Revue a déjà fait mention plusieurs fois (2).

Dans le principe, cet auteur avait établi que les couches jurassiques de Moscou, au lieu de représenter exactement l'oxfordien, comme l'avait pensé d'Orbigny, contenaient des fossiles de l'oolithe inférieure, du bathonien, du callovien et de l'oxfordien. Depuis il y a retrouvé des fossiles kimméridiens, et tout en signalant l'impossibilité absolue où l'on est de déterminer avec précision la concordance de ce terrain avec les assises jurassiques de l'Europe occidentale, il pense qu'il doit être considéré plutôt comme représentant la partie supérieure du Jura brun et le Jura blanc des Allemands.

C'est aussi l'opinion de M. Oppel, qui le fait aller de l'oxfordien supérieur au Purbeck.

Toutefois il faut reconnaître que certains fossiles des environs de Moscou sont calloviens; quelques-uns même, tels que ammonites amaltheus, rhynchonella furcillata, etc., portent le caractère du lias et de l'oolithe inférieure.

On est donc forcé d'admettre qu'à des distances comme celle qui sépare la Russie des pays de l'Occident, les lois ordinaires de la paléontologie subissent des modifications essentielles; car les couches de Moscou sont intimement liées les unes aux autres, et leur faible épaisseur ne permet pas de supposer que toute la série jurassique y soit représentée.

Du reste, le Jura moscovite est presque exclusivement composé d'argiles, ce qui a dû exercer une grande influence sur la nature de la faune; à un seul instant, l'élément calcaire prédomine, et immédiatement la faune devient luxuriante, comme on peut le voir à Moscou et à Ssimbirsk.

En résumé, M. Trautschold pense qu'on peut admettre, sans s'exposer à de trop grandes erreurs, que le callovien est représenté à Moscou par les couches inférieures à gryphées, l'oxfordien par les couches moyennes et supérieures, le kimméridien par les couches à Amm. virgatus et à Aucella, et le portlandien par les couches à inocérames de Ssimbirsk.

En outre, il combat l'opinion de M. Eichwald, qui a essayé de rapporter ces dernières couches au terrain crétacé, sous prétexte qu'elles sont constituées par une sorte de grès vert et qu'elles contiennent un rudiste. Or M. Trautschold a étudié ce prétendu rudiste, et il le regarde comme un polypier; de plus, il pense que les autres déterminations d'espèces sur lesquelles M. Eichwald s'était fondé ne sont pas suffisamment certaines.

(1) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 448.
(2) *Revue de Géologie*, II, 209; — III, 351.

Sur la délimitation de l'étage corallien.

Quelle est, au juste, la signification géologique du mot corallien? Désigne-t-il un étage bien défini dans la série jurassique, ou bien n'est-ce qu'un faciès particulier qui a pu se reproduire à différentes époques dans cette série?

Telle est la question que le docteur Waagen (1) s'est proposé de résoudre, et pour y arriver il a, en consultant les divers auteurs, dressé le tableau suivant:

(1) *Essai d'une classification générale du Jura supérieur*. Munich, 1865.

	ANGLETERRE.	FRANCE.	SUISSE.	SOUABE.	FRANCONIE.	
Groupe kimméridien.					Schistes de Solenhofen.	
				Schistes lithographiques de Nusplingen.	**Corallien** de la Franconie avec Diceras arietina.	
	Portland stone. Portland sand.	Calcaires portlandiens de Boulogne et de Forges-les-Eaux.	**Corallien** de Cirin.		Dolomie corallienne.	
Horizon des schistes de Solenhofen.	Kimmeridge-clay supérieur.	Kimméridien supérieur de Boulogne.	Calcaire à nérinées de Neufchâtel.	**Corallien** de Nattheim.	Calcaire à Scyphia.	
Zone des Ammonites nutabilis et Pteroceras oceani.	Argile de Kimmeridge à Ostrea virgula.	Couches à Ptérocères de Boulogne et du Havre.	Etages virgulien et strombien.	Calcaire à Scyphia.		
Zone des Amm. tenuilobatus et Rhynchonella inconstans.	Kimmeridge-clay inférieur.	**Corallien** de la Rochelle (Séquanien de l'Est).	Astartien.			
Groupe oxfordien.					Schistes de Streitberg.	
Zone des Amm. binammatus et Cidaris florigemma.	Calcareous grit supérieur. Oolithe d'Oxford (coral-rag).	Calcaire à trigonies de laÈve.	**Corallien** de Marcou et des géologues suisses.	Calcaires et schistes de Lochen.		
Zone des Amm. transversarius et Amm. Martelli.	Calcareous grit inférieur.	Calcaire gris de Trouville.	**Corallien** de Thurmann.	Argile.	Argile grise et lits glauconieux.	
Zone des Amm. biarmatus.	Oxford-clay supérieur.	Argile des Vaches noires.	Marnes oxfordiennes.	Schistes noduleux à Amm. Lamberti.		

Il résulte de ce tableau que le faciès corallien peut se trouver à tous les niveaux depuis l'oxfordien jusqu'au sommet du kimméridien. Pour conserver l'étage corallien de d'Orbigny, il faudrait donc le constituer aux dépens de ces deux formations. M. Waagen préfère le sacrifier en plaçant la limite des deux groupes entre le niveau du cidaris florigemma et celui des astartes.

Limite supérieure du terrain jurassique.

JURA. — Les assises supérieures de la formation jurassique du Jura, et spécialement les couches lacustres qui la surmontent, étudiées déjà par MM. Lory, Jules Marcou et Pidancet, l'ont été de nouveau par MM. Jaccard et de Loriol (1) à Villers-le-Lac (Doubs). Voici les conclusions de leur travail :

1° Les dolomies portlandiennes du Jura sont l'équivalent du plattenkalk du Hanovre, des calcaires en plaquettes des Charentes, des calcaires gris verdâtres inférieurs et oolithes vacuolaires de M. Cornuel; elles n'appartiennent pas au portlandien, et forment la base du purbeckien.

2° Les calcaires et les marnes d'eau douce de Villers et du Jura sont l'équivalent des « mündener mergeln » et du « serpulit » du Hanovre, et des argiles gypsifères de la Charente.

3° Il est certain que la formation d'eau douce infra-crétacée de Villers et du Jura est l'équivalent des purbeck-beds de l'Angleterre, dont elle représenterait la partie moyenne et la partie inférieure.

4° Il n'y a aucune discordance de stratification, soit entre les couches du purbeck et les calcaires marins jurassiques supérieurs, soit entre les couches du purbeck et les premières couches crétacées.

Conformément à ces idées, MM. Jaccard et de Loriol ont formé le tableau suivant :

(1) Genève, 1865.

	ANGLETERRE.	FRANCE.	SUISSE.	SOUABE.	FRANCONIE.	
Calcaire de Portland et zone de la Trigonia gibbosa.	Portland stone. Portland sand.	Calcaires portlandiens de Boulogne et de Forges-les-Eaux.	**Corallien** de Cirin.			
Horizon des schistes de Solenhofen.	Kimmeridge-clay supérieur.	Kimméridien supérieur de Boulogne.	Calcaire à nérinées de Neufchâtel.	Schistes lithographiques de Nusplingen.	Schistes de Solenhofen. **Corallien** de la Franconie avec Diceras arietina.	Groupe kimméridien.
Zone des Ammonites nutabilis et Pterocera oceani.	Argile de Kimmeridge à Ostrea virgula.	Couches à Ptérocères de Boulogne et du Havre.	Etages virgulien et strombien.	**Corallien** de Nattheim.	Dolomie corallienne.	
Zone des Amm. tenuilobatus et Rhynchonella inconstans.	Kimmeridge-clay inférieur.	**Corallien** de la Rochelle (Séquanien de l'Est).	Astartien.	Calcaire à Scyphia.	Calcaire à Scyphia.	
Zone des Amm. bimammatus et Cidaris florigemma.	Calcareous grit supérieur. Oolithe d'Oxford (coral-rag).	Calcaire à trigonies de la Lève.	**Corallien** de Marcou et des géologues suisses.	Calcaires et schistes de Lochen.	Schistes de Streitberg.	Groupe oxfordien.
Zone des Amm. transversarius et Amm. Martelli.	Calcareous grit inférieur.	Calcaire gris de Trouville.	**Corallien** de Thurmann.	Argile.	Argile grise et lits glauconieux.	
Zone des Amm. biarmatus.	Oxford-clay supérieur.	Argile des Vaches noires.	Marnes oxfordiennes.	Schistes noduleux à Amm. Lamberti.		

Il résulte de ce tableau que le faciès corallien peut se trouver à tous les niveaux depuis l'oxfordien jusqu'au sommet du kimméridien. Pour conserver l'étage corallien de d'Orbigny, il faudrait donc le constituer aux dépens de ces deux formations. M. Waagen préfère le sacrifier en plaçant la limite des deux groupes entre le niveau du cidaris florigemma et celui des astartes.

Limite supérieure du terrain jurassique.

JURA. — Les assises supérieures de la formation jurassique du Jura, et spécialement les couches lacustres qui la surmontent, étudiées déjà par MM. Lory, Jules Marcou et Pidancet, l'ont été de nouveau par MM. Jaccard et de Loriol (1) à Villers-le-Lac (Doubs). Voici les conclusions de leur travail :

1° Les dolomies portlandiennes du Jura sont l'équivalent du plattenkalk du Hanovre, des calcaires en plaquettes des Charentes, des calcaires gris verdâtres inférieurs et oolithes vacuolaires de M. Cornuel; elles n'appartiennent pas au portlandien, et forment la base du purbeckien.

2° Les calcaires et les marnes d'eau douce de Villers et du Jura sont l'équivalent des « mündener mergeln » et du « serpulit » du Hanovre, et des argiles gypsifères de la Charente.

3° Il est certain que la formation d'eau douce infra-crétacée de Villers et du Jura est l'équivalent des purbeck-beds de l'Angleterre, dont elle représenterait la partie moyenne et la partie inférieure.

4° Il n'y a aucune discordance de stratification, soit entre les couches du purbeck et les calcaires marins jurassiques supérieurs, soit entre les couches du purbeck et les premières couches crétacées.

Conformément à ces idées, MM. Jaccard et de Loriol ont formé le tableau suivant :

(1) Genève, 1865.

Groupe Purbeckien.	Sous-groupe des calcaires d'eau douce : 5m,55.	Corbula Forbesiana, Chara Jaccardi, Planorbis Loryi, Physa Wealdiana, Valvata heliciformis.
	Sous-groupe des marnes gypsifères : 4m,50.	Gypse.
	Sous-groupe des dolomies dites portlandiennes : 12m,50.	Corbula inflexa.
Groupe Portlandien.	Sous-groupe supérieur : 12m,00.	Thracia, Anatina.
	Sous-groupe moyen : 25m,00.	Emys Jaccardi, Lepidotus lævis, Natica Marcousana, Nerinea subpyramidalis, Trigonia gibbosa.
	Sous-groupe inférieur : 20m,00.	Nérinées.
Ptérocérien ou Kimméridien à O. virgula.		

Étage tithonien.

— M. Oppel (1) a cherché à préciser les caractères des couches de jonction du Jura et de la craie dans les Alpes en s'appuyant sur l'étude des céphalopodes : pour plus de commodité, il donne à l'ensemble des couches le nom d'étage tithonien, repoussant les noms de Purbeck, de Solenhofen, de Portland, qui ne sont que des équivalents partiels.

Pour la comparaison, il choisit les couches kimméridiennes à Amm. lallierianus, Amm. longispinus, A. mutabilis et les couches néocomiennes à A. grasianus, A. semisulcatus, A. neocomiensis, A. astierianus.

Il range ainsi dans l'étage tithonien les couches calcaires de la Porte de France à Grenoble, les calcaires rouges à ammonites de Trente et de Roveredo (faussement rapportés à l'oxfordien parce qu'on avait confondu Amm. Silesianus Opp. avec Amm. Zignodianus, et Amm. Volanensis Opp. avec Amm. athleta), puis les marbres du Haselberg dans les Alpes bavaroises. L'étage s'étendrait ensuite dans le Dauphiné, se retrouverait dans la province de Constantine, près de

(1) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 535.

Batna, enfin comprendrait, dans l'Est, les formations devenues célèbres sous les noms de Klippenkalk et de Stramberger-kalk.

Ensuite M. Oppel énumère et discute 117 espèces de céphalopodes venant de Rogosnik (Gallicie), Teschen (Silésie), Stramberg (Moravie), Trente, Roveredo (Tyrol), Ruchpolting (Alpes bavaroises), Solenhofen, Neuburg (Jura bavarois), Chambéry (Savoie), Grenoble (Isère), Boulogne (Pas-de-Calais), et Portland (comté de Dorset).

M. Oppel trouve, en résumé, que les céphalopodes de l'étage tithonien présentent la plus grande affinité, tant avec ceux du Jura qu'avec ceux du néocomien; et il pense que l'affinité avec le Jura paraîtrait plus frappante encore si la faune du portlandien et des couches équivalentes des Alpes était aussi bien connue que celle du néocomien.

« Enfin, dit-il en terminant, il est tout aussi peu possible de séparer l'étage tithonien du terrain jurassique que de séparer l'étage rhétien du trias. »

TERRAIN CRÉTACÉ INFÉRIEUR.

ALPES. — M. Pictet (1) reconnaît huit faunes distinctes dans le terrain crétacé inférieur des Alpes suisses et du Jura.

1° Faune du gault supérieur.
2° — du gault moyen et inférieur.
3° — de l'Aptien supérieur (grès vert de Sainte-Croix et Fleurier).
4° — de l'Aptien inférieur (marnes de Sainte-Croix et Presta).
5° — de l'Urgonien supérieur (calcaire blanc à chama ammonia).
6° — de l'Urgonien inférieur (calcaire jaunâtre).
7° — du néocomien moyen (marnes de Hauterive et roche jaune de Neufchâtel).
8° — du Valangien (calcaires néocomiens inférieurs, minerai de fer et marnes à bryozoaires).

Ces faunes se distinguent si nettement les unes des autres dans le bassin de Sainte-Croix, que M. Pictet admet qu'elles sont le fruit d'un renouvellement complet des espèces, tandis que les genres restent à peu près les mêmes : ce renouvellement ne se serait pas opéré sur place, mais devrait être attribué à une immigration par rayonnement venant de points éloignés.

(1) *Archives des Sciences physiques et naturelles*. Genève, 1864.

ALLEMAGNE DU NORD. — M. H. Credner (1) a étudié les brachiopodes du *hils* néocomien du nord de l'Allemagne; il y a reconnu les espèces suivantes.

Rhynchonella depressa, Terebratula biplicata, Ter. moutoniana, T. faba, T. tamarindus, T. hippopus, Terebratella oblonga; Thecidium tetragonum, Crania irregularis.

HANOVRE. — Le gault, dont l'existence en Allemagne, d'abord mise en doute, a été prouvée par divers géologues, notamment par M. de Strombeck (2), apparaît en plusieurs points du royaume du Hanovre. M. H. Credner (3) l'a reconnu, entre autres, au Lindener Berg, où il est représenté par les couches à ancyloceras, l'argile de Speeton et les marnes de Gargas, et à Gretenberg, où l'on trouve les marnes de Gargas à amm. nisus, les argiles à amm. milletianus. celles à amm. tardefurcatus et à Bel. minimus.

L'auteur est d'avis que les couches à ancyloceras doivent rester dans le gault, dont elles seraient l'assise la plus inférieure, tandis que M. de Strombeck les avait fait rentrer dans le néocomien. Mais il est assez singulier que M. Credner, pour justifier sa conclusion, invoque l'analogie du gault du Hanovre avec le gault français, alors qu'en France tous les géologues sont d'accord pour séparer de cet étage les couches à ancyloceras.

TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

IRLANDE. — D'après M. Tate (4), la formation crétacée du nord-est de l'Irlande se divise en deux étages : la craie supérieure et le grès vert irlandais.

La craie supérieure correspond, d'après l'auteur, à la craie de Meudon, et se divise en trois zones :

La zone supérieure, formée par un calcaire blanc, avec Amm. Gollevillensis, Rhynchonella octoplicata, Tereb. carnea, Ananchytes ovata, Belemnitella mucronata, Holaster pilula.

La zone à spongiaires, avec Ventriculites radiatus, Etheridgia mirabilis, Cephalites.

La zone à ananchytes, formée d'une craie glauconieuse avec Ananchytes gibbus et Echinoconus conicus.

(1) *Zeit. d. d. G.*, 1864, 542.
(2) *Revue de Géologie*, II, 213.
(3) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 232.
(4) *Geol. Society*, 1865, 15.

La craie à spondylus spinosus et les couches à inoceramus problematicus ne sont pas représentées en Irlande, et l'on arrive de suite au grès vert irlandais (Hibernian greensand), divisé en 4 zones.

1° En haut, sables et grès glauconieux, ou zone de l'Exogyra columba, avec Inoceramus striatus, Corax falcatus, Trigonia Dædalea, Amm. Lewesiensis, Ptychodus mamillaris, Anatina Royana, Exogyra laciniata.

2° Sables glauconieux, ou zone de l'Inoceramus Crispi, avec Pleurotomaria perspectiva, Cidaris vesiculosa, Ostrea flabelliformis, O. canaliculata, etc.

3° Marnes grises et grès jaunâtres avec silex, ou zone de l'Ostrea carinata, avec Pecten æquicostatus, Exogyra haliotidea, Ditrupa deformis, Micraster distinctus, Discoidea subuculus.

4° Sables glauconieux, légèrement argileux, ou zone de l'Exogyra conica, avec Pecten asper, Pecten quinquecostatus, P. Dutemplei, Myacites mandibula, Amm. varians.

Ces quatre zones correspondent à l'étage cénomanien des géologues français. Il convient toutefois d'observer que la zone à Ex. columba et celle à Inoc. Crispi n'étant jamais en contact en Irlande, leur ordre de superposition a été fixé arbitrairement.

ANGLETERRE. — M. Whitaker (1) a entrepris une série d'études sur la craie d'Angleterre. Son attention s'est d'abord portée sur l'île de Thanet, où la craie forme deux étages; le plus élevé, celui de Margate, contenant peu de nodules siliceux, présente des fentes bien marquées, dirigées N.-O. — S.-E.

L'étage inférieur, ou de Broadstairs, est moins fissuré, et possède plusieurs lits continus de silex.

Il est à remarquer que, dans le voisinage, les couches dites de Thanet sont en stratification concordante avec la craie, les nodules siliceux à enduit verdâtre qui forment leur assise inférieure reposant sur un lit caractéristique de silex tabulaire situé au sommet de la craie.

Dans le comté de Buckingham, M. Whitaker distingue 7 divisions, qui sont, de haut en bas :

1. Craie à silex.
2. « Chalk rock » ou lit dur avec nodules à enduit verdâtre.
3. Craie blanche sans silex.

(1) *Geol. Society*, 1865, 5 avril.

4. Craie blanche dure sans silex.
5. Craie blanche marneuse, sans silex.
6. « Pierre de Totternhoe » généralement deux couches de craie sableuse brune, avec des grains foncés.
7. Craie marneuse avec quelques lits durs.

Enfin, dans l'île de Wight, la division entre la craie à silex et la craie sans silex est marquée par une couche caractéristique, appelée « chalk rock, » couche dure, mince, couleur de crème, avec des nodules irréguliers à enduit verdâtre.

YONNE. — La craie du département de l'Yonne, déjà étudiée par divers observateurs, notamment par M. Hébert, l'a été avec détails, dans le canton de Saint-Fargeau, par M. Péron (1). Voici les principaux résultats de ce travail :

1° On trouve à Saint-Fargeau l'étage cénomanien inférieur au rothomagien de Coquand.

2° La partie supérieure, connue sous le nom de marnes à ostracées (étage carentonien), ne s'y trouve pas.

3° Il serait inutile de rechercher dans l'Yonne les divers horizons du Pecten asper, du Pygurus lampas, etc. : ces subdivisions n'ont qu'un caractère local et ne se retrouvent pas dans la craie glauconieuse de ce département.

4° Au-dessus de l'étage cénomanien inférieur vient, à Saint-Fargeau, la craie marneuse à Inoceramus labiatus, qui serait plus convenablement désignée, dans ce district, sous le nom de craie à Echinoconus subrotundus.

5° Enfin, cette assise est surmontée par la craie à micraster cortestudinarium et la craie blanche à Belemnitella mucronata.

HAUTE-GARONNE. — On sait que M. Leymerie a créé, sous le nom de *garumnien*, un étage spécial à la région pyrénéenne, et supérieur à la craie de tous les autres bassins. Ce savant insiste sur les caractères de ce terrain, dont la partie supérieure contient une véritable *colonie* de fossiles, notamment d'oursins, tels que le micraster Matheroni, qui caractérisent, sur d'autres points, des couches crétacées bien inférieures.

En somme, d'après M. Leymerie (2), la craie ordinaire de la Haute-Garonne, qui repose sur des couches argileuses à Ananchytes ovata, Ostrea vesicularis, Rhynchonella alata, Inoceramus Cripsii,

(1) *Notice sur la Géologie du canton de Saint-Fargeau.* Savy, 1865.
(2) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 360.

correspond au type supérieur à la craie blanche qui est connue sous le nom de craie de Maestricht. Et l'étage garumnien, qui a de 200 à 300 mètres de puissance, est composé ainsi qu'il suit, de haut en bas :

1° Marnes glauconieuses avec fossiles de la colonie.
2° Calcaire compacte lithographique à gros silex.
3° Argiles bariolées avec sables et grès lignitifères, calcaires cloisonnés subcristallins et calcaires argileux troués.

ISTRIE. — M. Guido Stache (1) distingue, dans le terrain crétacé supérieur des côtes d'Istrie, deux horizons de rudistes au-dessus de la zone à caprotina ammonia ; le premier est caractérisé par le développement du genre Radiolites, tandis que les Hippurites dominent dans le second.

ASIE. — En examinant des fossiles qui proviennent de Bagh sur le Nerbudda dans l'Inde, ainsi que de Ras Fartak et de Ras Sharwên, sur la côte sud-est de l'Arabie, M. Martin Duncan (2) a reconnu la présence de l'étage cénomanien dans ces contrées. En effet, il a trouvé en Arabie : Cidaris cenomanensis, Pseudodiadema Rœmeri, Salenia personata, Holectypus cenomanensis, Hemiaster similis, Pecten quadricostatus, Pecten æquicostatus, et, à Bagh, Hemiaster cenomanensis, H. similis, Nucleolites similis, Echinobrissus subquadratus, Pecten quadricostatus, Rhynchonella depressa.

Les couches qui contiennent ces fossiles sont des schistes et des calcaires ferrugineux reposant sur des grès sans fossiles et recouverts par des calcaires blancs qui paraissent appartenir au terrain nummulitique.

JAMAÏQUE. — Le terrain crétacé est représenté, à la Jamaïque, dans la paroisse de Clarendon, par des conglomérats et des calcaires contenant des hippurites (Barrettia monilifera, Woodw.) et des polypiers, dont MM. Duncan et Wall (3) ont entrepris l'étude. Ces polypiers offrent beaucoup de ressemblance avec ceux de la craie de Gosau dans les Alpes, et des calcaires à hippurites des Martigues, des Corbières et d'Uchaux : le synchronisme de ces couches avec celles de la Jamaïque paraît donc bien établi.

Il est intéressant de voir les mêmes genres fossiles apparaître dans des régions aussi distantes que l'Europe et les Antilles.

(1) *Neues Jahrb.*, 1865, 491.
(2) *Geol. Society*, XXI, 349.
(3) *Geol. Society*, 1865, 1.

TERRAINS NÉOZOÏQUES.

TERRAIN ÉOCÈNE.

France.—M. Raoul Tournouer (1) a démontré que la faune nummulitique de Bos d'Arros, signalée depuis longtemps à Pau et à l'est de cette ville, puis reconnue dernièrement au port des Basques, près de Biarritz, par M. Eugène Jacquot, se retrouve entre ces points extrêmes dans la vallée du gave de Pau, aux environs d'Orthez.

Bavière. — M. Schafhäutl, dans une publication sur la faune des Alpes bavaroises, avait avancé qu'on trouve, dans les couches à nummulites de Kressenberg, un mélange d'espèces crétacées, jurassiques et tertiaires.

Cette assertion n'est pas admise par M. Gümbel (2); ce savant, après avoir cherché à démontrer que le plus grand nombre des espèces citées comme preuves provenaient, non pas du Kressenberg, mais de localités différentes, et qu'il n'était permis d'en tirer aucune conclusion légitime, a déclaré que les couches crétacées voisines du Kressenberg ne contiennent aucune des nummulites si abondantes dans cette montagne; et il n'a pas hésité à affirmer que là où des espèces fossiles identiques se rencontrent, dans les Alpes ou ailleurs, elles sont au même niveau géologique. Les seuls fossiles des couches à nummulites du Kressenberg qui aient un caractère crétacé appartiennent, d'après M. Gümbel, aux couches tout à fait supérieures de la craie, c'est-à-dire à celles qui d'ordinaire touchent immédiatement le terrain tertiaire; or un pareil mélange à la limite de deux formations n'a rien qui puisse surprendre.

Cependant M. Schafhäutl (3) n'a pas accepté les rectifications de M. Gümbel. Reprenant un à un les fossiles qu'il avait cités, il a maintenu ses attributions d'espèces, et il a conclu en affirmant : que les bélemnites se rencontrent dans le minerai de fer du Kressenberg; que les véritables nummulites descendent jusque dans la craie, que les orbitolites commencent à la formation du Kressenberg; que, par conséquent, dans cette région, il n'y a pas, entre les assises géologiques, de limites nettement définies, mais qu'elles passent progressivement les unes aux autres.

(1) *Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux*, 1865.
(2) *Neues Jahrb.*, 1865, 129.
(3) *Neues Jahrb.*, 1865, 769.

Anhalt. — Le gîte de lignite de Latdorf (Anhalt) a été étudié par M. d'Albert (1).

Ce gîte forme un bassin entouré par le keuper et par le grès bigarré, et qui ne paraît se relier à aucun des bassins voisins. Ce serait une formation locale, qui aurait pris naissance dans une vallée large et marécageuse, et où plus tard la mer tertiaire aurait pénétré en y déposant les couches oligocènes. Cette mer a même dû être assez profonde, car on y trouve surtout les genres Fusus, Pleurotoma, Murex et Fasciolaria.

Italie. — M. Pareto (2) a divisé en plusieurs étages le terrain éocène de l'Apennin septentrional.

A la base, il distingue l'étage *nicéen*, développé dans le comté de Nice et formé de calcaires noirâtres, de poudingues et de macignos; cet étage est caractérisé par les nummulites, et contient plus de 362 espèces fossiles, dont 112, appartenant aux acéphalés et aux gastéropodes, ont leurs représentants dans l'éocène parisien.

Au-dessus vient l'étage *ligurien*, très-pauvre en fossiles, et constitué par la grande masse du macigno : ce système, très-développé en Toscane, correspond au macigno du Lauzanier (Basses-Alpes) et au flysch de la vallée de la Saane, en Suisse.

Le dernier étage serait l'étage *modénais*, ou calcaire à fucoïdes, comprenant les *argille scagliose*, avec sel, sources de bitume et de gaz hydrogène carboné : quelques-unes de ces argiles passent au gabbro dans les environs de Conegliano, et elles sont souvent modifiées par le contact des ophiolithes.

Le changement en argille scagliose des calcaires à fucoïdes se manifeste fréquemment le long d'une ligne dirigée N. N. E.—S. S. O., qui commence près de Gênes et finit vers les vallées de Curone, de la Staffora et du Tidone, sur le versant nord de l'Apennin. Cette ligne, jalonnée par des traces de grünstein, de serpentine, par de la baryte et de la strontiane sulfatées, et par des sources salées, est presque parallèle à la direction du soulèvement principal des Alpes occidentales.

C'est à l'étage modénais que M. Pareto termine le système

(1) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 377.
(2) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 210.

éocène, parce que c'est en ce point que se manifestent les plus grands changements dans la nature des couches et dans leur disposition.

NEW-JERSEY. — Le terrain éocène se rencontre à Long-Branch et à Shark-River, dans le New-Jersey, où il est représenté par une marne. M. Conrad (1) y a trouvé Aturia ziczac et Nautilus Lamarckii, ainsi que des fruits appartenant aux genres Nipadites et Mimosites, qui attestent le caractère tropical ou semi-tropical de la flore de ces couches, et prouvent leurs relations intimes avec les bassins de lignite de Brandon et du Mississipi, où les débris des palmiers sont mélangés avec ceux des chênes.

M. Conrad pense que ces lignites font partie de ce grand étage lignitifère que M. Deshayes a signalé en Europe comme formant, à la base de l'éocène, un horizon bien déterminé avec les sables inférieurs. Du reste, six des espèces fossiles trouvées à Shark-River sont identiques avec des espèces de l'argile de Londres, et une, la Cyprina Morrisii, appartient à l'argile plastique.

JAMAÏQUE. — L'existence du terrain éocène à la Jamaïque, déjà indiquée par M. Barrett, a été confirmée par M. Duncan (2), qui s'est fondé sur l'examen des coraux fossiles, notamment sur l'existence des genres Paracyathus, Stylocœnia et Stylophora.

Étage oligocène.

Nous avons expliqué (3) pour quelles raisons M. Lyell n'avait pas cru devoir accueillir l'étage oligocène proposé par M. Beyrich; cet étage est cependant adopté aujourd'hui par un grand nombre de géologues allemands. M. de Kœnen (4) établit que c'est en Allemagne seulement que ce système est bien développé : il existe notamment à Helmstædt, près Brunswick, où on l'a atteint dans une recherche de lignite sur la mine Anna Alwina : il a fourni dans cette localité une faune de 122 espèces, parmi lesquelles : Nautilus imperialis, Murex brevicauda, Cancellaria tenuistriata, C. elongata, C. granulata, Fusus regularis, Fusus interruptus, Cassis coronata, Pleurotoma Koninckii, Terebratula grandis, Pecten corneus, Leda prisca, Lucina gracilis, Venericardia latisulca.

(1) *Americ. Journ.*, XL. 265.
(2) *Geol. Society*, 1865, 1.
(3) *Revue de Géologie*, IV, 193.
(4) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 459.

Sur les 122 espèces, 98 sont de l'oligocène inférieur, 31 de l'éocène supérieur, et 30 de l'éocène moyen.

FRANCE. — M. R. Tournouer (1) a observé le calcaire à astéries du bassin de la Garonne dans les arrondissements de la Réole et de Marmande, en établissant ses rapports avec les terrains tertiaires de l'Italie septentrionale. Suivant l'auteur, ces rapports attestent l'existence d'une zone méridionale méditerranéenne, dont on entrevoit le prolongement, par la Crimée et l'Asie Mineure, jusqu'aux couches à Nummulites intermedia et N. Garumnensis de la chaîne d'Hala, dans les Indes.

— M. Virlet (2) a trouvé dans les lignites miocènes d'Aurignac, près Bagnères-de-Bigorre, des fossiles dans lesquels M. Ed. Lartet a reconnu un Dinotherium, des dents de Rhinocéros Schleiermacheri, R. Geldfussii, Tapirus priscus, Castor Jaegeri.

Cette faune classerait les lignites d'Aurignac dans une époque un peu plus récente que les faluns de la Touraine.

TERRAIN MIOCÈNE.

DIJON. — Les travaux d'agrandissement récemment exécutés à la gare du chemin de fer de Dijon ont fourni à M. Jules Martin (3) l'occasion d'étudier les terrains qui ont été mis à découvert, ainsi que les accidents géologiques qu'ils ont subis depuis leur dépôt.

Voici comment il résume l'étude à laquelle il s'est livré.

Le conglomérat lacustre de la gare, déposé au pied d'une falaise jurassique et formé du produit de la démolition des calcaires conchoïdes du bathonien, est bréchiforme et à grands éléments au contact de cet étage. La direction des couches perpendiculaires à cette falaise y présente une inclinaison de 45° à 50°, qui contraste avec celle du reste du dépôt.

A 150 mètres, de l'ouest à l'est, les strates se rapprochent brusquement de l'horizontalité, tout en plongeant encore vers le centre du bassin; le conglomérat y est beaucoup plus vaseux, en fragments plus menus et déjà plus roulés. L'élément corallien commence à s'y montrer.

(1) *Comptes rendus*, LXI, 197.
(2) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 318.
(3) *Du terrain tertiaire de la gare de Dijon*, par Jules Martin.

Plus loin, au point où s'arrête la tranchée, le terrain, plongeant toujours dans la même direction, présente au-dessus de ces produits calcaro-vaseux des argiles ocreuses qui alternent avec eux et les surmontent, des bancs de galets de diverses grosseurs, dont le ciment d'agrégation est un sablon parfaitement pur et qui, par places, donnent naissance à des lentilles d'un calcaire grenu plus ou moins consistant.

Ces trois phases de dépôts dont les produits sont assez disparates, appartiennent cependant à une seule et même époque, comme on peut le conclure par les débris organiques que l'on y rencontre.

Parmi les espèces qui foisonnent à travers ces assises, Helix Ramondi (Brongniart) est tellement caractéristique des calcaires de la Beauce, de l'Orléanais, de Narbonne et de tout le bassin d'Aix, qu'il n'y a pas le moindre doute, suivant M. Martin, que le conglomérat de Dijon ne date de la même époque, c'est-à-dire de la partie moyenne du falunien ou du miocène supérieur.

Ces dépôts, toutefois, n'ont pas été conservés sur ce point, dans leurs relations normales avec les calcaires jurassiques au pied desquels ils se sont formés.

Une dénivellation de 40 à 50 mètres, accusée par une ligne de rupture dont les parois sont fortement usées et polies, se remarque dans l'enceinte même de la gare et se poursuit jusqu'en face du village de Fontaine. Au delà la cassure continue; mais la dénivellation, si elle existe, n'a pas semblé pouvoir être déterminée.

Cette ligne de faille, orientée N. 16° E. coïncide précisément avec la falaise qui bornait le lac Bressan de ce côté et qui n'était elle-même qu'une ancienne faille.

Elle est certainement postérieure à la formation du conglomérat, puisqu'elle en a poli la tranche et qu'elle l'a renversé dessus les calcaires bathoniens, mais on ne saurait en fixer autrement la date.

ITALIE. —D'après M. Pareto (1), le terrain miocène commence, dans l'Italie du Nord, par un système de conglomérats reposant sur les calcaires à fucoïdes, et contenant de nombreux fossiles, parmi lesquels quelques nummulites. Ces conglomérats constituent ce qu'il appelle l'étage *Bormidien*, qui atteint 1.000 mètres d'altitude au monte Maggio, près de Gênes : à cet étage appartient le bassin de Cadibona, où l'on a trouvé de nombreuses plantes fossiles.

(1) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 219.

M. Pareto est porté à croire qu'un certain nombre des couches nummulitiques du Véronais et du Vicentin devraient être rangées dans le miocène : déjà M. Mayer avait émis la même opinion. Enfin les fossiles de Castel-Gomberto et Malecchio, récemment catalogués par M. Michelotti, sont miocènes.

Le second étage miocène, ou étage *Langhien*, se compose de masses énormes de marnes sableuses grisâtres et de molasses, généralement dépourvues de fossiles; ceux qu'on trouve constituent une faune semblable à celle de la colline de Turin.

Enfin ce système est recouvert par l'étage supérieur ou *Serravallien*, formé de sables jaunes et de marnes sableuses grisâtres avec des huîtres, des peignes, des térébratules et des polypiers.

— M. Hébert (1) est plus explicite que M. Pareto sur les dépôts nummulitiques du Vicentin : au lieu de les ranger tous dans le miocène, M. Hébert y voit : au valle di Borro, l'éocène inférieur de Biarritz; à San-Giovanni Ilarione, le calcaire grossier inférieur; à Villagrande, près Ronca, le calcaire grossier supérieur et les sables moyens; à Castel-Gomberto et à Salcedo, les sables de Fontainebleau.

TERRAIN PLIOCÈNE.

Crag.

SUFOLK, ANVERS. — Le *crag* de Suffolk étant le seul représentant connu de la formation pliocène en Angleterre, on comprend l'intérêt qui s'attache à sa comparaison avec les dépôts contemporains du continent; c'est ce que M. Ray Lankester (2) a essayé de faire avec le crag d'Anvers, dont l'étude avait été rendue très-facile par les grands travaux de fortification. En comparant les mollusques fossiles, il a établi la série suivante :

Pliocène supérieur : crag rouge, crag corallien, crag supérieur d'Anvers.

Pliocène moyen : crag moyen d'Anvers.

Pliocène inférieur : crag noir d'Anvers; miocène supérieur de Bordeaux et de Vienne.

Il résulte de ce tableau que le pliocène moyen n'est pas représenté en Angleterre; mais on trouve quelquefois dans le crag rouge des débris roulés de vertébrés qui correspondent aux fossiles de

(1) *Comptes rendus*, LXI, 265.
(2) *Geol. Mag.*, II, 103, 149.

l'étage moyen d'Anvers, ainsi que des nodules de grès à Pectunculus glycimeris, coquille fréquente à Anvers. M. Lankester en conclut que le crag moyen existait en Angleterre, et qu'il a été détruit lors du dépôt du crag rouge.

— Comme nous venons de le dire, le crag rouge de Suffolk a fourni de temps en temps des débris de mammifères formant une faune d'un aspect varié; en étudiant de près ces fossiles, M. Lankester(1) a été conduit à penser qu'ils n'appartenaient pas à des animaux contemporains du crag, et qu'ils provenaient d'un remaniement de formations antérieures; il donne, comme principaux arguments en faveur de cette manière de voir :

L'improbabilité de la coexistence de plusieurs mammifères d'un facies miocène et pliocène ancien avec des mollusques qui ont bien le caractère de la fin du pliocène; la forme roulée et usée des spécimens, leur rareté et leur caractère fragmentaire; la complète minéralisation de ces fossiles, leur dureté et leur poids élevé, par opposition au facies des vrais fossiles du crag qui sont de couleur claire, non minéralisés, désagrégés et pulvérulents; la présence très-fréquente d'organismes marins de l'âge du crag, attachés aux surfaces brisées des spécimens; enfin l'existence, autour des dents, d'une gangue entièrement différente du crag rouge.

— M. Reuss (2) a étudié les foraminifères du crag d'Anvers. Sur 60 espèces déterminées avec certitude, 18 appartiennent à des espèces vivantes, 31 sont miocènes, 17 oligocènes, et une d'elles (Lagena globosa) va depuis la craie supérieure, à travers les couches tertiaires, jusque dans la création actuelle.

ITALIE. — D'après M. Pareto (3), le terrain pliocène inférieur des Apennins est formé par un ensemble de couches bien caractérisé par ses fossiles, et qu'il divise en deux sous-étages : l'étage *Tortonien* à la base, et l'étage *Plaisantin* au sommet.

Ce système est formé de marnes bleuâtres et de molasses marneuses avec Conus antiquus, Conus ventricosus, Buccinum gibbum, Turritella triplicata, T. imbricataria, Cardita Jouanneti? etc. Au-dessus se développe la formation gypseuse. Souvent, dans le Plaisantin, on trouve au sommet un banc calcaire à Pecten dubius et Terebratula ampulla.

(1) *Geol. Society*, 1865, 221.
(2) *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, XV.
(3) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 237.

Sur ce système vient l'étage *Astien*, qui semble constituer la dernière et la plus récente formation marine qui se soit déposée dans le golfe occupant l'emplacement où est aujourd'hui la vallée du Pô. Il est surtout développé dans l'Astésan, et sa faune commence à se rapprocher notablement de la faune actuelle, avec laquelle elle a 42 p. 100 d'espèces communes : les espèces qui la composent indiquent un climat chaud.

Terrain superficiel de la craie.

La surface de la craie à silex est recouverte, en France comme en Angleterre, par des dépôts qui paraissent être du terrain tertiaire remanié. Ces dépôts sont constitués par une argile à silex surmontée, en différents endroits, d'un limon servant de terre à briques. M. Codrington (1) a porté son attention sur ces terrains, qu'il a rencontrés en dirigeant la construction d'une tranchée de chemin de fer. La surface de la craie est très-irrégulière, et ses cavités sont revêtues d'une couche mince d'argile noire : leur apparence est celle qui résulterait d'une dissolution graduelle de la craie. Dans un cas où un de ces puits naturels avait traversé un lit tabulaire de silex, les fragments de silex s'étendaient, comme on l'a constaté depuis longtemps, d'une paroi à l'autre, à travers la cavité tout entière. D'après M. Codrington, tous les faits observés semblent indiquer un affaissement tranquille des couches à silex devrait superficielles de la craie en dissolution. Ainsi, l'origine de l'argile être attribuée à une dissolution graduelle de la craie s'accomplissant sous une couverte de terre à briques diluvienne.

Cette conclusion est aussi celle à laquelle sont arrivés les membres du Geological Survey.

TERRAINS POST-TERTIAIRES.

Formations diluviennes.

Rivages élevés.

On sait que les Anglais ont donné le nom de *rivages élevés* (*raised beaches*) à des formations de galets qu'on rencontre en divers points des falaises de la Manche, et qui sont à un niveau su-

(1) *Geol. Mag.*, II, 504.

périeur à celui des plus hautes marées. Parmi les nombreuses localités qui offrent des exemples de ce phénomène, il faut citer le petit port de Sangatte, près de Calais. M. Prestwich (1) l'a visité récemment, et il a reconnu, au milieu des galets et des sables, des morceaux de chert qu'il suppose appartenir aux couches crétacées inférieures; en outre, on y trouve des fragments de roches de la série oolithique du Boulonnais et deux galets de granite rouge, venant probablement du Cotentin. Il croit pouvoir conclure de ces faits que le canal était ouvert à l'ouest et s'étendait déjà entre la France et l'Angleterre avant la période du dépôt des graviers des vallées.

Au-dessus du raised beach de Sangatte, apparaît une masse de galets de craie et de silex avec couches de limon, ayant de 5 à 25 mètres, et contenant des coquilles terrestres. M. Prestwich regarde ces couches comme l'équivalent du loess.

Distribution des dépôts diluviens.

Angleterre et France. — M. Prestwich (2) a encore publié récemment un travail d'ensemble sur la position géologique des graviers diluviens à silex travaillés ainsi que sur le loess du sud-est de l'Angleterre et du nord-ouest de la France. Il croit que la production des graviers diluviens à silex peut s'expliquer par la simple action fluviatile, en supposant seulement qu'elle avait plus d'intensité autrefois que de nos jours, et que certaines causes imprimaient périodiquement aux rivières un caractère torrentiel. En tout cas, les agents auxquels est dû le transport des éléments de ces graviers auraient fait sentir leur action dans les mêmes bassins hydrographiques que ceux où coulent les rivières actuelles. Ainsi le granite ne se rencontre, dans la vallée de la Seine, qu'après sa jonction avec la vallée de l'Yonne, et les roches paléozoïques des Ardennes se trouvent dans le lit de l'Oise et jamais dans celui de la Somme.

M. Prestwich distingue deux sortes de dépôts : ceux des niveaux élevés, et ceux qui occupent le fond des vallées. Les premiers contiennent des coquilles fluviatiles et des blocs peu roulés qui ont de grandes dimensions; les couches y sont très-contournées; l'examen des fossiles indique un climat plus rigoureux que celui d'aujourd'hui.

(1) *Geol. Society*, XXI, 440.
(2) *Phil. Trans.*, 1864, II.

Les graviers des vallées contiennent des galets plus roulés; leur stratification est plus régulière; le climat indiqué par les fossiles paraît avoir été à peu près le même que pour les dépôts élevés.

C'est dans ce climat assez rigoureux que l'auteur voit la cause des puissantes actions érosives dont les vallées portent la trace. La neige et la glace en fondant devaient entraîner une grande quantité de matières solides et dégrader les rives avec énergie. En outre cette action a dû se combiner avec un soulèvement graduel, attesté par les rivages élevés (*raised beaches*) qu'on observe sur les côtes de France et d'Angleterre.

Enfin, tout en reconnaissant que l'état actuel de la science ne permet pas de se faire une idée précise du temps qu'il a fallu pour le creusement des vallées, M. Prestwich déclare cependant qu'il est nécessaire de reculer beaucoup l'époque de l'apparition de l'homme sur la terre.

Le travail de M. Prestwich est accompagné de cartes indiquant la position du loess, des graviers et du limon aux environs d'Abbeville et d'Amiens, ainsi que d'une carte d'ensemble indiquant les routes parcourues par les galets des diverses formations géologiques dans les vallées de la Seine, de l'Yonne, de l'Oise, de l'Aisne, de la Somme pour la France, et dans celles de l'Ouse, de la Waveney et la Tamise pour l'Angleterre.

— M. N. de Mercey (1) a étudié les dépôts diluviens des bassins de la Seine et de la Somme. Il y distingue deux périodes successives, qui sont, en commençant par la plus ancienne :

I. — Période des cailloux roulés, mélangés de sable aigre et souvent surmontés de sable gras (Saint-Acheul, Moulin-Quignon, Menchecourt). Les sables contiennent des coquilles fluviatiles et terrestres; et c'est dans ces dépôts qu'on trouve, avec les ossements de mammifères, la plupart des silex taillés. Ces dépôts seraient le correspondant exact du diluvium gris.

II. — Période de l'alluvion ancienne :

1° Dépôt du diluvium rouge à cailloux brisés, pénétrant, sous forme de puits, dans les cailloux roulés.

2° Dépôt du loess ou limon des plateaux, recouvrant toutes les formations précédentes et suivant M. de Mercey, produit peut-être par des eaux en rapport direct avec la mer, comme le pense M. Hébert.

(1) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 75.

ALLEMAGNE DU NORD.—Il a déjà été question dans cette revue (1) des travaux de divers géologues sur le diluvium du nord de l'Allemagne. Aux noms déjà cités il convient d'ajouter celui de M. Kunth (2), qui s'est préoccupé surtout de l'étude des fossiles contenus dans les sables et dans les galets diluviens. Ces fossiles proviennent des environs de Berlin, notamment de Tempelhof, où le diluvium est exploité pour divers usages.

Les coquilles siluriennes appartiennent aux calcaires à chonetes de Gothland; elles sont remarquables par leur état de conservation.

Le Jura est représenté par des espèces du lias et du callovien, qu'on trouve en place en Courlande et en Poméranie. L'ammonites Jason, l'Exogyra virgula, la Trigonia clavellata sont au nombre des fossiles recueillis.

Enfin on y rencontre des espèces de la craie de la Baltique ainsi que des fossiles tertiaires.

Les coquilles diluviennes les plus fréquentes à Tempelhof sont: Paludina diluviana, Valvata piscinalis, Pisidium amnicum, Mactra solida.

ITALIE. — Les terrains post-pliocènes de l'Italie du Nord ont été divisés par M. Pareto (3) en deux étages :

A la base, l'étage *villafranchien*, à Tetralophodon arvernensis, Loxodon meridionalis, L. antiquus ;

Et l'étage *arénéen* (du bourg d'Arena, sur le Pô), caractérisé par Elephas primigenius, Bos priscus, Ursus spelæus, Felis spelæus.

Au-dessus de ce terrain il place les dépôts de l'époque glaciaire ou erratique, qu'il divise en trois étages :

1° Un dépôt de petits cailloux et d'argiles ou marnes (diluvium);

2° Un dépôt de gros blocs et de cailloux (erratique);

3° Un dépôt superficiel d'argile rougeâtre plus ou moins sableuse (loess ou lehm).

— Le terrain diluvien des environ de Rome a été étudié par MM. Bleicher et de Verneuil (4), qui ont été frappés de la similitude qu'il présente avec les dépôts diluviens de la région parisienne : on y retrouve le même arrangement des matières, et jusqu'aux lits de sable à coquilles fluviatiles et terrestres semblables à ceux de Saint-Acheul, Joinville, etc. Il est remarquable que ces dépôts diluviens soient recouverts d'une formation de ponce très-différente du tuf ponceux pliocène qui leur sert de base; les volcans du Latium ont donc conservé leur activité quelque temps encore après la période diluvienne.

(1) *Revue de Géologie*, IV, 201.
(2) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 311.
(3) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 270.
(4) *Bulletin de la Société géologique*, XXII, 519.

CANADA.—D'après M. Dawson (1), les dépôts post-pliocènes sont représentés, dans le bas Canada, par la série suivante :

1° Sables et graviers superficiels (sables à saxicaves);

2° Argile à Leda (argile de Champlain);

3° Argile à cailloux (Boulder-Clay).

Ces couches occupent une vaste étendue et s'élèvent jusqu'à plus de 150 mètres d'altitude dans la vallée du Saint-Laurent.

Le sable à saxicaves est un dépôt de basses eaux, présentant l'aspect d'une succession de terrasses.

L'argile à Leda est composée de matériaux empruntés surtout aux schistes rouges et gris du groupe de Québec. Son fossile caractéristique est la Leda truncata, coquille arctique qui n'existe plus aujourd'hui dans le golfe du Saint-Laurent.

Enfin le Boulder-Clay est associé à ces dépôts dans toute leur étendue. M. Dawson le considère, non comme une couche continue, occupant une place spéciale dans la série post-pliocène, mais comme un dépôt entièrement marin, résultant de l'action locale des glaces flottantes, et se produisant encore de nos jours, comme il en donne différents exemples.

Quant aux roches striées du lac Huron et du Labrador, où MM. Logan et Hind avaient cru reconnaître l'action des glaciers terrestres, M. Dawson, tout en admettant que la température du Canada, à l'époque post-pliocène, était plus basse qu'aujourd'hui, ne croit pas qu'il ait pu être couvert par une calotte glaciaire continue. Il pense que la plupart des stries observées sont dues à des glaces flottantes; et ce que l'on a déjà régardé comme des moraines serait probablement des plages de galets et d'anciens rivages couverts de cailloux. Des études récemment faites dans le détroit de Belle-Isle, entre Terre-Neuve et la côte de Labrador, ont montré que le pouvoir d'érosion des montagnes flottantes de glace, aidé par les courants marins, est énorme et produit des effets bien supérieurs à ce que pourrait faire un glacier.

(1) *Geol. Mag.*, II, 561.

L'étude des plantes post-pliocènes recueillies dans les nodules de l'argile, en compagnie de la Leda truncata, a conduit M. Dawson à cette conclusion, que l'été devait être moins chaud pendant la période post-pliocène. Pour rendre compte de cette diminution, il suffit d'ailleurs d'imaginer une certaine dépression du sol, réduisant la surface de la terre ferme, combinée avec un changement dans la distribution des courants de glaces flottantes.

— Une autre classification des terrains diluviens du même pays est celle du *Geological Survey* du Canada, qui distingue les groupes suivants :

I.

Marne coquillière, tuf calcaire, tourbe. — Ocre; minerai de fer des marais et minerai de manganèse. — Alluvions modernes.

II.

CANADA OCCIDENTAL.		CANADA ORIENTAL.
1	Sables d'Algoma. Gravier d'Artemisia. Argile d'eau douce de la rivière Saugeen, et sable.	2 Sables de Saint-Maurice et Sorel. Argiles à saxicaves de Montréal. Sable supérieur et gravier de Beauport. Argile supérieure de Champlain et sable de Vermont.
2	Argile d'Érié.	1 Argile à Leda du Saint-Laurent et d'Ottawa. Sable coquillier inférieur de Beauport. Argile inférieure de Champlain de Vermont.

III.

Diluvium glaciaire ou formation de cailloux (boulder).
Diluvium aurifère du Canada oriental.

Les argiles d'Érié et de Saugeen paraissent appartenir à un bassin distinct et être, en partie au moins, des dépôts d'eau douce, de sorte qu'il est jusqu'à présent impossible de préciser leur rapport avec les divisions du diluvium stratifié du Canada oriental et de Vermont.

MICHIGAN. — M. Winchell (1) a trouvé dans le Michigan, au milieu d'un diluvium qui repose sur le terrain carbonifère, un grand nombre de gros blocs d'un calcaire que ses caractères minéralogiques, aussi bien que ses fossiles, obligent à rapporter au calcaire cornifère (corniferous limestone) : or ces blocs sont bien plus gros que tous ceux du diluvium, et ils sont les seuls de cette taille; il paraît donc impossible qu'ils aient été transportés là autrement que par une action spéciale.

D'un autre côté, l'affleurement le plus voisin du Corniferous est dans l'Indiana et l'Ohio : il semble donc qu'il y ait eu là un lac, que des glaces aient empâté l'affleurement et l'aient flotté vers le nord, c'est-à-dire dans un sens opposé à celui de la plupart des courants diluviens ou glaciaires constatés en Amérique. Ce fait mérite de faire réfléchir, surtout si on le rapproche de la direction que prendrait le courant du Gulf-Stream dans le cas où le continent américain viendrait à s'abaisser sous les eaux.

(1) *Americ. Journ.*, XL, 331.

LITHOLOGIE.

La lithologie ou l'étude des roches est chaque année l'objet d'un grand nombre de travaux dont la connaissance offre de l'intérêt à toutes les personnes qui s'occupent de géologie. Comme les années précédentes nous allons en donner un résumé sommaire, nous attachant d'une manière spéciale à faire connaître les nouvelles analyses de roches.

Les principaux éléments de ce résumé ont été empruntés au *Jahresbericht der Chemie* publié pour l'année 1865 par MM. Heinrich Will, C. Bohn et Th. Engelbach, au *Neues Jahrbuch der Mineralogie* de MM. G. Leonhard et Bruno Geinitz, ainsi qu'aux autres recueils périodiques qui traitent de minéralogie et de géologie.

Pour comparer les analyses nouvelles des roches avec celles qui ont été faites antérieurement, il convient d'ailleurs de consulter l'ouvrage de M. J. Roth, intitulé *Gesteins Analyse*, ou bien de se reporter aux volumes précédents de la *Revue de Géologie*.

— Parmi les ouvrages nouveaux qui s'occupent spécialement de l'étude des roches, mentionnons l'important traité de géologie de M. G. Bischof (1) dans lequel la science est surtout envisagée au point de vue du physicien et du chimiste. Mentionnons aussi la 2e édition du *Manuel de Géologie* de M. Leymerie (2), le Bulletin du laboratoire de chimie de M. Ch. Mène (3) qui donne un assez grand nombre d'essais chimiques.

Indiquons encore les leçons de minéralogie de M. N. de Koksharow (4) qui sont un complément de ses matériaux pour la minéralogie de la Russie. Dans cette nouvelle publication M. N. de Kokscharow se propose surtout de répandre en Russie la méthode cristallographique du savant professeur C. Fr. Naumann de Leipsick.

M. Léon Lalanne (5) vient de publier une édition nouvelle du

(1) M. Bischof, *Lehrbuch der Physicalisch Geologie*, 2e édition.
(2) *Elèments de Minéralogie et de Géologie*, Paris, Baillère.
(3) *Bulletin du laboratoire de chimie industrielle et scientifique*, année 1863.
(4) *Vorlesungen über Mineralogie*, 1er volume, 1865.
(5) Sganzin et Reibell. *Programme d'un cours de construction*, 5e édition. Dunod.

cours de construction de Sganzin et Reibell; passant successivement en revue les différentes roches qui sont employées dans les constructions, M. Lalanne décrit leurs applications à l'art de bâtir. Les principaux marbres et les pierres dures les plus célèbres sont fidèlement représentés avec leurs couleurs au moyen de planches gravées en taille douce qui sont imprimées en couleur.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES ROCHES.

Chaleur spécifique des terres.

M. W. Schümacher (1) a déterminé la chaleur spécifique de quelques terres en opérant d'après la méthode donnée par M. V. Regnault.

Si l'on représente par 1 la chaleur qui est nécessaire pour élever 1 gramme d'eau de 1°, les terres complètement desséchées donnent les nombres suivants :

Sable.	Sable argileux.	Argile.
0,1282	0,1572	0,1734

Le calcaire pulvérulent possède une chaleur spécifique plus grande encore que l'argile, mais qui est inférieure à celle de l'humus.

On conçoit donc que quand deux champs formés, l'un de sable, l'autre d'argile sont exposés dans les mêmes conditions aux rayons du soleil, le sable demandera moins de chaleur et moins de temps pour s'élever à une même température.

Méthode pour déterminer les proportions des minéraux qui constituent une roche entièrement cristalline.

Lorsqu'une roche est uniquement formée de minéraux cristallisés, il suffit que l'on connaisse sa composition chimique élémentaire et celle des minéraux qui la constituent, pour qu'il devienne possible de calculer la proportion de ces divers minéraux. C'est ce qu'a fait M. le professeur Samuel Haughton (2) et, afin de mieux préciser sa méthode, prenons comme exemple le granite de Donégal en Irlande.

D'après des analyses de M. Haughton, voici d'abord quelle est la composition moyenne des minéraux constituants de ce granite.

(1) *Die Physik in ihrer Anwendung auf Agricultur*, 1864.
(2) *Quarterly of Journal of Geol. Society*, 1863, 418.

	Quartz.	Orthose.	Oligoclase.	Mica noir.
SiO^2.	100,00	63,20	59,92	36,18
Al^2O^3.	»	18,64	23,68	17,68
Fe^2O^3.	»	0,68	1,17	26,75
FeO.	»	»	0,05	0,63
MnO.	»	»	0,16	0,95
CaO.	»	2,75	5,30	0,54
MgO.	»	0,11	0,13	4,65
NaO.	»	0,78	6,47	0,32
KO.	»	14,92	2,07	8,83
HO.	»	»	»	3,15
Somme. . . .	100,00	101,08	98,95	99,68

D'un autre côté au moyen du tableau précédent il est facile de calculer les proportions d'oxygène qui sont contenues dans la silice, ainsi que dans les sesquioxydes et dans les protoxydes de chaque minéral. On obtient alors :

	Quartz.	Orthose.	Oligoclase.	Mica noir.
Silice.	51,92	32,81	31,11	18,78
Peroxydes. . . .	»	8,91	11,41	16,28
Protoxydes. . . .	»	3,55	3,61	3,94
Sommes. . .	51,92	45,27	46,13	39,00

Considérons spécialement le granite du pont Doocharry qui est à peu près au centre de l'axe granitique dans cette partie de l'Irlande et représente une sorte de moyenne pour le comté de Donégal.

Granite du pont Doocharry.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	Somme
Composition. . .	72.24	14.92	1,63	0,23	0,32	1,68	0,36	3,51	5.10	99,99
Oxygène.	37,51	7,46		2,50						47,47

Si nous désignons par u, x, y, z les proportions exprimées en centièmes, de quartz, d'orthose, d'oligoclase et de mica qui entrent dans ce granite, d'après les tableaux qui précèdent, nous aurons entre les proportions d'oxygène de la silice, des peroxydes et des protoxydes, les trois équations suivantes :

$$375100 = 5192\,u + 3281\,x + 3111\,y + 1878\,z \quad (1)$$
$$74600 = 891\,x + 1141\,y + 1628\,z \quad (2)$$
$$25000 = 355\,x + 361\,y + 394\,z \quad (3)$$

En outre l'on a cette quatrième équation qui est du reste évidente :

$$100 = u + x + y + z. \quad (4)$$

Mais au moyen de ces quatre équations, il est possible de calculer les quatre inconnues et l'on trouve alors pour la composition minéralogique du granite du pont Doocharry :

Quartz.	Orthose.	Oligoclase.	Mica noir.	Somme.
30,63	24,33	41,88	3,16	100,00

Cette méthode de M. Haughton donne des résultats qui ne sont pas très-différents de ceux obtenus par M. Delesse au moyen d'un autre procédé (1); elle montre surtout que le mica se trouve généralement en petite proportion dans le granite. Elle est d'ailleurs susceptible d'être appliquée à toute roche ayant une structure entièrement cristalline.

Observons cependant que la méthode de M. Haughton présente de grandes difficultés dans l'application.

D'abord elle suppose que les analyses de la roche et des minéraux qui la constituent aient été faites avec une exactitude mathématique; or quelque soin que l'on y apporte, cela n'est pas possible et malheureusement une erreur assez légère dans la détermination d'une seule des substances peut conduire à des nombres très-différents pour la valeur des inconnues; elle peut même donner une valeur négative, ce qui indique alors une impossibilité dans le problème.

De plus, la composition chimique des minéraux d'une roche n'est pas constante dans toute une région; ses variations sont accusées par celles que ses cristaux présentent toujours dans leur grosseur, dans leur couleur et dans leurs caractères minéralogiques.

Enfin le granite est rarement limité à quatre minéraux; souvent il contient des minéraux accessoires qui sont disséminés dans sa masse et qui échappent à l'œil du minéralogiste. Quel-

(1) *Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches*, 3e éd., 1866.

quefois encore la roche reste en partie à l'état de pâte et elle n'est pas uniquement formée de minéraux cristallisés.

Ces diverses causes expliquent pourquoi M. Haughton a obtenu des valeurs négatives pour près de la moitié des inconnues, dans l'application de sa méthode à quinze granites du comté Donégal.

Du reste, quelle que soit la méthode employée, la détermination des proportions des minéraux constituants d'une roche cristalline présente toujours des difficultés, demande beaucoup de temps et ne peut donner que des résultats approximatifs.

ROCHES.

Nous allons maintenant nous occuper de l'étude des roches, que nous diviserons en deux grandes classes, les roches proprement dites et les roches métallifères.

ROCHES PROPREMENT DITES.

Roches carbonées.

Pétrole.

GALICIE. — L'huile minérale est exploitée en différents points de la Galicie (1). Dans la Galicie Occidentale, selon M. de Hochstetter (2), elle apparaît au milieu de roches éocènes avec de la cire minérale (ozokérite) et de l'asphalte; toutefois elle ne fait point partie du système de ces couches et elle remplit seulement des fentes alimentées peut-être, dans la profondeur, par une formation encore inconnue de schistes houillers ou bitumineux.

L'apparition du pétrole en Galicie, sur une étendue de près de quarante milles, indique une grande fissure ou une série de fissures parallèles appartenant au système des Carpathes.

Dans la Galicie orientale, d'après M. Posepny, l'huile minérale se montre dans des schistes renfermant des ménilités et ses affleurements sont alignés suivant des directions parallèles à l'axe des Carpathes.

ÉTATS-UNIS. — Les recherches de pétrole continuent avec une grande activité en Amérique, et chaque jour de nouveaux sondages viennent ajouter quelques renseignements à ceux que l'on possédait déjà sur l'allure de cette substance si utile (3).

KENTUCKY. — M. Lesley (4) a surtout dirigé son attention vers

(1) *Revue de Géologie*, tome I, page 30; tome IV, page 44.
(2) *Jahrb. d. K. K. g. Reichs Austalt*, XV, 78.
(3) *Revue de Géologie*, t. II, p. 50; t. III, p. 96.
(4) *Proc. of the Americ. Philos. Society*, X, 33, 11, 189.

les sondages entrepris dans le Kentucky. Dans cette contrée, le pétrole sort, en de nombreux endroits, de la base des falaises entre lesquelles coulent le fleuve Paint et ses affluents. Il sature les berges et les bancs de sable meuble. Quand on agite le sable, l'huile combustible apparaît même comme une écume à la surface du fleuve.

Son réservoir paraît être le grand conglomérat qui est situé à la base du terrain houiller et appartient à la période du millstone-grit. Cette roche est d'ailleurs remplie de débris de plantes, et suivant M. Lesley, c'est leur décomposition qui donnerait naissance à l'huile. Le conglomérat est très-irrégulier dans ses allures. Quelquefois il se divise en deux étages par des schistes intermédiaires et alors il peut fournir deux horizons de pétrole.

De même que M. Briggs, M. Lesley regarde les plateaux comme aussi favorables aux sondages pour pétrole que le fond des vallées. En outre il paraît croire que le pétrole n'est poussé vers les vallées que par le poids des terrains supérieurs.

Trois grandes conditions seraient, selon lui, nécessaires à l'existence de l'huile minérale : 1° des débris organiques en abondance; 2° un réservoir horizontal perméable et formé de sable compacte ou de gravier ; 3° un système présentant des fentes verticales ainsi que des réservoirs particuliers à chaque terrain, et n'ayant rien de commun avec ces grandes failles qui traversent toute la série des étages géologiques.

Enfin M. Lesley annonce la prochaine publication d'une théorie de M. Lesquereux, qui considère la houille comme formée par la décomposition de la fibre ligneuse, tandis que le pétrole résulterait des végétaux non fibreux, tels que les fucus marins.

— On sait du reste que le terrain carbonifère n'est pas le seul niveau de pétrole du Kentucky ; ainsi M. Newberry a constaté que les grandes sources de pétrole trouvées, il y a quelques années, dans le Kentucky central, étaient alimentées par les calcaires siluriens inférieurs. Le même horizon a fourni de l'huile dans les îles Manitoulin sur le lac Huron.

De plus, les calcaires siluriens supérieurs du cap Gaspé, au Canada, laissent aussi suinter une petite quantité d'huile.

Illinois. — Donnons maintenant quelques détails sur un sondage entrepris à Chicago par M. Shufeldt (1) dans le but de rechercher le pétrole.

(1) *Americ. Journ.*, XL, 388.

La surface du sol est formée par le terrain silurien supérieur, très-désagrégé, et tellement saturé de pétrole que l'action du soleil fait distiller l'huile et que la terre peut brûler comme un combustible. Le réservoir du pétrole a été trouvé à 180 mètres environ de profondeur, dans un schiste qui sépare le silurien supérieur du silurien inférieur. Plus bas, à 240 mètres, on a rencontré un courant d'eau parfaitement limpide, ne contenant pas trace de soufre et n'ayant pas d'odeur désagréable. A cette profondeur, on se trouvait encore à 40 mètres au-dessus du niveau du lac Michigan.

Amérique du Nord. — De nombreuses études ont d'ailleurs été faites sur le gisement et sur la roche mère du pétrole d'Amérique (1).

On rencontre, dans la plupart des états du nord-ouest, et notamment dans celui de Michigan, un schiste connu sous le nom de schiste noir (*black shale*) dont la couleur tient à la présence d'une grande quantité de matière bitumineuse. M. Winchell (2) a fait voir que ce schiste est équivalent au schiste de Genessee dans l'état de New-York ; il appartient donc à l'étage dévonien.

Cette roche est combustible et sa distillation fournit du pétrole; aussi le regarde-t-on comme la source de la plupart des gîtes de pétrole natif des états du nord-ouest.

Dans l'Ohio et dans la Pensylvanie, l'huile résultant de la distillation naturelle du schiste s'accumule dans les cavités d'un grès où les sondages vont la chercher. Le même grès manque dans le Canada et dans le Michigan; mais l'accumulation se fait dans un immense amas de matières argileuses de transport, qui forment une couverte imperméable pour les dépôts de pétrole.

Toutes les probabilités se réunissent en faveur de l'existence des roches de pétrole dans le Michigan en quantités économiquement importantes. Il peut se faire qu'elles ne soient pas recouvertes de couches poreuses permettant l'accumulation de l'huile vers la surface; mais la roche de pétrole doit cependant exister dans la profondeur.

M. Winchell pense que les recherches devraient être dirigées dans la région située entre Bothwell et Petrolea, et dans celle où l'on a observé les manifestations extérieures de pétrole déjà signalées dans le Michigan.

(1) *Amer. Journ.*, XXXIX, 350.
(2) *Revue de Géologie*, II, 51, et III, 96 à 98.

— Enfin M. Foucou (1) a donné, d'après les informations qu'il a recueillies en Amérique et d'après ses propres observations, un résumé sur le gisement du pétrole.

Les points où l'on a découvert le pétrole dans l'Amérique du Nord sont fort nombreux; mais, à l'exception des trois provinces du Haut-Canada, de Venango County en Pensylvanie, de Wood County en Virginie occidentale, les gîtes se trouvent disséminés et les exploitations y sont très-peu actives. Bien qu'il y ait du pétrole au Texas, dans le Missouri, dans les Montagnes Rocheuses, en Californie et sur d'autres points encore de l'immense région qui s'étend à l'ouest du Mississipi, on peut dire que les seuls gisements dont le commerce et la consommation aient à tenir compte, sont tous situés à l'est de ce grand fleuve.

Suivant M. Foucou sept horizons de pétrole ont été observés jusqu'à présent dans ces roches, entre la rive gauche du Mississipi et l'océan Atlantique. Ainsi l'on a rencontré le pétrole, en plus ou moins grande abondance, dans les conditions suivantes, en commençant par les terrains les plus anciens :

1° Parmi les grès de Potsdam (silurien inférieur) — vers le Mississipi, dans la région occidentale de l'état de Wisconsin. Il n'a été trouvé là que sur un seul point et en très-petite quantité.

2° Parmi les calcaires de Trenton (silurien inférieur) — à l'île du grand Manitoulin; dans le Kentucky méridional et dans quelques parties du Tennessee.

3° Parmi les calcaires cornifères (dévonien inférieur) — au Canada ouest. Très-abondant.

4° Parmi les grès de Catskill (dévonien supérieur, équivalent du vieux grès rouge d'Europe) — au cap Gaspé et dans la Pensylvanie nord-ouest. Très-abondant.

5° Parmi les calcaires de montagne (carbonifère inférieur) — dans le Kentucky méridional et le Tennessee nord.

6° Parmi les conglomérats de la houille (poudingues à grandes parties du terrain carbonifère inférieur) — dans la Pensylvanie sud-ouest, la Virginie ouest et le Kentucky nord-ouest. Très-abondant.

7° Enfin parmi les grès houillers et les schistes argilo-bitumineux sur lesquels repose immédiatement la houille (carbonifère inférieur) — dans l'état d'Ohio et le Kentucky nord-est.

Il est remarquable que jusqu'à ce jour, l'on n'ait rencontré nulle part en Amérique le pétrole dans les couches qui comprennent la houille (carbonifère moyen). Ces couches peuvent donc être considérées comme la limite supérieure des gisements.

(1) Société des Ingénieurs civils. Séance du 8 mars 1867.

— M. Foucou donne aussi quelques documents statistiques. En 1861, la quantité de pétrole exportée des États-Unis, n'était que de 1.200.000 gallons environ; elle s'est élevée en 1866, à 67 millions et demi. Jusqu'en 1865, inclusivement, elle n'avait pas atteint 31 millions de gallons : c'est donc de l'année dernière seulement que date le grand essor de la production. Sous l'influence des bas-prix qui en sont résultés, la production diminue en ce moment : d'un côté, les Américains arrêtent les puits qui ne rendent pas plus de 10 à 15 barils par jour, car au prix de 1 dollar 50 cents par baril, de tels puits ne sont pas rémunérateurs; d'autre part, la spéculation s'éloigne momentanément du pétrole et l'on approfondit beaucoup moins de puits nouveaux, que pendant les dernières années.

Lignite.

Val di Cecina. — Quelques renseignements sont donnés par M. E. Poujade (1), sur une mine de lignite située au Val di Cecina en Italie.

Le lignite y occupe un bassin assez étendu et présente deux couches parallèles séparées l'une de l'autre par un lit de marne argileuse, à coquilles lacustres, d'une puissance variant de 20 à 30 centimètres. Ces deux couches sont de bonne qualité et atteignent ensemble une épaisseur de 2 mètres 50 cent. La couche inférieure repose sur de la marne coquillière et la couche supérieure est recouverte par un tuf calcaire jaunâtre à coquilles marines. Leur inclinaison est d'environ 5 millimètres par mètre.

États-Unis. — La découverte d'un nouveau gisement de lignite dans le minerai de fer à Pond-Bank, comté de Franklin, Pensylvanie, a fourni à M. Lesley (2) l'occasion de revenir sur la question des lignites de Brandon (Vermont).

Suivant M. Lesley, c'est à tort qu'on a considéré le lignite de cette localité comme lié au minerai de fer; ses caractères stratigraphiques démontrent que le minerai est régulièrement intercalé dans les assises de l'étage silurien inférieur, tandis que le lignite remplit des cavités à la surface du terrain.

(1) Extrait d'une dépêche de M. E. Poujade, consul général de France à Florence, adressée à S. Exc. M. le Ministre des affaires étrangères.

(2) *Proc. of the Americ. Philos. Society*, IX, 463.

A Pond-Bank, on a retiré de grands troncs d'arbres qui laissaient voir encore tous les détails de l'organisation. Le bois était changé partiellement en cannel-coal brillant; le reste en lignite ordinaire.

Houille.

ILES PHILIPPINES. — On a examiné à l'Ecole des mines de Madrid des échantillons de houille ou du moins de combustible minéral reçus de Manille (1). Ils proviennent du mont Alpaco, territoire de Naga, province de Cebu. Les charbons de cette localité sont secs, purs; ils ne contiennent que quelques traces de pyrite de fer. Leur combustion a lieu facilement et avec une longue flamme. Ils laissent 4 p. 100 de cendres et ont un pouvoir calorique de 4.825 calories.

Déjà en 1854 on avait signalé l'existence du charbon minéral dans l'île de Cebu; toutefois l'exploitation en avait été suspendue en 1859 à cause de l'irrégularité et de la pauvreté du gîte. Mais on a reconnu depuis, dans la vallée de l'Alpaco, près du village de Naga, à 15 kilomètres des anciennes exploitations et à 11 kilomètres de la côte orientale, quatre couches d'une puissance considérable. L'exploitation en est peu active à cause du manque de voies de communication jusqu'à la mer; d'un autre côté si cette voie de 11 kilomètres existait, ces mines seraient en mesure dès à présent de livrer annuellement 6.000 tonnes de charbon aux navires de guerre espagnols.

Le charbon minéral de Cebu a d'ailleurs été reconnu supérieur à celui de l'île de Labuan et à celui de l'Australie que l'on consomme dans les possessions anglaises de la Chine.

Albertite.

On exploite au Nouveau-Brunswick, à la mine Albert, un charbon anthraciteux particulier connu sous le nom d'*albertite* ou Albert-coal, et sur l'origine duquel diverses assertions contradictoires ont été émises. M. Hitchcock (2) a cherché à jeter quelque lumière sur ce sujet par l'étude du gisement.

Ce charbon se rencontre dans le terrain sub-carbonifère et au voisinage de roches anciennes. La direction générale du gîte est

(1) Extrait par M. Ed. Collomb, d'un article sans nom d'auteur, publié par *Revista minera*, tome XVII, n° 381, p. 244, 15 avril 1866.
2) *Americ. Journ.*, XXXIX, 267.

N. 65° E. et son plongement varie de 75° à 80° : quelquefois il est vertical. Son allure est extrêmement irrégulière : tantôt il se réduit à presque rien ; tantôt sa puissance atteint 4 mètres. Plus la roche encaissante est dure, et plus le gîte est étroit. Le charbon est brisé, granuleux et s'écoule à travers les fissures comme le feraient des grains de blé. Le gîte principal envoie dans les couches voisines de nombreuses ramifications et il s'élargit dans la profondeur.

De ces faits, M. Hitchcock conclut que l'albertite ne forme pas une couche stratifiée comme le charbon ordinaire, mais qu'elle occupe une grande fissure dans le voisinage d'une ligne anticlinale bien marquée dans la contrée. Il pense que l'albertite était, dans l'origine, à l'état liquide, comme l'asphalte et le bitume qu'on trouve dans le groupe de Québec au Canada, peut-être aussi comme le pétrole, et qu'elle a ainsi été injectée dans des fissures où elle s'est durcie par la suite en prenant une texture semblable à celle du jayet. Du reste on rencontre assez souvent du pétrole dans les cavités de l'albertite et plus encore dans celles des schistes encaissants.

Mentionnons aussi l'opinion de M. Bailey (1), pour qui l'albertite est une huile oxydée, provenant de la décomposition de restes de poissons, et ultérieurement modifiée par une action chimique.

Terres colorées par des matières organiques.

M. Dragendorff (2) a trouvé dans le gouvernement de Twer, en Russie, des terres qui paraissent susceptibles d'être employées comme matières colorantes.

A ressemble à la terre d'ombre.

B est une sorte de terre de Sienne.

	Humus	SiO^2 (*)	Fe^2O^3	Al^2O^3	Mn^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	CO^2	SO^3	P^2O^5	X(**)	Somme
A. . . .	32,9	28,4	20,2	6,0	2,0	4,3	0,4	1,0	0,9	3,4	0,4	0,2	tr.	100,1
B. . . .	26,5	10,2	28,2	14,7	1,5	8,3	2,9	1,1	0,1	6,2	0,2	0,3	tr.	100,2

(*) Avec du sable. (**) Traces de cuivre, de chlore et d'ammoniaque.

Ces terres renferment bien des oxydes de fer et de manganèse ; mais elles sont, comme l'on voit, très-riches en matières organiques et elles paraissent d'ailleurs s'être formées dans un marais tourbeux.

(1) *Americ. Journ.*, XXXIX, 356.
(2) *Jahresbericht* von Heinrich Will, 1865, 925.

Terre végétale.

Les recherches faites sur la terre végétale ayant été résumées spécialement par M. Robert Hoffmann ainsi que par M. Heinrich Will, nous nous contenterons de renvoyer à leurs comptes rendus de chimie agricole (1).

RHÔNE. — M. Ch. Mène (2) a publié quelques essais chimiques de la terre végétale provenant du sol granitique de Saint-Étienne-de-Vaux (département du Rhône), qui fournit un vin très-renommé.

A sur Saint-Étienne.
B à Talbarde.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	KO, NaO CaO, MgO	Perte au feu	Matières organiques.	Somme.
B.	2,317	68,8	14,0	1,5	2,0	4,4	3,8	5,5	100
A.	2,408	78,0	9,5	5,0		1,0	6,0	0,5	100

Comparaison de la terre végétale à différentes profondeurs.

Le territoire de Vouvray, dans la Touraine, produit un vin qui est estimé; et, dans le but de reconnaître si le sol présentait quelque particularité dans sa composition, M. de Medine fit creuser dans sa vigne une tranchée de 1 mètre de profondeur dans laquelle quatre échantillons furent recueillis :

I à la surface du sol;
II III au-dessous du précédent et à la distance l'un de l'autre de $0^m,33$;
IV à 1 mètre du sol et au fond de la tranchée, sur le calcaire formant le sous-sol.

Ces échantillons ont été attaqués par l'acide chlorhydrique et leurs alcalis ont été dosés avec soin par M. A. Durand-Claye dans le laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

(1) Dr Robert Hoffmann. *Jahresbericht der Agricultural Chemie.*—H. Will. *Jahresbericht ueber die Forschritte der Chemie.*
(2) *Bulletin du laboratoire de chimie scientifique et industrielle*, 1863, 290.

	I		II		III		IV	
1° Produits volatils et combustibles :								
Eau perdue à 104°. .	11,10		11,50		7,55		8,00	
Azote.	0,14		0,15		0,11		0,15	
Autres produits. . . .	2,56		2,25		2,34		8,45	
Somme. . . .		13,80		13,90		10,00		16,60
2° Matières minérales :								
Résidu insoluble dans les acides.	64,52		76,58		78,43		33,65	
Alumine et peroxyde de fer.	6,55		5,34		5,49		4,72	
Acide phosphorique.	0,13		0,17		0,13		0,16	
Chaux.	6,94		1,06		1,66		26,94	
Magnésie.	0,26		0,26		0,31		0,41	
Acide carbonique et produits non dosés.	7,80		2,69		3,98		17,52	
Somme. . . .		86,20		86,10		90,00		83,40
Somme totale. .		100,00		100,00		100,00		100,00
Potasse pour 100. . .	0,94		0,86		0,76		0,33	
Soude.	0,34		0,60		0,31		0,12	

La terre végétale de Vouvray, dans laquelle la vigne donne de bons produits, est donc remarquablement riche en alcalis et spécialement en potasse.

L'on sait d'ailleurs que cette condition est favorable à la culture de la vigne.

Les alcalis contenus dans la terre végétale de Vouvray doivent sans doute être attribués aux débris feldspathiques et granitiques du terrain de transport recouvrant les plateaux miocènes de la Touraine. Et ces débris s'observent également dans l'Orléanais, dans le Vendômois ainsi que dans la Sologne, où M. le marquis de Vibraye a constaté leur influence marquée sur la végétation.

Roches diverses.

Eaux.

Les limites de cette Revue ne permettant pas de résumer les nombreuses recherches faites sur les eaux, tant en France qu'à l'étranger, nous en indiquerons seulement quelques-unes qui offrent un intérêt spécial, renvoyant pour les autres au compte rendu de M. Heinrich Will.

Eaux salées.

SÈVRE-NIORTAISE. — Des sondages pratiqués à Sablon et à Marans, dans les marais du Poitou, à travers les couches qui remplissent le bassin de la Sèvre-Niortaise, ont amené la découverte de sources salées jaillissantes. A Sablon, notamment, M. H. Mairand (1) signale une de ces sources atteinte à la profondeur de 14 mètres et s'élevant à 1m.83 au-dessus du niveau de la mer. Son analyse faite par M. Hervé-Mangon au laboratoire de l'École des ponts et chaussées a montré qu'elle donne 20gr.76 de résidu fixe par litre et 11gr.67 de chlore. Sa densité est 1.415. Elle contient surtout du chlorure de sodium et aussi du chlorure de magnésium, en sorte que c'est simplement de l'eau de mer mélangée d'eau douce.

Toutefois cette source jaillit à un niveau supérieur à celui du niveau de la mer. M. Mairand attribue sa salure à ce qu'elle est alimentée par des eaux qui circulent sous des argiles marines encore imprégnées de sel, lesquelles se sont déposées vers le fond du bassin de la Sèvre-Niortaise.

POUILLENAY. — Il existe une source salée à Pouillenay, dans l'arrondissement de Semur (Côte-d'Or). D'après M. Collenot, elle sort du calcaire à gryphées arquées, mais tout indique que c'est par une faille. Des sondages faits à un demi-kilomètre de cette source ont également rencontré de l'eau salée dans un grès appartenant soit aux marnes irisées, soit à la zone à avicula contorta.

L'eau salée de Pouillenay a été analysée par M. A. Durand-Claye au laboratoire de l'École des ponts et chaussées.

1,000 grammes donnent par l'évaporation :

Chlore	3,12
Acide sulfurique	0,01
Acide carbonique	0,07
Alcalis	2,49
Chaux	0,29
Magnésie	0,16
Alumine et peroxyde de fer	0,02
Résidu insoluble dans les acides	traces.
Matières en suspension retenues sur le filtre	0,15
Somme	6,31

Il est vraisemblable que l'eau de Pouillenay doit sa salure à des gîtes de sel gemme qui sont intercalés dans les marnes irisées et recouverts par les terrains jurassiques.

(1) Mairand : Des sources salées du bassin de la Sèvre-Niortaise, Niort, 1865.

OSTENDE. — Un puits artésien foré à Ostende pour se procurer de l'eau descend à plus de 300 mètres jusque dans le terrain silurien et a traversé plusieurs nappes. Il fournit une eau salée dont la température est de 19 degrés et qui renferme d'ailleurs trop de matières minérales pour servir à la boisson. M. François Dewalque (1) a trouvé pour sa composition dans 1000 parties :

Chlorure de sodium	1,3266
Sulfate de soude	0,3082
Carbonate de soude	0,7181
Phosphate hydraté bisodique	0,0070
Chlorure de potassium	»
Sulfate de potasse	0,3279
Carbonate de chaux	0,0205
Carbonate de magnésie	0,0312
Oxyde de fer et alumine	0,0063
Silice	0,0116
Matières organiques	»
Somme	2,7575

M. F. Dewalque y a cherché inutilement le cœsium, le rubidium et le lithium.

Cette eau artésienne d'Ostende est salée et alcaline.

SUÈDE. — M. J. Berlin (2) a analysé l'eau de Torpa Sallkalla près Lilla Edet en Suède. Son poids spécifique est de 1,010046 à 13 degrés et elle contient dans 10,000 parties :

Chlorure de calcium	2,00268	Phosphate de chaux	0,05716
Id. de sodium	108,11590	Alumine	0,00794
Id. de lithium	0,00442	Silice	0,45918
Id. de magnésium	3,54104	Substance organique	0,14092
Bromure de magnésium	0,25346	Somme	125,54891
Iodure de magnésium	0,16232		
Chlorure de calcium	0,35536	Acide carbonique, combiné	5,34261
Carbonate de chaux	1,53837	Id. libre	0,71316*
Id. de magnésie	8,89978		
Id. d'oxyde de fer	0,01038	* = 365,3 centimètres cubes.	

On y a reconnu aussi des traces d'acide borique.

(1) Rapport de MM. de Koninck, Devaux et G. Dewalque sur l'eau minérale du puits d'Ostende, *Bulletin de l'Académie de Belgique* [2] XVIII; 113, 119, 121. *Jahresbericht* von Heinrich Will, 1865, 937.

(2) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*. Heinrich Will. 1865, p. 939.

SAINT-PÉTERSBOURG. — Les eaux fournies par un puits artésien percé à Saint-Pétersbourg dans les argiles du terrain silurien inférieur, ont été analysées par M. H. Struve (1). Il a obtenu dans 10.000 parties de ces eaux :

I Eau douce, un peu trouble, à 54 mètres de profondeur;

II Eau salée, à réaction légèrement alcaline, à 118 mètres 34 centimètres de profondeur;

III Eau encore plus salée et pouvant être considérée comme minérale. Elle contient un peu de lithine, de baryte, de protoxyde de fer et de protoxyde de manganèse, d'iode et même de brome, qui ne sont pas donnés dans le tableau ci-dessous, parce que la recherche de ces mêmes substances n'a pu avoir lieu pour les deux échantillons précédents. Elle provient d'une profondeur de 120 à 200 mètres.

	I	II	III
Cl.	1,730	11,612	22,606
SiO^2.	0,200	0,030	0,115
KO.	0,225	0,461	0,386
NaO.	3,483	10,262	17,067
CaO.	0,794	0,647	1,634
MgO.	0,342	0,370	1,093
CO^2.	5,338	2,122	1,770
Somme.	12,112	25,504	44,671

M. Struve observe que ces eaux se distinguent par l'absence de sulfates. Plus la profondeur de laquelle elles proviennent est grande, plus elles sont chargées de substances salines, consistant surtout en sel marin et en chlorure de calcium ainsi que de magnésium. Leur proportion de carbonate et de bicarbonate diminue au contraire à mesure que la profondeur augmente.

Les substances salines que ces nappes d'eau souterraines tiennent en dissolution sont visiblement fournies par les couches siluriennes à travers lesquelles elles s'infiltrent.

JAPON. — Il existe des eaux salines chaudes à Atami au Japon. D'après M. Lemoine (2), elles sont employées seulement pour boire et elles jaillissent d'une manière intermittente. Leur température est de 95 degrés. Les principaux sels qu'elles renferment sont les chlorures de calcium et de sodium; l'on y trouve aussi un peu de chlorure de magnésium, de carbonate de chaux, des sulfates de chaux, de magnésie, de soude, d'alumine, de la silice et de l'oxyde de fer, mais pas d'acide carbonique libre.

(1) *Mémoires de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg*, 7e série, t. VIII, no 11, p. 20.

(2) *Comptes rendus*, LXI, 988.

CHILI. — Don Antonio Casares (1), professeur de chimie à l'Université de Santiago, a découvert, dans les eaux minérales d'Orense, de Verin et surtout de Loujo, des quantités appréciables de rubidium et de cœsium. Après avoir séparé de ces eaux les chlorures, les sulfates, les carbonates, la silice et quelques oxydes métalliques par les procédés ordinaires d'analyse, il a essayé les résidus avec le spectroscope; c'est ainsi qu'il a reconnu les raies caractéristiques du rubidium et du cœsium, constamment associées avec du lithium.

Suivant Don Antonio Casares, en opérant sur de grandes quantités de ces eaux, surtout celles de Loujo, et en les faisant évaporer spontanément pendant l'été, on obtiendrait des quantités assez notables de ces nouveaux métaux.

MER BALTIQUE. — La Baltique présente une mer intérieure qui est bien peu salée, surtout vers le nord; car d'après Middendorff, vers Karleby, elle n'a plus que des coquilles d'eau douce. En outre, comme l'a fait observer M. de Baër, dans le golfe de Bothnie elle est encore beaucoup moins salée que dans celui de Finlande; il paraît même que vers les îles où ses deux rives sont le plus rapprochées ses eaux peuvent servir à la boisson.

Des eaux provenant de la partie nord de la Baltique viennent du reste d'être analysées par M. H. Struve (2), et l'on peut voir, qu'en effet, elles sont extrêmement peu salées.

I. Du district d'Abo à Nystad, puisée le 9 août 1862;

II. Du district de Wasa, au sud de Kristinestad, puisée le 11 août 1862;

III. Du district d'Uleaborg, à Sorkarsels Lootsplatz, puisée le 18 juillet 1862.

(1) *Revista minera*, t. XVII, p. 410, 1er juillet 1866. (Extrait par M. Edouard Collomb.)

(2) *Ueber den Salzgehalt der Ostsee*. Saint-Pétersbourg, 1864.

	Résidu salin desséché sur 1.000 d'eau.	CaO, SO^3	$MgOSO^3$	KCl^2	$NaCl^2$	$MgCl^2$	MgO	Somme.
I. . . .	6,120	4,07	5,94	4,15	75,68	9,97	0,16	99,97
II. . . .	5,657	5,63	4,19	2,81	78,61	6,65	2,07	99,96
III. . .	3,710	8,42	2,67	6,37	71,50	9,95	1,09	100,00

On peut admettre avec M. de Baër que l'eau du grand bassin de la Baltique renferme 7,3 de sel sur 1.000 ; c'est la moyenne de 9 analyses qui en ont été faites.

Mais cette teneur diminue beaucoup, soit dans le golfe de Bothnie et particulièrement vers Quarken, soit dans le golfe de Finlande vers Reval et Helsingfors.

M. H. Struve fait observer à ce sujet que les fleuves nombreux se déversant dans les golfes de Bothnie et de Finlande y réduisent la teneur en sel presqu'à moitié de ce qu'elle est dans le grand bassin de la Baltique.

C'est d'ailleurs ce qu'il est facile d'apprécier en jetant les yeux sur le tableau suivant, qui résume les principales analyses des eaux de la Baltique.

Comme dans les recherches analogues de Forchhammer (1), le chlore a été représenté par 100:

(1) *Revue de Géologie*, t. II, 34 et 35.

	Teneur en sel sur 1.000 parties.	Cl	SO^3	CaO	NgO	KO	NaO
Landskrona, au sud du Sund vers la côte de Suède. . . .	18,9	100,00	11,55	6,78	5,78	80,05	
Malmö à la pointe S.-O. de Schonen.	17,4	100,00	10,77	2,95	8,13	79,00	
Entre Hammerhuus sur Bornholm et Sandhammer.	7,45	100,00	12,60	3,09	10,69	1,99	76,14
Karlskrona sur la côte sud de la Suède.	11,0	100,00	7,71	4,02	10,29	10,98	70,11
Près Westerwick en Suède.	7,7	100,00	11,27	2,91	10,61	76,42	
Près Nyköping en Suède. .	7,4	100,00	11,27	4,60	9,77	3,59	73,55
Entre Oeland et Gothland.	7,3	100,00	13,39	3,43	12,02	1,88	74,66
Sur le grand Becken à l'ouest de l'île Oesel et des îles Filsands.	6,9	100,00	11,11	4,32	11,23	1,91	72,49
Entre Oesel et Dagö. . . .	7,1	100,00	11,34	3,40	11,53	2,13	73,16
Avant l'entrée dans la gorge du Finnois.	6,9	100,00	12,33	3,78	13,25	1,77	71,66
Près Pernan en Livonie. . .	6,2	100,00	12,21	8,53	4,79	1,18	79,14
Degerby.	5,9	100,00	10,57	2,79	15,53	68,41	
Furu-Sund.	4,8	100,00	10,86	3,21	11,02	75,21	
Dubbeln.	5,7	100,00	12,86	3,91	11,59	1,42	73,79
Kaugern et Karlsbad. . . .	5,8	100,00	11,52	5,48	10,35	1,66	75,88
Hapsal.	5,9	100,00	11,60	4,50	13,23	1,48	71,98
Bar-Sund.	6,7	100,00	9,64	3,69	9,73	2,83	73,38
Reval.	6,25	100,00	13,74	7,80	5,81	1,26	85,94
Holgland.	4,76	100,00	13,31	3,54	11,52	1,69	75,37
Chudleigh.	4,05	100,00	12,35	4,56	9,76	2,34	75,30
	4,44	100,00	11,91	3,28	9,73	2,88	76,03
Nervö et Seskär.	3,55	100,00	12,38	3,91	11,70	2,43	73,11
Albo, Nystad.	6,3	100,00	11,46	3,03	11,46	4,75	72,44
Kristinestad.	6,0	100,00	11,32	4,28	11,61	3,29	77,18
Au sud de Wasa, Gashällan.	5,8	100,00	11,73	3,71	10,87	1,43	77,75
Brahestad.	3,9	100,00	12,52	6,45	11,46	7,51	70,47
Uleaborg.	3,8	100,00	13,62	4,36	11,68	3,00	72,80

Sel gemme.

Dax. — Un nouveau gisement de sel gemme a été découvert à Dax (Landes) et décrit par M. Maxwell-Lyte (1).

La première couche de ce sel se rencontre à une profondeur de 32 mètres et offre une épaisseur de 3 mètres. Sous cette première couche, se trouve une couche d'argile salifère de 3 mètres d'épaisseur, suivie d'une nouvelle couche de sel dans laquelle on n'est entré que de 30 centimètres.

Ce sel de Dax est rose, transparent, et présente une cassure vitreuse.

L'analyse qui en a été faite par M. Maxwell-Lyte a donné les résultats suivants :

(1) *Rapport industriel sur un gisement de sel gemme découvert à Dax.*

$NaCl^2$	CaO, SO^3	$CaCl^2$	$MgCl^2$, KCl^2, I, Br	Matières insolubles.	Somme.
97,68	0,40	0,46	traces.	1,46	100,00

La présence du chlorure de calcium et les petites quantités de sulfate et de chlorure de magnésium contenues dans ce sel en rendront l'exploitation facile. D'un autre côté l'on aurait à craindre la concurrence de gîtes analogues qu'on rencontrerait aisément dans toute la région qui s'étend au pied des Pyrénées.

VOLTERRA. — M. G. Vom Rath (1) a donné quelques détails sur les salines de Volterra qui sont alimentées par des masses de sel gemme, les seules connues sur le continent italien. Des sondages récents ont appris que le terrain encaissant se compose de deux étages; en haut, des marnes argileuses et des argiles durcies, alternant plusieurs fois avec des bancs de gypse et des masses de sel gemme; en bas, des argiles noires, bitumineuses, ne contenant ni gypse ni sel gemme.

Les couches salifères appartiennent au terrain miocène; le sel forme des lentilles distribuées sans régularité; aussi n'y aurait-il pas d'avantage à les exploiter par travaux souterrains, d'autant plus que le sel est à peine assez pur pour être employé directement à des usages domestiques.

La production de la saline de l'État, à Volterra, a été, en 1864, de 8 millions de kilogrammes.

Borax.

TOSCANE. — Les Lagonis de Monte-Cerboli, en Toscane, ont été décrits par M. Vom Rath (2), qui a cherché à expliquer l'origine de l'acide borique; il ne croit pas qu'on puisse l'attribuer à l'existence, dans l'hypérite, le gabbro et la serpentine, de minéraux contenant du bore, tels que l'axinite et la datholite, ni que cette origine doive être cherchée dans le grünstein. M. Vom Rath émet l'opinion qu'il existe dans le terrain éocène de la contrée des dépôts de boracite et de stassfurtite qui seraient dissous et entraînés par de la vapeur d'eau chaude.

(1) *Zeit. d. deutsch. Geologischen. Geselchofft*; XVII, 298.
(2) *Zeit. d. d. G.*, XVII, 303.

THIBET. — D'après M. Turner (1), à cinq journées de Tees Holomboo, notamment, on récolte le borax avec du sel marin sur les bords d'un lac ayant 20 milles de circonférence, qui est alimenté par des sources d'eau saumâtre. Ce lac reste congelé une partie de l'année.

CALIFORNIE. — On commence à exploiter, en Californie, un gisement de borax situé dans la région des lacs, à 130 milles au nord de San-Francisco. D'après M. Harris (2), ce minéral y est déposé, sous la forme de petits cristaux et de masses cristallines, au fond de plusieurs lacs dont les eaux sont saturées de ce sel. A côté de ces lacs il y a une source chaude d'acide borique et un grand dépôt de soufre d'une pureté remarquable.

Le borax brut de la Californie est remarquablement pur et ne contient que 10 p. 100 de matières étrangères. Il est cristallisé en prismes hexagonaux, légèrement verdâtres, translucides et un peu efflorescents. On l'exploite par des dragages, après quoi il est lavé et raffiné.

Émeri.

MASSACHUSETS. — Un nouveau gisement d'émeri a été découvert à Chester (Massachusets) par M. Jackson (3), dans une exploitation de fer oxydulé avec lequel il avait été confondu d'abord à cause de ses propriétés magnétiques.

La principale couche d'émeri se voit à la base de la montagne du Sud, où elle a plus d'un mètre d'épaisseur avec 70 degrés d'inclinaison; vers le sommet elle atteint jusqu'à 4 mètres. L'émeri est associé à des schistes micacés et talqueux, à du minerai de fer magnétique et à une amphibolite.

Son poids spécifique varie entre 3,75 et 4,57; traité par les acides, il laisse 73 p. 100 de résidu insoluble et transparent, quoique attirable à l'aimant, ce qui montre que l'oxyde de fer est bien un élément constituant de l'émeri.

Voici la composition de deux variétés d'émeri grossièrement cristallin de Chester :

(1) L. Soubeyran, *Journal de Pharmacie* [4], IV, 17. Le borax s'exploite, comme l'on sait, au Thibet où il se dépose sur les bords de lacs salés.
(2) *Proc. of the Americ. Philosoph. Society*, IX, 450.
(3) *Americ. ourn.*, XXXIX, 87.

	Al^2O^3	FeO	TiO^2	SiO^2	Somme.
I. Montagne du Nord.	46,50	44,00	5,00	4,50	100,00
II. Montagne du Sud.	45,50	43,00	11,50		100,00

Retranchant l'oxyde enlevé par les acides et les éléments qui peuvent être considérés comme accessoires, on trouve :

	Al^2O^3	FeO	Somme.
I.	60,40	39,60	100,00
II.	59,05	40,95	100,00

Or l'émeri de Naxos contient 62,30 p. 100 d'alumine avec 37,70 p. 100 d'oxyde de fer, et celui de Chester, essayé dans les usines, a donné d'aussi bons résultats industriels.

A Chester, M. Shepard (1) a trouvé le diaspore et le corindon blanc; ce dernier forme des filons de 3 centimètres de puissance dans l'émeri massif. M. Shepard considère cet émeri de Chester comme un aluminate de protoxyde de fer :

$$FeO \,.\, Al^2O^3.$$

Phosphates.

BELGIQUE. — MM. d'Omalius et G. Dewalque ont décrit une phosphorite concrétionnée, qui a été rencontrée dans les argiles accompagnant la limonite d'un gîte des environs de Ramelot, dont la direction est très-différente de celle des failles métalliques de ce pays. Cette substance, qui était inconnue en Belgique, renferme en moyenne 69 p. 100 de phosphate de chaux (2). Malheureusement ce gîte ne paraît pas avoir d'importance industrielle.

Plus récemment M. A. de Thier (3) a découvert à Baelen un nouveau gîte de phosphate de chaux qui forme un amas irrégulier dans un dépôt ferrugineux au contact du calcaire condrusien.

(1) *Americ. Journ.*, XL, 122.

(2) ***Sur** des échantillons de phosphates de chaux*, par M. d'Omalius (*). — *Note sur le gisement de la chaux phosphatée en Belgique*, par M. G. Dewalque (**).

(3) Catalogue des roches de la Belgique (Exposition universelle de 1867).

(*) *Bulletin académique de Belgique*, 2e série, t. XVIII, p. 5.

(**) *Idem*, p. 8.

Guanos.

SAINT-DOMINGUE. — Un habitant de Saint-Domingue remarqua que des navires américains venaient faire des chargements clandestins sur un îlot appelé Vela Alta, qui est voisin de la grande île. Des échantillons des terres pulvérulentes qu'ils recueillaient furent remis par M. le colonel Mendez au laboratoire de l'École des ponts et chaussées pour voir si c'étaient des guanos; voici les résultats obtenus par M. Durand-Claye :

I et II sont gris rougeâtre et ont l'aspect de cendres.
III est brun foncé.

	I		II		III	
1° Produits volatils au rouge :						
Eau perdue à 104°. . .	6,00		6,50		5,50	
Azote.	0,15		0,16		0,17	
Autres matières	6,05		5,14		15,13	
Total.		12,20		11,80		20,80
2° Cendres :						
Résidu insoluble dans les acides.	3,47		3,46		65,11	
Acide phosphorique. . .	22,04		23,20		4,53	
Alumine, peroxyde de fer et bases des phosphates.	33,18		31,22		7,35	
Chaux.	15,19		16,03		0,35	
Magnésie.	0,76		0,72		0,07	
Acide carbonique et substances non dosées. .	13,16		13,57		1,79	
Total.		87,80		88,20		79,20
		100,00		100,00		100,00

Ces guanos ont été délavés et paraissent se rapporter à la sombrérite qu'on trouve également dans les Antilles (1); en effet, ils sont presque dépourvus d'azote, et riches en acide phosphorique. Du reste, c'est généralement à cet état qu'on les rencontre lorsqu'on s'éloigne des côtes du Pérou et des régions sans pluie.

L'échantillon n° III est trop pauvre pour être utilement exploité.

(1) *Revue de Géologie*, t. III, p. 94.

Roches calcaires.

Travertin.

M. Eugène Mahon (1) mentionne dans les environs d'Echternach, à Lauterborn, à Spelzbüch, à Weilerbach, des gisements de travertin ou de tuf calcaire, offrant une grande puissance.

Ce tuf renferme de 60 à 95 p. 100 de carbonate de chaux; il contient aussi un peu de carbonate de magnésie, avec des traces d'acide phosphorique et d'alcalis. Des matières sableuses et argileuses lui sont d'ailleurs mélangées. Il sert à faire de la chaux, du blanc, et on l'emploie encore dans la fabrication de l'ammoniaque, de la potasse, de la soude caustique, de l'hydrochlorate de chaux. C'est surtout une pierre de taille, légère, très-poreuse, qui se laisse scier et tailler avec facilité; elle est même recherchée pour les cheminées et pour les voûtes, notamment pour les voûtes d'églises.

Calcaire à miliolites.

Voici la composition d'un calcaire grossier à miliolites formant un banc rocheux de $0^m,60$ d'épaisseur, qui se trouve à la profondeur de $0^m,45$ au-dessous du premier banc exploité dans la carrière de pierre à bâtir de M. Sarrazin, lieu dit le Fort, à Montesson (Seine-et-Oise).

CaO	MgO	Fe^2O^3	Perte au feu.	Argile.	Somme.
50,00	traces.	1,30	39,60	9,00	99,90

Ce calcaire donne une pierre gélive, mais il peut être employé pour fabriquer de la chaux hydraulique. Son analyse a été faite à l'École des mines, dans le laboratoire de M. Rivot.

Calcaire magnésien.

Bassin de Paris. — La Revue a déjà signalé l'existence d'une forte proportion de magnésie dans des caillasses ou marnes blanches qui recouvrent le calcaire grossier parisien (2). De nouvelles

(1) Extrait d'une dépêche adressée à M. le ministre des affaires étrangères par M. Mahon (Eugène), vice-consul de France dans le grand-duché de Luxembourg (11 mars 1863).

(2) *Revue de Géologie*, IV, 55.

analyses faites à l'École des mines, dans le laboratoire de M. Rivot, ont confirmé ces résultats.

A. Calcaire compacte à cassure conchoïde de couleur café au lait, se trouvant au-dessus du premier banc de calcaire grossier exploitable et à une distance verticale de quelques mètres; il appartient à l'étage des marnes supérieures au calcaire grossier; carrière de pierre à bâtir de M. Sarrazin, lieu dit le Fort, à Montesson (Seine-et-Oise).

B. Calcaire compacte, jaunâtre, légèrement marbré, composé de petits grains friables qui le rendent un peu rude au toucher, contenant des turritelles; pris près de la fausse roche et à $1^m,50$ du premier banc de calcaire grossier; étage des marnes supérieures au calcaire grossier, dans la carrière précédente.

	CaO	MgO	Fe^2O^3	CO^2 HO	Argile et sable fin.	Somme.
A. . .	33,34	17,33	0,67	47,00	1,33	99,67
B. . .	35,00	13,90	1,80	44,30	4,60	99,60

Les calcaires compactes et jaunâtres recouvrant le calcaire grossier dans la plaine de Nanterre et sur la rive droite de la Seine sont donc magnésiens et très-peu argileux. Leur composition est celle des caillasses ou des marnes blanches friables, tachant les doigts, qui recouvrent le même calcaire à Ivry et sur la rive gauche de la Seine. En sorte que tout cet étage, qui s'est déposé dans des eaux douces ou saumâtres, est formé de calcaires riches en magnésie.

Dolomie.

Beyne. — La dolomie forme des amas assez irréguliers dans la craie blanche de Beyne près de Grignon (Seine-et-Oise). Elle est blanc jaunâtre, rugueuse, friable ou pulvérulente et composée de grains cristallins dont les angles sont arrondis. Son analyse a été faite à l'École normale dans le laboratoire de M. Henry Sainte-Claire Deville :

CaO,CO^2	MgO,CO^2	Résidu et perte.	Somme.
57,4	40,7	1,9	100,00

Elle ne diffère pas beaucoup de la dolomie atomique formée de 1 de carbonate de chaux pour 1 de carbonate de magnésie; cependant elle renferme un peu plus de chaux.

Marnes.

Les marnes supérieures au gypse, qui sont exploitées à la butte Saint-Chaumont pour la fabrication de la chaux hydraulique, ont été analysées par M. Salvétat dans le laboratoire de M. V. Regnault à la manufacture de Sèvres.

I, II, III — appartiennent aux marnes blanches ou à lymnées qui sont au-dessous des glaises vertes et présentent dans leur ensemble une épaisseur de $3^m,1$. Leur partie inférieure est à $11^m,50$ au-dessus de la haute masse du gypse.

IV — est une marne bleuâtre un peu plus argileuse, ayant $0^m,70$ d'épaisseur et se trouvant à $6^m,2$ au-dessus du gypse. On l'a employée pour obtenir du ciment.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	SO^3	Acide carbonique et eau.	Somme.
I	14,10	4,90	3,20	38,80	1,94	0,64	35,60	99,18
II	21,60	5,90	4,20	36,00	1,83	0,44	29,55	99,52
III	18,30	5,70	3,50	38,95	1,76	0,45	31,10	99,76
IV	28,10	9,40	5,20	29,70	traces.	0,30	27,30	100,00

Calcaire saccharoïde.

Tyrie. — Le calcaire saccharoïde et rougeâtre de l'île Tyrie, l'une des Hébrides, a été analysé par M. Damour à la demande de M. A. Boué (1).

CaO, CO^2	MgO, CO^2	MnO, CO^2	FeO, CO^2	Fe^2O^3	Somme.
94,94	1,13	3,19	0,30	0,24	99,80

Ce calcaire métamorphique, bien connu des minéralogistes, contient une grande quantité de petits cristaux d'augite vert et quelques cristaux blancs de feldspath. L'oxyde de fer qu'il laisse pour résidu, lorsqu'on le dissout dans un acide faible, a été examiné au microscope afin de voir s'il produisait des traces d'organisation; mais on n'en a pas observé. M. A. Boué remarque, d'ailleurs, qu'il y aurait intérêt à examiner à ce point de vue spécial des calcaires offrant une couleur rouge ou verte; car des algues calcaires se montrent en grande quantité dans certains calcaires rouges de la Leitha, dans le muschelkalk rouge de Weiler, et leur oxyde de fer est d'origine organique.

(1) A. Boué. *Sitzungsber. der Kais. Akad. der Wissinchaften, zu Wien*, LIV.

Roches siliceuses.

Sable grenatifère.

A 1 kilomètre de Pesaro, sur la plage de l'Adriatique, se trouve un sable fin dans lequel M. F. Pisani (1) indique du quartz, du calcaire, du fer oxydulé et beaucoup de grenat rose contenant 34 p. 100 de protoxyde de fer.

Sur quelques points des côtes de France, notamment à Belle-Ile-en-Mer, il se dépose également du sable qui est très-riche en grenats.

Grès.

Taviglianaz. — Le grès de Taviglianaz, qui est bien connu des géologues, a été analysé par M. de Fellenberg (2).

Carbonate de chaux et de magnesie.	Silicate de protoxyde de fer.	Feldspath.	Quartz.	Somme.
7,33	22,39	63,82	6,72	100,26

C'est une variété d'arkose dont les grains sont cimentés par des carbonates.

Luxembourg. — Le long du cours de la Sûre inférieure dans le grand-duché de Luxembourg, d'importantes carrières de grès sont exploitées avec avantage pour les constructions. Depuis quelques années, ces grès ont appelé l'attention parce que leur transport pourrait fournir du frêt aux chemins de fer, et nous extrayons d'un rapport de M. Mahon (3), vice-consul de France dans le grand-duché, divers documents qui les concernent.

Les grès de la Sûre inférieure appartiennent aux terrains du

(1) *Comptes rendus*, 8 janvier 1866.
(2) *Jahresbericht*, von Heinrich Will; 1865, 925.
(3) Extrait d'un rapport adressé à M. Drouin de Lhuys, Ministre des affaires étrangères. — Le rapport n'indique pas que les analyses ont été faites.

grès bigarré, du Keuper, ou même du grès vosgien. Leurs bancs inférieurs sont colorés en rouge, tandis que leurs bancs supérieurs qui occupent la crête des collines sont blancs ou légèrement jaunâtres. L'épaisseur des couches atteint 5 mètres, et l'on peut y trouver des blocs de toutes dimensions. Les carrières les plus estimées sont à Bollendorf, Dillingen, Girst, Born et à Rahlingen. Celles d'Udelfangen, entre Trèves et Rahlingen, fournissent des pierres de toute beauté, qui sont employées pour la sculpture et qui servent notamment pour la cathédrale de Cologne.

En mesurant avec le micromètre les grains de quartz de ces grès, on a trouvé que ceux d'Udelfangen sont les plus fins et n'ont pas plus de 1/2 dix-millième de mètre. Pour les grès choisis de Born, de Girst et de Rahlingen, les grains présentent à peu près les mêmes dimensions; ils ont d'ailleurs 6/10 à Steinheim, et varient de 7/10 à 9/10 à Bollendorf.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO, CO^2	MgO, CO^2	P^2O^5	HO	Somme.
A. Gilsenhof, à Bollendorf.	2,575	93,60	0,20	3,60	1,80	»	0,80	100,00
B. Fleissbach.	2,451	98,00	0,30	1,10	1,10	»	0,60	100,00
C. Spelzbüch, près Esternach. . . .	2,314	98,80	0,40	0,20	0,16	»	0,44	100,00
D. Entre Hinckel et Girst.	2,401	93,80	1,06	3,60	0,94	»	0,60	100,00
E. Steinheim.	2,440	75,30	6,90	14,10	3,20	traces	0,40	100,00
F. Rosport (rouge).	2,414	95,11	3,20	0,60	0,29	traces	0,80	100,00
G. Montagne de Thull, près d'Echternach (rouge).	2,277	88,40	10,70	»	»	traces	0,90	100,00
H. Castel (grès vosgien rouge). . .	2,436	98,00	1,20	»	»	»	0,80	100,00

On voit que la densité est la plus faible pour les grès qui sont argileux, comme celui d'Echternach Thull; tandis qu'elle est la plus grande pour le grès de Bollendorf, qui est aussi l'un des plus estimés.

Tous ces grès, lorsqu'ils ont été desséchés, retiennent moins de 1 p. 100 d'eau.

Les variétés rouges qui appartiennent au grès bigarré ne renferment pas ou presque pas de carbonates; on sait aussi qu'il n'y en a pas dans le grès vosgien. Certaines variétés de grès blanc comme celui de Steinheim peuvent au contraire en avoir plus de 17 p. 100.

Les carbonates contribuent à cimenter ces grès et rendent leur taille plus facile. Ceux de Steinheim et de Minden qui sont riches en carbonates fournissent des dalles et des marches d'escaliers.

Certains grès rouges d'Echternach sont réfractaires et servent à la construction des hauts fourneaux, ainsi que des fours à puddler. On emploie d'ailleurs le grès rouge de Gistarbrüch à faire des réservoirs qui peuvent servir à mettre de l'eau ou des acides.

Comme renseignements techniques, indiquons encore que les dalles brutes de ces grès se payent de 1f,10 à 1f,80 le mètre quarré. Le grès de Bollendorf revient à 18 fr. le mètre cube et celui de la Sûre inférieure à 20 fr. Les frais de transport sont environ de 1f,50 à 2 fr. par tonne et par 5 kilomètres.

Roches argileuses.

Limons.

Loire. — M. Durand-Claye a fait au laboratoire de l'École des ponts et chaussées l'analyse de quelques limons qui ont été déposés par la Loire pendant l'inondation de 1866.

I — a été recueilli dans le Val de la Loire après l'inondation. Cet échantillon avait été desséché à l'air avant d'être envoyé au laboratoire.

II — présentait une plaquette déposée sur l'une des bornes du canal d'Orléans, près de Combleux, à 7 kilomètres environ d'Orléans. Le dessus de cette borne avait été recouvert de 2m,75 d'eau pendant la crue, et l'épaisseur do la plaquette de limon était de 1 millimètre; en sorte que chaque mètre de hauteur d'eau d'inondation a donné un dépôt de 0mm,36.

III — a été obtenu dans un baquet, placé sur les bords de la Loire, à Orléans. Le baquet était rempli quand il s'est découvert; après l'inondation, il contenait de l'eau boueuse, tenant en suspension 42 kilogrammes de matières solides par mètre cube. Cette eau a été filtrée, et le résidu desséché à 100°.

Les analyses de ces trois limons de la Loire ont donné les résultats suivants :

	I		II		III	
1° Matières combustibles ou volatiles.						
Eau perdue à 100°. . .	0,50		5,40		»	
Azote.	0,35		0,40		0,29	
Autres matières volatiles ou combustibles.	7,15		9,60		10,71	
Total.	. . . . .	8,00	. . . . .	15,40	. . . . .	11,00
2° Matières minérales.						
Résidu insoluble dans les acides.	72,70		64,10		73,10	
Alumine, peroxyde de fer et autres bases du précipité par l'ammoniaque.	13,70		15,80		11,60	
Acide phosphorique. .	0,20		0,42		0,20	
Chaux.	2,15		2,00		2,20	
Magnésie.	1,10		0,68		0,70	
Acide carbonique et produits non dosés. .	2,15		1,60		1,20	
Total.	. . . . .	92,00	. . . . .	84,60	. . . . .	89,00
		100,00		100,00		100,00

On peut observer que ces limons de la Loire contiennent seulement quelques centièmes de carbonate de chaux, bien que, dans les environs d'Orléans, le fleuve soit encaissé dans des roches calcaires.

Si l'on admet, dit M. Durand-Claye, que le dépôt laissé par la Loire sur les terres envahies sans vitesse soit 1 millim., comme sur la borne du canal d'Orléans, on voit que chaque hectare inondé aurait reçu 10.000 × 0,001 = 10 mètres cubes de limon, dont le poids est d'environ 1.600 kilogr. par mètre cube, ou en tout 16.000 kilogr. Mais il est probable que ce chiffre est au-dessous de la vérité; car la hauteur d'inondation a été supérieure à $2^{m},75$, en moyenne, et les couches d'eau inférieures charrient beaucoup plus de limon que les couches supérieures.

Rhin. — Le limon (lehm) de la plaine du Rhin est marneux et quelquefois il devient ossifère, comme à Eguisheim près Colmar (1).

(1) Docteur Faudel et Scheurer-Kestner : Note sur la découverte d'ossements fossiles humains dans le lehm de la vallée du Rhin. (*Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Colmar*, 1865-66.)

L'analyse de cette dernière variété a été faite par M. Scheurer-Kestner qui l'a attaquée par l'acide chlorhydrique.

CaO, CO^2	MgO, CO^2	SiO^2 et Sable quartzeux.	Fe^2O^3, Al^2O^3	$CaCl^2$	SO^3	Eau hygroscopique.	Eau perdue au rouge.	Somme.
29,19	1,86	53,74	7,00	0,31	traces.	1,83	6,91	99,84

Cette composition du lehm du Rhin s'accorde avec celle que l'on connaît déjà, particulièrement avec les analyses de MM. Schill et Kœchlin-Schlumberger.

On peut observer qu'il contient un peu de carbonate de magnésie.

Il est surtout remarquable qu'on trouve dans le lehm du Rhin un sel aussi soluble que le chlorure de calcium. Ce sel y est d'ailleurs accidentel et en proportions variables. Comme le remarque M. Scheurer-Kestner, il est vraisemblable que sa présence doit être attribuée aux os enfouis dans le lehm, lesquels mettent en liberté le chlore qu'ils renferment, à mesure que s'opère la décomposition de leur matière organique.

Toutefois il n'en faut pas conclure que le lehm soit imperméable aux eaux pluviales et souterraines; car les couches argileuses se laissent laver très-difficilement et retiennent avec beaucoup de force les sels solubles; d'un autre côté la décomposition des os peut renouveler successivement le chlorure de calcium à mesure qu'il est dissous.

Argile gypseuse.

Pyrénées. — Une argile bigarrée gypseuse ayant une teinte rouge de vin et provenant de Cazeville, dans les Basses-Pyrénées, a été analysée par M. Eugène Jacquot (1).

SiO^2	Al^2O^3	MgO	Fe^2O^3	CaO, CO^2	CaO, SO^3	Sable quartzeux fin.	HO	Somme.
19,60	8,50	5,90	19,00	1,60	3,80	29,00	18,50	99

(1) *Description géologique des falaises de Biarritz* (Basses-Pyrénées), 35.

Cette argile se trouvait en lambeau au milieu des calcaires de Bidache, c'est-à-dire dans le terrain crétacé inférieur.

Les argiles bigarrées jouent, comme l'on sait, un rôle important dans la constitution géologique de la plaine qui s'étend au pied des Pyrénées. D'après M. Eugène Jacquot, quand elles sont en contact avec l'ophite, elles ne contiennent que des proportions insignifiantes de carbonate de chaux. Elles s'attaquent d'ailleurs facilement et complétement par l'acide chlorhydrique, et de plus elles offrent ce caractère distinctif qu'elles produisent une gelée. Leurs bases sont l'alumine, la magnésie. D'un autre côté, l'oxyde de fer résiste fortement à la dissolution par l'acide et une partie au moins est libre, à l'état de sesquioxyde anhydre; en outre du sable très-fin leur est mélangé. M. Eugène Jacquot n'hésite pas à rattacher ces argiles aux ophites, et il lui paraît vraisemblable qu'elles ont accompagné leur éruption.

Argilite.

Plusieurs argilites siluriennes des environs de Saint-Pétersbourg ont été analysées par M. Henry Struve (1).

Elles étaient attaquées par de l'acide chlorhydrique concentré, additionné d'acide nitrique, après qu'on les avait chauffées au rouge; le résidu minéral inattaquable était ensuite défalqué (2).

I. — Argilite rougeâtre, sans fossiles, plastique, employée pour les constructions et pour faire des briques; de Wolkewa.
Elle se retrouve à la profondeur de 77 pieds sous Saint-Pétersbourg.

II. — Argilite blanche, avec fucoïdes; du terrain silurien inférieur, qui se montre sur la côte nord de l'Esthonie; prise à Orro, quelques werstes à l'ouest de la station Chudleigh.

III. — Argilite gris jaunâtre, dans laquelle M. Ch. de Pander a constaté la présence de plantes nommées solenites; elle appartient au terrain silurien inférieur et a été prise à Pulkowa, au nord du chemin qui mène à Zarskoje-Selo.

IV. — Argilite bleue, qui est une variété de la précédente et provient également de Pulkowa. Ces deux argilites de Pulkowa sont plastiques et très-employées pour la poterie.

(1) *Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, 1865; VIII, n° 11.
(2) G. Bischof, *Lerbuch der phys. Géologie*, II, 472.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
I. .	40,31	20,05	13,15	2,92	traces.	1,75	4,67	7,75	3,35	6,05	100,00
II..	47,41	24,20	11,13	1,33	»	traces.	1,78	6,84	0,67	6,61	100,00
III.	47,22	20,92	10,22	2,60	»	»	5,55	6,47	0,06	6,96	100,00
IV.	49,67	20,76	6,05	5,59	»	»	5,24	4,66	0,95	7,08	100,00

D'après M. H. Struve, ces argilites siluriennes peuvent se réduire à deux variétés, parce que I, III et IV se laissent représenter par la même formule générale. Leur composition moyenne lorsqu'elles sont anhydres est la suivante :

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
I, III, IV.	49,32	22,98	6,34	5,24	»	0,70	5,12	6,71	1,59	100,00
II.	51,01	29,41	6,91	3,51	0,20	0,45	2,55	5,11	0,80	100,00

Indépendamment du sable et des mincraux inattaquables, ces argilites contiennent quelquefois de la pyrite de fer, de l'oxyde de titane et un peu de carbonate de fer; elles contiennent aussi du gypse et du chlorure de sodium, surtout lorsqu'elles sont puisées à une certaine profondeur au-dessous du sol, comme celles qui proviennent des sondages. Il en résulte même que les eaux artésiennes fournies par le terrain silurien inférieur de Saint-Pétersbourg sont notablement chargées de matières minérales.

Pyroschiste.

PULKOWA. — M. Henry Struve a analysé le schiste inflammable (Brandschiefer) du terrain silurien inférieur de Pulkowa (1).

Résidu.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Eau et matières organiques.	FeS^2	Eau hygroscopique.	Somme
49,87	12,51	6,13	2,33	1,08	1,11	1,11	0,78	9,89	6,49	9,83	101,13

(1) *Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, 1865; VIII, n° 13.

On peut donc le regarder comme formé de :

Résidu inattaquable.	49,87
Argilite privée d'eau.	25,05
Pyrite de fer.	6,49
Eau et matières organiques. . .	19,72
Somme.	101,13

L'argilite de ce schiste présente du reste à peu près la composition de l'argilite de Pulkowa appartenant au même terrain.

Micaschiste.

L'essai d'un micaschiste de Firminy près de Saint-Étienne (Loire), a donné à M. Ch. Mène (1) :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO, MgO	Ko, NaO	Perte au feu.	Somme.
65,0	25,0	2,0	5,0	1,5	1,5	100,00

(1) *Bulletin du laboratoire de chimie scientifique et industrielle.*

ROCHES PLUTONIQUES.

Pyroxénite.

Bustamite.

VICENTIN. — La bustamite, ou du moins un bisilicate qui en est très-voisin, forme dans le Campiglièse des filons avec la galène et le minerai de cuivre. Cette substance minérale constitue donc une roche et c'est à ce titre que nous donnons, d'après M. Pisani (1), l'analyse d'une bustamite du Monte Civillina dans le Vicentin.

Elle présente des nodules fibro-lamellaires, de couleur gris rose, ayant une densité de 3,16 :

SiO^2	MnO	CaO	MgO	FeO	CaO, CO^2	HO	Somme.
46,19	28,70	13,23	2,17	1,05	6,95	3,06	101,35

Déduction faite de l'eau et du carbonate de chaux qui est mélangé, le rapport entre les quantités d'oxygène des bases à 1 atome et de la silice est ÷ 1 : 2; ce silicate serait donc un pyroxène fibreux à base de manganèse et de chaux.

Péridotite.

NORWÈGE. — Le péridot peut, quelquefois, former des roches; telles sont la lherzolite des Pyrénées analysée par M. Damour, et la dunite de la Nouvelle-Zélande découverte par M. de Hochstetter (2).

En Norwége, MM. Kjérulf (3) et Dahll (4) viennent aussi de signaler le péridot en roche dans plusieurs gisements, et sans avoir connaissance des travaux que nous venons de rappeler, ils l'ont décrit sous le nom d'*olivinfels*.

La péridotite de Norwége est grenue et ressemble aux bombes de péridot qui sont rejetées par les volcans de l'Eifel. Sa couleur est vert jaunâtre dans la cassure fraîche. A Vanelo, elle paraît

(1) *Comptes rendus*, 8 janvier 1866.
(2) *Revue de géologie*, t. III, p. 114, et t. IV, p. 60.
(3) Communication de M. Kjérulf.
(4) *Forhand è Christiana Vidersk.* Selskab, 1864, 322 à 325.

renfermer quelques aiguilles d'amphibole grammatite ainsi que du diallage bronzite. A Thorsvig on y voit du fer chromé et quelques paillettes de talc. D'après M. Kjérulf, sa densité est de 3,24 à Vanelo, 3,32 à Murudal, 3,31 à Thorsvig.

La variété de l'île Kaloholm a été analysée par M. Hanan :

SiO^2	Al^2O^3	NiO	MnO	FeO	MgO	Perte au feu.	Somme.
37,42	1,10	0,17	0,17	8,88	48,22	4,71	99,73

En calculant les quantités d'oxygène, on trouve 19,44 pour la silice et 21,40 pour la magnésie avec le protoxyde de fer ; elles sont donc à peu près égales.

Cette péridotite de Norwége se présente en monticules de couleur brun grisâtre à la surface, et son aspect est celui de la serpentine. On la trouve : 1° à l'île Kaloholm, près du fameux Hestmandö (l'île de l'Homme à Cheval), et à Thorsvig dans la Norwége septentrionale ; 2° à Murudal, à l'ouest de la vallée Gudbrandsdal ; 3° dans la vallée du Vanelo, district de Bergen. Dans ce dernier gisement elle joue d'ailleurs un rôle important ; aussi M. Keilhau, qui l'avait considérée à tort comme un grès métamorphique, lui avait-il consacré une teinte jaune spéciale dans sa carte géologique de la Norwége.

Granite.

Lyonnais. — Plusieurs analyses de granites provenant des environs de Lyon ont été faites par M. Mène (1), et nous donnons ici les principales :

A. Granite ancien de Noirétable.

B. Granite de la Carelle (Rhône). Il est rougeâtre avec mica noirâtre ; son feldspath est quelquefois en gros cristaux. Il forme des masses considérables le long du ruisseau de Falçon, et on l'exploite pour les routes ainsi que pour les constructions.

C. Granite à gros grains de la tranchée du moulin à vent, au sud de Saint-Étienne de Vaux (Rhône).

(1) *Bulletin du laboratoire de chimie scientifique et industrielle*, année 1861.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	KO	NaO	CaO MgO	Perte au feu	Somme.
A.	2,655	70,0	17,0	0,5	»	7,6	1,1	2,3	0,8	99,3
B.	2,809	74,0	19,0	0,5	2,8	2,5	»	»	1,2	1,000
C.	2,615	75,3	9,4	4,5	1,2	7,2	30,2	traces.	2,2	1,000

Ces granites provenant de l'est du plateau central sont riches en silice, et leur composition chimique les rapproche des granites à deux micas de Vologne et de Méhachamp dans les Vosges (1).

Mull. — M. le professeur Samuel Haughton (2) a donné une analyse du granite de Ross dans l'île de Mull, lequel est formé d'orthose rouge de chair, de mica noir et contient beaucoup de quartz :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	NaO	KO	HO	Somme.
74,48	16,20	0,20	0,13	0,27	3,78	4,56	0,60	100,22

Finlande. — M. Henry Struve (3) a analysé le beau granite de Finlande qui est connu sous le nom de rapakivi, et dans lequel l'orthose se trouve entouré par une couronne d'anorthose (oligoclase) :

SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
75,06	0,36	11,70	1,04	1,57	traces.	1,01	0,19	6,25	2,56	0,63	100,37

Suivant M. Struve c'est peut-être au fer titané du rapakivi qu'il faudrait attribuer la présence de l'oxyde de titane contenu dans les argiles diluviennes et même siluriennes de Saint-Pétersbourg.

Luxuliane.

Dans la paroisse de Luxuliane, près de Lostwithiel en Cor-

(1) *Annales des mines*, [5], année 1853, III, 396.
(2) *Jahresbericht*, von Heinrich Will, 1865 ; 924. — Dublin, *Quarterly Journal of science*, XVII, 95.
(3) *Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, 1865 ; VIII, n° 11.

nouailles, MM. Richard Talling et Pisani (1) ont signalé un granite tourmalinifère auquel ils donnent le nom de *Luxuliane*. Son orthose est en cristaux rouge de chair et il contient très-peu de quartz ; tandis que la tourmaline devient le minéral dominant de la roche et se présente en aiguilles radiées d'un vert sombre. C'est simplement une variété de granite exceptionnellement riche en tourmaline.

Bertrandite.

Le nom de *bertrandite* a été proposé par M. L. Pascal (2) en l'honneur de M. Bertrand de Doue, pour désigner une autre variété de granite qui est riche en pinite. On sait en effet que la pinite s'observe souvent dans le granite de l'Auvergne, du Velay, et en général du plateau central : elle s'y montre non-seulement en nodules, mais encore en beaux cristaux.

Toutefois, si l'usage veut qu'on appelle syénite un granite avec amphibole, il n'y a aucune nécessité à donner un nom spécial à une roche présentant un minéral accidentel comme la pinite. Les noms de personnes ont d'ailleurs l'inconvénient de déguiser en quelque sorte la composition minéralogique de la roche qu'ils prétendent définir ; ils viennent inutilement compliquer la nomenclature géologique qui reste plus simple et plus intelligible, lorsque les variétés d'une roche sont simplement caractérisées par un adjectif. Aussi, dans le cas présent, la dénomination de granite pinitifère nous paraît-elle préférable et bien suffisante.

Porphyre.

La Carelle. — Près de Saint-Étienne de Vaux, à la Carelle, dans le département du Rhône, un porphyre forme des filons dans un granite à gros grains. Ce porphyre présente une pâte feldspathique brunâtre, très-compacte, très-dure, parsemée de taches verdâtres. M. Ch. Mène (3) a fait un essai de ses différentes parties.

I. Porphyre.
II. Partie feldspathique.
III. Partie verdâtre.

(1) *Comptes rendus*, 28 nov. 1864. — Pisani : sur quelques nouveaux minéraux du Cornouailles.
(2) *Étude géologique du Velay ;* 1865, 286.
(3) *Bulletin du laboratoire de chimie scientifique et industrielle ;* 1863, 290.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	Alcalis, chaux et magnésie.	Perte au feu.
I.	2,663	65,0	20,0	»	4,0	8,0	2,0
II.	2,582	63,0	18,8	0,8	1,5	14,2	1,7
III. . . .	3,000	58,0	1,5	»	10,5	28,0	2,0

La composition chimique de ce porphyre indique qu'il est à base d'orthose.

On voit aussi que ses parties vertes ont une densité plus grande et sont moins riches en silice que le reste de la roche ; mais il doit y avoir une erreur sur le chiffre de l'alumine ; car il est bien inférieur à celui qu'on obtient habituellement en analysant les parties vertes des roches granitiques ou porphyriques.

Eurite.

Raibl. — Des variétés d'eurite du village Kaltwasser, près de Raibl, ont été étudiées par M. Tschermak (1).

A. Eurite porphyrique contenant des cristaux limpides d'orthose et de rares lamelles d'anorthose disséminées dans une pâte rouge, grise ou verte. On n'y observe pas de quartz. Elle fond facilement en un verre gris quand elle est en esquilles minces.

Voici, d'après M. Fr. Hess, quelle est sa composition :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	MgO	KO	NaO	Fe^2O^3	Somme.
2,680	75,97	13,84	0,15	6,65	2,58	1,20	100,39

B. Eurite verte à pâte grenue, dans laquelle on distingue quelques lamelles d'anorthose, un minéral noir à éclat gras, du mica et des grains de chaux carbonatée. Son analyse a été faite par M. C. Ungar :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	FeO	Fe^2O^3	CO^2	HO	Somme.
2,680	56,75	18,54	6,07	1,85	4,47	3,14	3,44	0,44	1,33	2,43	98,46

(1) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie.* Heinrich Will, 1865, 923.

C. Eurite avec pinitoïde (1). Elle forme des masses à structure schisteuse et elle s'observe aussi dans des brèches et des roches clastiques accompagnant l'eurite porphyrique. Sa couleur est grise ou vert pomme. Cette roche contient d'ailleurs des parties d'eurite porphyrique et des grains de chaux carbonatée. Elle est facilement fusible et sa dureté est seulement égale à 2. M. Tschermak en a fait l'analyse et a obtenu :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	FeO	CO^2	HO	Somme.
62,0	18,1	1,5	1,6	4,1	1,0	4,1	0,4	6,2	99,0

Toutes ces roches ont plus de potasse que de soude, et doivent être considérées comme des dégradations du porphyre proprement dit.

La substance tendre et verte à laquelle M. Knop a donné le nom de pinitoïde s'observe, du reste, très-fréquemment dans les granites et en général dans les roches à base d'orthose.

Euphotide.

M. G. Tschermak (2) a étudié l'euphotide qui se trouve près du lac Wolfgang, entre Gschwend et Niedergabenalpe ; elle est intercalée dans un grès quartzeux de la formation de Gosau, et de la serpentine ainsi qu'une roche chloritique lui sont associées. Comme toutes les euphotides, elle contient du diallage et de l'anorthose. Son analyse a été faite par M. K. Paul :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	FeO	Fe^2O^3	HO	Somme.
2,89	49,73	17,37	8,14	7,75	0,84	3,00	3,53	5,60	2,20	98,16

Mélaphyre.

M. G. Tschermak (3) a observé du péridot décomposé dans plusieurs roches qui précédemment étaient considérées comme mélaphyres ou comme porphyres augitiques. Il paraît en conclure que le péridot ne peut servir à distinguer ces roches de celles appartenant à la famille du basalte et qu'elles seraient seulement des dolérites ou des basaltes décomposés.

(1) *Revue de géologie*, tome I, p. 41.
(2) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*, 920. Henrich Will, 1865, 917.
(3) *Jahresbericht der Chemie*, von Henrich Will ; 1865, 923.

Nous remarquerons cependant que le péridot caractérise essentiellement la basalte ; et dès que sa présence est réellement constatée dans une roche, on ne doit plus conserver à cette dernière le nom de mélaphyre ou de porphyre augitique.

Maintenant, il est impossible d'admettre que les mélaphyres et les porphyres augitiques ne soient autre chose que des roches privées de leur péridot par une décomposition ultérieure ; car, dans beaucoup de pays, elles se montrent sans aucune altération, et cependant elles ne renferment pas traces de péridot. D'un autre côté, le développement du péridot est tout à fait indépendant de celui du albrador et de l'augite.

Par conséquent, le mélaphyre et le porphyre augitique sont bien réellement des roches originaires, au même titre que la basalte, duquel elles se distinguent surtout par l'absence du péridot.

Tonalite.

Nous avons décrit, d'après M. vom Rath (1), une roche de l'Adamello, nommée tonalite, dans laquelle il avait cru reconnaître un nouveau feldspath répondant à la formule 1 : 3 : 7.

M. Kenngott (2), frappé de la facilité avec laquelle les feldspaths d'espèces différentes s'associent les uns avec les autres, a émis l'avis que cette espèce nouvelle pourrait être le résultat d'une mâcle de deux feldspaths, l'un à base de chaux, l'autre à base de soude ; puis discutant les chiffres des analyses faites par M. vom Rath, il observe que la formule 1 : 3 : 7 répond moins bien à la composition de ce minéral que l'hypothèse qui consiste à le regarder comme un mélange de labrador et d'oligoclase.

Nous remarquerons toutefois que le rapport 1 : 3 : 7 a également été obtenu par M. Delesse (3) dans l'analyse de différents feldspaths anorthoses ; la composition de ces feldspaths du sixième système, et particulièrement leur teneur en silice, paraissent même varier d'une manière continue entre l'albite et l'anorthite.

(1) *Revue de géologie*, IV, 66.
(2) *Zeits. d. deut. geol.*, XVII, 569.
(3) Delesse : *Annales des mines* ; 4, XVI, 327.

ROCHES VOLCANIQUES.

Trachyte.

M. G. vom Rath (1) a analysé une série de trachytes provenant pour la plupart, des monts Euganéens, près de Padoue :

A. Trachyte brun avec beaucoup d'oligoclase et d'hornblende, contenant peu de mica; du Monte Alto.
B. Trachyte ayant un peu la structure tabulaire, renfermant de gros cristaux d'oligoclase et beaucoup de fer oxydulé magnétique ; de Zovon.
C. Trachyte noir, voisin du perlite, à pâte schistoïde dans laquelle se trouvent de petits cristaux de feldspath ; du Monte Sieva.
D. Trachyte à pâte grise contenant beaucoup d'oligoclase et peu de sanidine ; du Monte Rosso.
E. Rhyolite blanc, très-grenu, à pâte dure paraissant homogène dans laquelle du feldspath sanidine et du quartz se reconnaissent à l'aide de la loupe ; du Monte Venda.
. Rhyolite à pâte grise et blanche, renfermant beaucoup de grains de quartz et de sanidine, un peu d'oligoclase, de l'hornblende et du mica magnésien ; de Luvigliano.
G. Rhyolite du Monte Amiata aux environs de Sienne.
H. Trachyte gris violet tacheté, semblable au hornstein, contenant du sanidine, du quartz et du mica magnésien ; de Monte Menone.
I. Trachyte brun, également semblable au hornstein ; il renferme beaucoup de cristaux et de grains de quartz, un peu moins de sanidine, mais pas de mica ; de Monte di Cattajo.

	SiO^2	AL^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A.	68,18	13,65	6,69	2,23	0,42	1,73	6,00	»	99,45
B.	68,52	13,16	5,74	1,64	0,14	3,26	8,00	»	100,80
C.	62,21	12,49	9,32	3,02	1,30	2,57	7,51	2,79	101,21
D.	65,31	15,24	5,10	3,33	1,50	4,08	5,31	»	100,23
E.	76,03	13,32	1,74	0,85	0,31	3,83	5,29	»	101,68
F.	74,77	12,26	3,45	0,85	0,21	1,59	5,40	»	98,85
G.	76,82	14,01	»	1,76	»	7,01 (*)		0,40	100.00
H.	81,49	8,50	2,27	0,71	0,21	2,63	3,67	1,12	100,60
I.	81,60	8,08	2,09	0,47	0,05	1,83	3,45	1,38	98,95

(*) D'après la perte.

(1) *Jahresbericht über die Fortschitte der Chemie*, Heinrich Will, 1865, p. 917.

L'analyse du trachyte (rhyolite) du Monte Amiate n'a sans doute pas été faite complétement, car elle n'indique dans cette roche ni oxyde de fer, ni magnésie.

Trachyte vitreux.

Perlite.

Donnons encore une analyse du perlite du Monte Menone d'après M. vom Rath (1) :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	KO	NaO	HO	Somme.
82,80	7,94	1,05	0,35	1,85	3,05	3,94	100,98

Ce perlite contient beaucoup moins d'alumine que ceux analysés jusqu'ici, ce qui paraît compensé par une richesse plus grande en silice. Il est bizarre aussi qu'il renferme moins de potasse que de soude, l'inverse ayant lieu pour les perlites de Hlinik et de San Antiocco d'après les analyses de MM. Rammelsberg et Delesse (2).

Rétinite.

M. G. vom Rath (3) a également analysé des rétinites des Monts Euganéens.

A. Rétinite porphyrique noir qui ressemble à de l'obsidienne et qui contient beaucoup de sanidine en petits cristaux ; du Monte Sieva.
B. Pâte brune du rétinite porphyrique; de Monte Sieva.

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A. .	71,19	11,86	3,67	0,63	0,37	4,93	4,76	3,39	100,80
B. .	74,46	14,28	1,40	0,39	0,23	1,88	3,42	6,11	99,17

L'échantillon A contient moins d'eau qu'il n'y en a généralement dans le rétinite, et sa composition semblerait même le rapprocher du perlite.

(1) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*, 1865, 917.
(2) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*.— Heinrich Will, 1865, 917.
(3) Roth: *Die Gesteins — Analysen ;* 15.

Obsidienne.

M. Damour (1) a fait l'analyse de l'obsidienne bien connue de Mexico qui est employée à différents usages :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
2,360	73,63	14,25	1,80	traces.	1,42	4,39	4,61	100,10

Lave.

RADICOFANI. — La lave doléritique grise et grenue qui forme le cratère volcanique de Radicofani a été analysée par M. vom Rath (2).

Densité.	SiO^2	Al^2O	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
2,808	55,00	14,38	9,29	8,51	7,72	2,52	2,25	0,48	100,15

ETNA. — La lave rejetée par l'Etna dans l'éruption de 1865 a aussi été analysée.

M. C. W. C. Fuchs (3) a obtenu pour un échantillon noir, à grain fin, contenant de l'augite, du labrador en cristaux de 3 millimètres, et quelques grains de péridot qui provenaient du ravin de Lingua Grossa :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Cl	Somme.
2,738	49,27	18,54	6,98	5,62	10,38	3,76	2,22	3,45	0,14	100,36

D'autres échantillons de la lave de l'Etna rejetés lors de la même éruption ont été examinés par M. Fouqué. Leur composition minéralogique ne diffère pas de celle qui vient d'être indiquée; mais leur densité reste comprise entre 2,86 et 2,89, nombres notablement supérieurs à la densité précédente.

(1) *Jahresbericht*, 1865, 924.
(2) *Jahresbericht* von Heinrich Will, 1865, 917.
(3) *Jahresbericht* von Heinrich Will 1865, 919.

Comme les autres laves, ces échantillons agissent fortement sur l'aiguille aimantée, ce qui doit surtout être attribué au silicate à base de fer constituant leur pâte. Leur composition moyenne est représentée par les nombres suivants :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO
50,97	20,49	11,93	9,17	4,03	0,43	2,98

On trouve en outre dans cette lave de l'Etna 0,65 d'eau, 0,13 de chlorure de sodium avec des traces de sulfates ainsi que de phosphates. Elle ne renferme d'ailleurs ni fluor, ni sels ammoniacaux en quantité sensible. A l'aide de l'analyse spectrale, M. Fouqué y a constaté l'absence du lithium, du cœsium et du rubidium.

Si l'on compare la lave de l'Etna de 1865 avec celles des éruptions antérieures, on constate qu'elle en diffère très-peu et qu'elle se rapproche beaucoup de celle qui a envahi Catane pendant l'année 1669 (1).

KILAUEA. — Deux laves du grand volcan Kilauea à Hawai (îles Sandwich) ont été analysées par M. A. Hague (2).

A. Lave vitreuse, brun noirâtre, à éclat métallique, renfermant une multitude de cellules; prise à la surface d'une coulée.
B. Basanite ayant la forme de gouttes solidifiées.

	SiO^3	TiO^2	AL^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
A. .	50,69	0,70	16,19	5,51	11,02	traces.	10,49	4,28	1,36	0,94	101,18
B. .	51,42	»	15,17	2,71	13,94	traces.	10,20	4,72	0,96	1,79	100,91

Il est rare qu'une lave aussi peu silicatée que A conserve l'état vitreux, même lorsqu'on la fond artificiellement dans le laboratoire; cette circonstance doit sans doute être attribuée à une rapidité exceptionnelle de son refroidissement à la surface supérieure de la coulée.

(1) J. Roth, *Die Gesteins Analysen*, 42.
(2) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*, Heinrich Will, 1865, p. 919.

Cendres volcaniques.

M. O. Prölls (1) a analysé des cendres volcaniques qui furent rejetées en grande quantité, le 3 janvier 1864, par le volcan Kloet de Java. Ces cendres présentaient une poudre fine gris clair, dans laquelle on distinguait, au moyen de la loupe, des débris de labrador blanc, de l'augite vert foncé, ainsi que des grains de péridot jaune verdâtre :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO
53,36	20,41	8,62	7,30	5,37	1,13	3,81

Leur composition se rapproche de celle des cendres de l'Etna analysées par M. Sartorius de Waltershausen ainsi que des cendres du volcan Gunung Guntur de Java analysées par M. E. Schweizer. Du reste, on sait que cette composition est assez variable et qu'elle change pour les cendres qui sont rejetées à des époques différentes par le même volcan (2).

Dolérite.

Téolo. — Une dolérite grenue, d'une couleur gris verdâtre foncé, provenant de Téolo dans les monts Euganéens, a donné à M. G. vom Rath (3) :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
54,10	11,82	13,92	8,79	5,56	0,47	5,01	1,41	101,08

Elle renferme plus de 1 pour 100 d'eau et sa composition la rapproche de la dolérite de Löwenburg dans les Sept-Montagnes, dont l'analyse a été faite par MM. G. Bischof et Kjerulf (4).

Skye. — M. S. Haughton (5) a déterminé la composition d'une dolérite du lac Scavig dans l'île de Skye, et de plus celle des deux minéraux qui la constituent essentiellement :

(1) *Jahresbericht* von Heinrich Will, 1865, 919. — *Jahrbuch der mineralogie* 1865, 287.
(2) *Revue de géologie*, I, 52.
(3) *Jahresbericht*, 1865, 917.
(4) Roth, *Die Gesteins Analysen*: 41.
(5) *Jahresbericht über die Fortschritte der chemie*, Heinrich Will. 1865, 920.

I. Labrador.
II. Augite.
III. Dolérite.

	SiO^3	Al^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	HO	Somme.
I. . .	53,60	29,86	0,20	»	1,02	0,07	4,92	0,80	0,48	100,97
II. . .	50,80	3,00	9,61	1,08	19,35	15,06	0,44	0,22	0,60	100,16
III. .	48,12	23,40	3,28	1,68	15,43	5,31	1,86	0,03	0,48	99,59

Anamésite.

M. C. von Leonhard avait donné le nom d'anamésite à des trapps qui sont intermédiaires entre la dolérite et le basalte. On les trouve particulièrement bien développés à Steinheim près de Hanau, et ils viennent d'être analysés par M. O. Prölls (1):

I. Anamésite vert foncé passant au noir, constituant la masse principale de la nappe; elle est presque compacte, montrant seulement de petites cavités qui sont généralement vides, et beaucoup de druses tapissées par de la sphérosidérite, de la chaux carbonatée et de l'arragonite.
II. Variété plus claire, gris de cendres, d'aspect moins compacte ; renfermant du labrador et un peu d'augite.
III. Variété plus claire, poreuse, formant la partie supérieure et inférieure de la nappe.

	SiO^3	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
I.	50,21	14,24	11,90	7,84	8,67	0,66	3,92	2,01	99,35
II.	53,69	14,15	14,94	6,73	4,62	0,54	2,80	1,75	99,22
III.	53,25	14,14	11,63	9,17	7,10	0,62	3,30	0,77	99,98

Par sa composition chimique, aussi bien que par le labrador et par l'augite qu'elle renferme, l'anamésite peut être considérée comme une dolérite. Toutefois, elle présente une variété de cette roche ayant une structure cristalline peu développée et dans laquelle les minéraux constituants sont généralement indiscernables, en sorte qu'elle passe au trapp.

Si l'on compare maintenant la partie centrale (I) de la nappe d'anamésite avec la partie qui forme ses bords (III), l'on constate

(1) *Jahresbericht über die Fortschritte der chemie*, Heinrich Will, 1865, 921.

des différences bien marquées dans ses caractères minéralogiques et aussi dans sa composition chimique ; car la partie supérieure contient plus de silice et moins d'eau que la partie centrale.

Les mêmes résultats ont déjà été obtenus par M. Delesse dans ses recherches sur le métamorphisme des roches éruptives.

Trapp.

AHUN. — M. Grüner (1) a étudié une roche trappéenne remontant à l'époque pendant laquelle s'est déposé le bassin houiller d'Ahun qui longe la Creuse entre Guéret et Aubusson.

Cette roche est compacte, de couleur gris foncé ou vert noirâtre, passant au vert olive et au jaune dans les parties altérées ; sa cassure est plane ou largement conchoïde en grand, mais terreuse en petit ; par insufflation elle donne l'odeur argileuse. Quelquefois on y distingue de petits cristaux de pyroxène augite, et accidentellement quelques grains de quartz vitreux. Elle renferme aussi du fer carbonaté. Dans quelques dykes se trouvant près d'Aubusson, M. Gruner signale du mica ferromagnésien, en sorte qu'elle passe alors à la kersantite. Aux environs de Commentry et dans le département de la Loire, une variété de cette roche, qui est également intercalée dans le terrain houiller, contient des amandes de quartz et de chaux carbonatée.

Deux analyses de la roche des Fourneaux (bassin houiller d'Ahun) ont été faites par M. Mallard :

A. Vert à texture serrée et d'une couleur vert noirâtre foncé.
B. Vert à cassure grenue avec cristaux d'augite apparents.

	SiO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO, Alcalis. (Diff.)	HO,CO^2 et perte au feu.	Somme.
A. . .	60,83	20,13	7,66	5,38	6,00	100,00
B. . .	56,23	22,93	7,43	7,51	5,90	100,00

M. Grüner a constaté d'ailleurs que la roche verte des Fourneaux se change vers le bas en une masse blanche ou gris clair, et comparant entre elles ces deux variétés, il a trouvé :

(1) Grüner, *Bulletin de la Société géologique* [2] XXIII, 96.

	Densité.	Perte au feu.	Résidu insoluble dans Cl H.
I. Verte.	2,62	4,00	78
II. Blanche. . . .	2,54	10,00	75

L'ensemble de ces recherches montre que la roche éruptive du bassin houiller d'Ahun est un trapp à base de feldspath anorthose. Elle se laisse décolorer et attaquer en partie par les acides ; en outre elle est mélangée de carbonates. Dans les variétés qui contiennent des cristaux d'augite, elle passe du reste au mélaphyre.

M. Grüner observe que cette roche éruptive présente une grande importance géologique : car elle se retrouve dans le bassin de l'Allier et dans plusieurs bassins houillers desquels elle est contemporaine. C'est elle notamment que MM. Puvis, Berthier et Dufrénoy ont nommée roche noire à Noyant et à Fins ; MM. Boulanger et Cordier, dioritine à Doyet et à Commentry. Elle se montre aussi dans le terrain houiller de Brassac, où elle forme des filons et des nappes ; mais de même qu'à Commentry, elle peut s'y charger de mica et alors se transformer en kersantite (1).

Enfin, M. Grüner la rapproche encore des mélaphyres intercalés dans le terrain houiller de la Sarre, ainsi que des divers trapps (Greenstones, Whinstones) qui s'observent dans le terrain houiller de l'Angleterre.

STAFFORDSHIRE. — M. Forbes (2) a étudié les roches trappéennes du Staffordshire méridional qu'il divise en trois groupes : celles qui constituent des massifs affleurant à la surface du sol ; celles qui recoupent, sous forme de dykes et d'amas, les couches du terrain houiller et que les mineurs appellent « roche verte » (green rock) ; enfin celles qui forment de petits filons, souvent très-irréguliers, qui altèrent à la fois la houille et les roches encaissantes, et que les mineurs nomment « cheval blanc » (white horse), désignant ainsi un trapp blanc ou feldspathique.

Un examen attentif de ces variétés, à l'aide de l'analyse chimique et du microscope, a convaincu M. Forbes qu'elles appartenaient toutes à un seul et même type, ayant fait éruption après la consolidation du terrain houiller. Suivant M. Forbes, le terrain séparé

(1) Delesse : *Études sur le métamorphisme des roches ;* 1858, page 66.
(2) *British assoc.*, 1865, *Trans.* 53.

sur la carte du Geological Survey sous le nom de cendre basaltique, ne devrait pas être conservé et serait simplement un produit de l'altération de cette roche éruptive unique.

Les noms les plus divers ont été donnés à cette roche; on l'a appelée basalte, greenstone, trapp, trapp blanc, roche felspathique blanche, etc. Le microscope montre qu'en réalité elle est composée d'un feldspath à base de chaux, probablement labrador, avec un peu d'augite et qu'elle contient toujours du fer titané : ce dernier caractère est très-constant. On n'y observe pas de fer métallique comme M. Thomas Andrews en a signalé dans les trapps de l'Islande. Suivant M. Forbes, c'est la nature de l'altération à laquelle la roche a été soumise qui lui donne ses divers aspects.

La structure prismatique domine d'ailleurs dans l'intérieur des massifs, et quelquefois la roche encaissante manifeste elle-même cette structure.

M. Forbes annonce qu'il complétera son travail par de nombreuses analyses chimiques.

Néphélinite.

VOGELSBERG. —M. A. Knop (1) a fait une analyse complète de la néphélinite classique de Meiches dans le Vogelsberg. Cette roche présente un agrégat cristallin de népheline et d'augite, contenant en moindre quantité du fer oxydulé magnétique, de l'amphigène, un feldspath particulier cristallisant dans le système de l'orthose, du sphène, de l'apatite et de la sodalite. L'analyse a donné pour la masse de la roche :

SiO^2	TiO^2	PO^5	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	BaO	StO (*)	Somme.
43,891	1,239	1,390	19,249	12,005	10,578	2,811	1,726	9,127	0,172	0,008	102,191

(*) Calculée d'après la teneur du feldspath en baryte et en strontiane.

Il y avait en outre des traces de fluor, de chlore, d'acide sulfurique et d'oxydule de manganèse.

Voici la composition des divers minéraux formant cette roche :

(1) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*, Heinrich Will, 1865, 921.

A. Amphigène.

SiO^2	Al^2O^3	FeO	KO	NaO	CaO	Somme.
56,61	22,92	2,33	13,65	2,95	1,68	100,14

B. Népheline, ayant l'éclat gras, fortement translucide, d'une couleur blanc grisâtre, jaune clair ou bien rouge hyacinthe; ses cristaux sont des prismes hexagonaux.

SiO^2	Al^2O^3	FeO	KO	NaO	CaO	Somme.
47,094	30,694	1,759	1,051	6,797	13,384	100,779

C. Feldspath dont la composition se rapporte à un oligoclase barytifère et riche en potasse, qui n'a presque pas de chaux et présente la forme cristalline de l'orthose. Il renferme aussi des traces d'acides titanique et phosphorique, ainsi que de magnésie et d'oxydule de manganèse :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	KO	NaO	BaO	SrO	Somme.
59,69	21,04	2,27	0,95	8,61	6,55	2,27	0,36	101,74

D. Pyroxène augite auquel un peu de fer oxydulé et de feldspath se trouvent mélangés :

TiO^2	SiO^2	Al^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	K O	NaO	BaO (*)	Somme.
1,10	48,15	9,86	8,60	1,40	22,55	9,28	0,44	0,69	0,19	102,26

(*) Avec strontiane.

Météorites.

NEWTON. —M. J. L. Smith (1) a analysé une météorite du comté Newton dans l'Arkansas. Sa surface était en partie recouverte

(1) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*, Heinrich Will, 1865, 947-948.

par du carbonate de chaux et son poids spécifique a varié de 4,5 à 6,1. Elle présentait du fer nickelé, du fer chromé, du fer sulfuré, de l'hornblende, du péridot et du carbonate de chaux qui pourrait bien s'être déposé postérieurement à la chute. M. Smith a trouvé pour ses différentes parties :

A. Fer nickelé.
B. Hornblende.
C. Péridot.

	Fe	Ni	CO	Cu, P	Somme.
A.	91,23	7,21	0,71	trace.	99,15

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	MnO	MgO	KO	NaO	LiO	Somme.
B.	52,10	1,02	16,49	1,25	29,81		0,24		100,91

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	MgO	Somme.
C.	42,02	0,46	12,08	47,25	101,81

Comme les années précédentes, les météorites ont donné du reste lieu à de nombreuses recherches, et parmi celles qui embrassent l'ensemble de leur étude, nous mentionnerons une brochure de M. le docteur A. Kenngott (1) résumant une leçon faite à Zurich, un ouvrage de M. Otto Buchner (2) qui traite de leur histoire ainsi que de leur composition minéralogique et chimique, et un travail important de M. Daubrée (3) dont nous allons donner une analyse.

— Le but de ce travail était de rechercher au moyen d'expériences synthétiques quelle est la constitution des pierres météoriques et leur analogie avec les roches qui composent l'écorce du globe.

Après avoir donné une idée générale d'une classification des principaux types que présentent les météorites, depuis les fers purs jusqu'aux pierres exemptes de fer, M. Daubrée étudie les

(1) Docteur A. Kenngolt, *Ueber die Meteoriten*. — Leipzig, 1863.
(2) *Die Meteoriten in Sammlungen*.
(3) *Comptes rendus*, t. LXII, p. 200, 360 et 1660; — et *Bulletin de la Société géologique*, 2e série, t. XXIII, p. 291.

produits de la fusion des météorites (1), et constate que les pierres donnent deux parties, l'une pierreuse, l'autre formée d'un culot métallique.

La partie pierreuse est constituée par deux substances cristallines distinctes, le péridot et l'enstatite (bisilicate de magnésie) : cette dernière domine généralement : ces deux substances existaient dans la météorite à l'état de mélange intime. Il est extrêmement remarquable de voir une simple fusion transformer les météorites, dont la structure est à peine cristalline, en masses formées par l'enchevêtrement de cristaux ayant souvent des dimensions très-notables. M. Daubrée tire de ce fait cette conclusion, en ce qui concerne le mode de transformation des météorites. « S'il était permis, dit-il, de chercher quelque analogie autour de nous, nous dirions que les cristaux obtenus par la fusion des météorites rappellent les longues aiguilles de glace que l'eau liquide forme en se congelant, tandis que la structure à grains fins des météorites naturelles ressemble plutôt à celle du givre ou de la neige, formés, comme on le voit, par le passage immédiat de la vapeur d'eau atmosphérique à l'état solide, ou encore à celle de la fleur de soufre. »

M. Daubrée constate ensuite la grande analogie des météorites du type pierreux avec les roches de péridot et surtout avec la lherzolite qui, d'après M. Damour, est un mélange de péridot, d'enstatite et de pyroxène diopside. Cependant, au lieu du fer oxydulé, elles contiennent du fer nickelé, et l'on y trouve du phosphure de fer et de nickel, qui fait défaut dans les roches terrestres : en résumé, les météorites contiennent, à l'état réduit, certaines substances qui, dans l'écorce terrestre, se présentent sous forme d'oxydes.

Serait-il donc possible d'imiter artificiellement les météorites? M. Daubrée a d'abord cherché à reproduire le phénomène connu sous le nom de figures de Widmanstetten; quand on traite par un acide la surface polie d'un fer météorique, on y voit apparaître des figures ressemblant à celles de l'acier damasquiné; cette structure disparaît presque complétement quand on fond le fer météorique. Il ne semble donc pas qu'elle puisse être reproduite par un procédé faisant intervenir une fusion. Cependant on en approche en laissant refroidir très-lentement du fer fondu avec les éléments des météorites métalliques, et tout particulièrement avec le phosphure de fer.

(1) *Comptes rendus*, LXII.

La fusion, dans un creuset brasqué, du péridot et de la lherzolite donne un fer très-analogue à celui des météorites et contenant aussi du nickel et du phosphore à l'état de phosphure.

De nombreux détails de la structure intime des météorites, tels que la structure globulaire et les surfaces de frottement, ont pu aussi être obtenus artificiellement.

Du reste, s'il y a eu réduction, il est probable que l'agent réducteur aurait été l'hydrogène plutôt que le carbone; car, l'hydrogène, à la température du rouge, sépare le fer métallique du pyroxène ou de la lherzolite.

La serpentine, fondue avec addition de magnésie, a donné du péridot et de l'enstatite; le même résultat a été obtenu par la fusion pure et simple de la serpentine dans des creusets de terre; cette fusion a mis aussi en évidence des traces de nickel et de chrome. D'après M. Daubrée, la serpentine doit donc être rapprochée par sa constitution des météorites, au même titre que le péridot et la lherzolite, auxquels, d'ailleurs, elle présente souvent des passages.

Les roches de péridot paraissent jouer, dans la profondeur, un rôle beaucoup plus considérable que celui qu'elles remplissent dans l'écorce du globe; ainsi le basalte en apporte toujours de nombreux fragments dont quelques-uns sont anguleux et semblent détachés d'une grande masse. La dunite, roche rencontrée récemment en massifs dans la Nouvelle-Zélande (1), est formée de péridot et de chromite, comme la météorite de Chassigny. En outre, le péridot est le plus basique des silicates, il a la densité la plus forte (3,34 à 3,35) et il cristallise plus facilement que les autres par voie sèche. Si nous ne le rencontrons pas en grande abondance à la surface du globe, c'est d'abord que dans l'évolution très-complexe que notre planète a subie sous l'influence de l'Océan, les masses péridotiques ont été recouvertes par des roches d'une autre origine et sur de grandes épaisseurs; ensuite il n'y a pas à s'étonner si les roches de péridot ne sont pas arrivées plus fréquemment et plus abondamment de la profondeur jusqu'à la surface; les expériences montrent, en effet, que le péridot s'empare avec avidité d'une plus grande proportion de silice, qu'il soustrait même aux parois du creuset, pour se convertir en un bisilicate, tel que l'enstatite ou le pyroxène.

« On est donc amené à reconnaître, dit M. Daubrée, que le rôle de ces roches de péridot si restreint à la surface de la terre,

(1) *Revue de géologie*, IV, 60.

est sans doute prédominant à une certaine profondeur. Son importance s'étendrait aussi bien à notre globe qu'au reste du système planétaire, autant du moins que l'on peut juger de ce dernier par les échantillons qui nous en arrivent; les roches à base de péridot méritent donc de prendre dorénavant un rang particulier et considérable dans la classification générale de la lithologie, ou, en leur annexant la serpentine, on pourrait les comprendre sous le nom de *famille péridotique*. »

D'ailleurs, si ces météorites peuvent être imitées par la fusion du péridot ou de la lherzolite au milieu d'une atmosphère réductrice, on peut aussi, et à plus juste titre, peut-être, imaginer l'effet inverse, et attribuer leur origine à l'oxydation incomplète d'un mélange contenant du silicium, du magnésium et du fer.

A l'appui de cette hypothèse, M. Daubrée a traité, dans un creuset incomplétement fermé, avec une brasque de magnésie, du siliciure de fer, et cette opération, véritable scorification, a fourni du fer, tant à l'état métallique qu'à l'état de silicate de protoxyde et du péridot libre. En ajoutant du nickel au mélange, on reconnaît qu'il se concentre dans le fer et ne se retrouve pas dans le péridot, comme on le constate aussi dans les météorites.

Si l'on cherche à tirer de ces expériences quelques conclusions applicables à notre planète, on est conduit à attribuer les roches de péridot à une scorification opérée sur notre globe à une époque extrêmement reculée, et sous une influence oxydante plus complète que celle qui a agi sur les météorites, puisque le fer métallique a disparu.

Le péridot mériterait donc d'être considéré en quelque sorte comme la *scorie universelle*.

ROCHES MÉTALLIFÈRES.

Les roches métallifères ont une importance exceptionnelle pour le mineur; toutefois les limites dans lesquelles doit se renfermer cette Revue nous obligent à mentionner seulement d'une manière sommaire les observations principales auxquelles elles ont donné lieu, et, pour de plus grands détails, nous devons renvoyer aux recueils périodiques qui s'en occupent spécialement.

Ces roches seront classées d'après les minéraux qu'elles fournissent et conformément à l'ordre géographique adopté dans cette Revue.

Manganèse.

FRANCE. — On rencontre, dans les départements de la Charente et de la Dordogne, des argiles jaspées manganésifères qui ont été l'objet de plusieurs concessions de mines. M. Delanoue avait décrit autrefois ces argiles (1) comme faisant partie du terrain jurassique et immédiatement inférieures aux oolites. En 1857, M. Coquand combattit cette manière de voir pour les minerais de manganèse de la Charente et établit qu'ils étaient tertiaires. M. Harlé (2) est arrivé à la même conclusion pour ceux de la Dordogne, et il a cherché à faire voir que les superpositions prétendues des oolites aux argiles à manganèse étaient des accidents résultant de failles ou de dislocations locales.

ESPAGNE. — D'après M. Bellinger (3), on a découvert dans ces derniers temps en Espagne plusieurs gisements de manganèse. Les plus riches sont ceux de la province d'Huelva, où le minerai forme des gîtes irréguliers au contact de schistes argileux siluriens avec des quartzites et du quartz ferrugineux (4).

Dans la province d'Almeria, le minerai de manganèse se présente en filons qui serpentent dans des massifs de porphyre et de trachyte. A la mine de la Estrella le nombre des fissures tapissées de manganèse est tel, qu'aux points de croisement il en résulte une véritable brèche trachytique ayant le minerai pour ciment.

(1) *Bull. Soc. géol.*, VIII, 99.
(2) *Bull. Soc. géol.*, XXII, 42.
(3) *Neues Jahrb.*, 1865, 485.
(4) *Revue de géologie*, I, 57.

NASSAU. — M. Kaysser (1) a décrit les gîtes manganésifères du Nassau, principalement de la vallée de la Lahn entre Dietz et Dillenburg. Le minerai se trouve surtout dans le calcaire dévonien à stringocéphales et dans la dolomie. La pyrolusite et la psilomélane dominent. La manganite est plus rare ainsi que le manganèse oxydé terreux.

Du minerai de fer plus ou moins imprégné de manganèse est d'ailleurs associé à ces gisements.

Le travail de M. Kaysser est accompagné de coupes et de détails techniques sur l'exploitation.

Fer.

LUXEMBOURG. — Le grand-duché de Luxembourg est un pays richement doté de minerais de fer qui alimentent les forges de la France, ainsi que celles situées sur la Sarre et sur la Moselle qui appartiennent à la Prusse. Les lignes de chemins de fer exécutées dans ce pays ont appelé l'attention sur ces gîtes que nous allons faire connaître d'après MM. Mahon (2), Eugène Jacquot (3), et d'après des analyses de M. F. Reuter (4). Nous y joindrons la composition de quelques minerais de fer appartenant au prolongement des mêmes gîtes sur le territoire de la France :

A. Minerai de fer de Holzen.
B. Minerai de Clémency.
C. Minerai de Hagen.
D. Minerai de Differdange.— Il remplit des poches dans l'oolithe jurassique inférieure.
E. Minerai de Mersch.
F. Minerai de Mœmer.

(1) *Neues Jahrb.*, 1865, 485.
(2) Rapport adressé à M. le Ministre des affaires étrangères par M. Mahon, vice-consul de France à Esch.
(3) *Annales des mines*. E. Jacquot, mémoire publié avec M. Langlois sur les mines et minerais de fer du département de la Moselle et Notes inédites.
(4) Analyses de minerais de fer.—Extraites de la publication de la Société royale Grand-Ducale des sciences naturelles à Luxembourg.

G. Minette ou minerai en roches dont le gisement n'est pas indiqué. — Elle appartient, de même que les minettes qui suivent, à la couche d'hydroxyde oolithique qui se trouve dans tout l'est de la France, à la base de l'oolithe inférieure ou au sommet des marnes liasiques.

H. Minette de Bodange (France).

I. Minette de Senette (France) près Longwy.

J. Minette d'Audun-le-Tige (France).

K. Minerai de la Nau (France).

L. Minerai de Pulventeux, territoire de Longwy (France). — Il remplit des poches à la surface du plateau occupé par l'étage oolithique inférieur, et l'on rencontre souvent des gisements semblables vers l'extrémité orientale et septentrionale de ce plateau.

M. Minerai de fer trouvé dans le tracé de la route d'Asselborn à Trois-Vierges.

N. Minerai de Gœsdorf (n° 1).

O. Minerai de Gœsdorf (n° 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Silicates insolubles.	27,733	24,184	26,341	(1) 27,760	(2) 26,456	(3) 21,103	(4) 54,344	13,623	21,396	18,202	(5) 14,454	(6) 22,895	(7) 15,052	61,538	(8) 51,005
Alumine.	2,133	1,560	0,160	»	3,493	3,784	0,882	3,632	2,517	0,055	0,053	1,028	0,742	2,842	10,179
Oxyde de fer.	58,232	64,855	65,469	61,594	60,012	64,032	40,197	63,191	53,481	70,682	74,653	64,560	67,493	30,254	31,587
Carbonate de chaux.	0,196	0,134	0,137	0,336	0,016	0,029	0,127	8,155	11,607	0,165	0,032	0,581	0,253	(9) 0,130	(9) 0,279
Sulfate de chaux.	0,056	0,029	0,058	0,044	0,040	0,146	traces.	0,139	0,043	0,017	0,089	0,059	»	»	»
Phosphate de chaux.	»	0,017	0,019	0,200	0,046	0,545	»	0,089	0,163	0,118	0,227	0,196	6,022	»	»
Carbonate de magnésie.	0,041	0,094	0,083	0,146	0,199	0,098	0,496	0,712	1,409	0,055	0,109	0,320	0,044	(10) traces	(10) 0,413
Sulfure de fer.	»	»	»	0,092	»	»	»	»	0,019	0,015	0,112	0,049	»	»	»
Eau.	9,056	9,197	7,950	9,703	9,344	9,811	3,280	9,762	8,726	9,964	10,208	9,594	10,391	4,939	6,424
Acide phosphorique.	traces.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,065	0,053
Soufre.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,232	0,055
	99,447	100,070	100,197	99,875	99,608	100,148	99,326	99,333	99,201	99,273	99,937	99,282	100,000	100,000	100,000

(1) Renfermant 20,324 d'acide silicique.
(2) *id.* 24,006 *id.*
(3) *id.* 18,044 *id.*
(4) *id.* 42,419 de silice.
(5) *id.* 11,231 *id.*
(6) Renfermant 17,902 de silice.
(7) *id.* 10,708 *id.*
(8) C'est de l'acide silicique et non des silicates insolubles.
(9) C'est de la chaux.
(10) C'est de la magnésie.

Relativement aux analyses précédentes, on peut observer qu'elles indiquent du phosphore dans tous ces minerais; il est cependant assez bizarre qu'on en trouve dans celui de Pulventeux, car il est très-renommé et spécialement exploité pour fabriquer du fer fort.

— Si l'on passe successivement en revue les différents étages géologiques, voici quels sont les niveaux auxquels on trouve des minerais de fer dans le grand-duché de Luxembourg.

Dans les terrains d'alluvions, ce sont les Bohnerze qui ont la plus grande importance, tant à cause de leur étendue que de leur richesse. Ils occupent l'espace compris entre Dippach, Messancy, Athus, Schouveiler, Garnich, Slange, Clemency, Pétange, Bascharage.

— Les minerais en roche ou minettes sont à la base de l'oolite jurassique inférieur et présentent quelquefois une couleur vert foncé ou bleuâtre. Ils sont alors formés par une marne qui est fortement chargée de silicate de protoxyde de fer, comme la mine bleue de Hayange (1).

Dans les marnes supraliasiques on trouve bien des rognons argilo-ferrugineux; mais à cause de leur faible teneur en carbonate de protoxyde de fer, ils ne méritent pas grande attention.

— Certaines variétés du grès liasique de Luxembourg sont assez fortement imprégnées d'hydroxyde de fer pour qu'on ait songé à les exploiter comme minerais. Leur densité s'élève à 3 et elles renferment jusqu'à 40 pour 100 de fer métallique. C'est particulièrement ce qui a lieu pour les grès de Finstenthal, de Bruch, de Blascheid, de Fischbach, de Berdorf.

— Dans la formation keupérienne du Luxembourg, il existe des couches qui contiennent plus ou moins d'oxyde de fer; mais elles présentent toujours un minerai très-pauvre, et celles qui sont calcaires pourraient tout au plus être employées comme fondant dans des hauts fourneaux très-rapprochés. Ces minerais sont du reste analogues à celui que la forge de Creutzwald exploite dans le grès médio-keupérien du bois de Velving, près Boulay (Moselle).

— Le Luxembourg présente encore des minerais de fer en grains qui remplissent des poches et des fentes dans le Muschelkalk. Ils sont de bonne qualité et analogues à ceux qui se trouvent à Berweiler dans le département de la Moselle. On les observe sur tout le plateau de Muschelkalk nommé Saar-et-Moselgau. Il y en a aussi à Remich, près de Bous, et sur les hauteurs de Mompach et de l'Angsuhr. Leur poids spécifique varie de 2,76 à 3,10. Ils consistent en fer carbonaté gris perlé qui est intercalé dans des marnes argileuses gris jaunâtre et prend vers ses parties extérieures une couleur brune par suite de l'oxydation.

Quelquefois ce fer carbonaté forme des stalactites dans les crevasses du Muschelkalk.

On exploite aussi ces mêmes minerais remaniés et se trouvant alors dans le terrain de transport.

(1) Eugène Jacquot. Mémoire cité.

— Le grès bigarré du Luxembourg présente dans certains cas des veines de minerai de fer qui y serpentent irrégulièrement. Le minerai, d'une couleur brun rouge, est plus ou moins mélangé de grains de sable qui proviennent des parois et le rendent réfractaire. C'est surtout vers la limite des terrains de transition qu'il est le plus abondant. On le trouve à Folschette, à Pratz et à Horazmühle.

— Dans le schiste ardoisier de Goesdorf on a rencontré deux filons de limonite argileuse et il y a aussi de la limonite fibreuse très-pure aux environs de Pratz et d'Eschette.

Enfin de petits filons de fer oligiste s'observent encore accidentellement dans le schiste ardoisier sur divers points du grand-duché de Luxembourg.

Nevers. — Un dépôt ocreux formé dans un réservoir sur la rive gauche de la Loire près de Nevers et constituant une sorte de minerai de fer des marais a été analysé par MM. Robinet et Lefort (1):

Oxyde de fer	62,51	Carbonate de chaux	1,08
Humus	9,92	Carbonate de magnésie	0,68
Phosphate de fer	3,01	Alumine	2,29
Phosphate de manganèse	0,28	Silice et sable	2,17
Arséniate de fer	0,22	Eau et perte	7,84

Moravie. — M. Hinterhuber (2) a signalé la découverte de minerais de fer spathique en Moravie, à Swatoslau et Hlubock dans le cercle de Brünn et à Namiest dans le cercle de Znaïm. A Swatoslau, le minerai se présente en filons : près du jour, jusqu'à en-

(1) *Bulletin de la Société chimique* [2], III, 453; *et J. de pharmacie* [4], I, 340.
(2) *Jahrb. d. k. k. Reichs.* XV, 108.

viron 1 mètre de profondeur, on trouve de l'ocre manganésifère avec de beaux sphéroïdes de fer carbonaté ; immédiatement après on ne rencontre plus que le carbonate pur sur $0^m,60$ à $1^m,20$ de puissance ; près de l'affleurement, le filon traverse des schistes chloritès ; dans la profondeur, le toit est formé par un calcaire grenu.

MICHIGAN. — Le comté de Marquette, dans le Michigan, est remarquable par ses immenses gisements d'hématite rouge, de fer oligiste et d'oxyde magnétique, qui font de ce territoire le district de minerai de fer peut-être le plus riche du globe (1). Ce district a été étudié par MM. Foster et Whitney, puis par M. Kimball (2), qui en a donné une description succincte.

Le fer oligiste spéculaire se présente en couches stratifiées au milieu de schistes talqueux et argileux. En certains endroits il est mélangé de quartz ou de jaspe qui lui communique une grande résistance vis-à-vis des agents atmosphériques ; de sorte qu'il y a des points où le minerai subsiste seul formant de véritables montagnes de fer (iron mountains).

Souvent aussi le fer spéculaire est à l'état de conglomérats présentant des fragments anguleux de jaspe et des nodules de fer oligiste qui sont cimentés par une pâte de peroxyde spéculaire. Ces conglomérats sont stratifiés et traversés par des fentes parallèles qui coupent les nodules empâtés.

L'hématite se montre également en couches qui partagent la stratification et les ondulations des schistes huroniens au milieu desquels elles sont intercalées.

Les minerais de fer sont associés à des greenstones stratifiés, dont M. Rivot avait déjà reconnu le caractère métamorphique, à des amphibolites, à des schistes silicatés alumineux et magnésiens. Ils sont également accompagnés de schistes verts contenant beaucoup de chaux et de magnésie et correspondant au schalstein des géologues allemands.

M. Kimball pense que l'action d'eaux chargées d'acide carbonique a dû suffire pour imprimer à ces diverses roches leurs caractères actuels ; il pense aussi qu'on ne peut mettre en doute leur origine neptunienne, non plus que celle des minerais qui leur sont associés, et qui partagent tous les accidents de leur structure, tels que plissements, failles et clivages.

(1) *Annales des mines.*
(2) *Americ. Journ.*, XXXIX, 290.

MEXIQUE. — La province de Guerrero, au Mexique, contient des gisements de fer très-importants, sur lesquels M. Manross (1) a donné quelques détails.

Le premier, situé près de Mescala, est un filon presque vertical, de 8 mètres de puissance, formé d'oxyde magnétique compacte.

Le second, celui de Cerro Yman, près Coyuca, est une montagne de fer magnétique de 100 mètres de hauteur, couronnée par une couche de calcaire.

Viennent ensuite ceux de San Francisco et de Singungao, énormes accumulations de fer oxydulé ; celui de Villadera, formant une couche de 400 mètres de long sur 100 mètres de large ; enfin celui de Chutla, constitué par du minerai magnétique pur, qui se trouve à proximité des fondants calcaires et des bois.

D'après M. Dana (2), ces minerais, qui sont en relation avec des granites, des syénites et des calcaires métamorphiques, doivent appartenir à la période azoïque, comme ceux de New-York et du Michigan.

Zinc.

CHINE. — De la calamine jaunâtre ou blanchâtre s'exploite, d'après M. L. Soubeiran (3), dans les mines d'argent du Tse Tchuen.

Cuivre.

MONTE CATINI. — La mine de cuivre de Monte Catini, en Toscane, déjà décrite par M. A. Burat (4), a été l'objet d'une monographie de la part de M. G. vom Rath (5). Relativement à la géologie de ce district du Monte Catini, rappelons d'abord que M. Savi distingue trois chaînes principales :

1° Chaîne de l'Apennin, composée de grès, de calcaires et de schistes éocènes avec un peu de craie supérieure sous forme de calcaire sableux (pietra-forte) :

2° Chaîne métallifère, avec la série complète des terrains depuis le paléozoïque jusqu'au tertiaire ; le lias surtout est important à

(1) *Americ. Journ.*, XXXIX, 309.
(2) *Americ. Journ.*, XXXIX, 358.
(3) *Journal de pharmacie* [4], IV, 18.
(4) *Géologie appliquée*, I.
(5) *Zeits. d. d. geol.*, XVII, 297.

noter à cause des marbres blancs qu'il fournit dans les Alpes apuennes;

3° Chaîne des Serpentines; serpentine, gabbro, diorite, en relation intime avec les couches crétacées et éocènes.

Le minerai de Monte Catini apparaît dans une roche nommée Gabbro, mais qui, d'après M. vom Rath, est tantôt un porphyre, tantôt un mélaphyre, et toujours dans un état de décomposition très-avancé. Ses gangues sont la serpentine et la stéatite, quelquefois un conglomérat formé de blocs arrondis de serpentine et de mélaphyre, cimentés par un ciment talqueux. Le minerai le plus répandu est le cuivre pyriteux, puis viennent le cuivre panaché et le cuivre sulfuré, le premier sous la forme de nodules de 6 à 10 centimètres cubes.

M. vom Rath pense que le filon de serpentine de Monte Catini pouvait être originairement composé d'un silicate magnésien anhydre, tel que le péridot, qui contenait des particules cuivreuses en mélange intime. Sa transformation en serpentine aurait été accompagnée de changements violents dans l'allure du gîte, et, sous ces influences, les particules cuivreuses se seraient agglomérées en gros sphéroïdes.

Cette hypothèse nous paraît cependant bien difficile à admettre; car le péridot ne se montre pas dans le gîte du Monte Catini et la serpentine contient toujours du chrome qui ne se rencontre généralement pas dans les roches de péridot. Il est donc beaucoup plus naturel de considérer la serpentine du Monte Catini comme une roche originaire qui a fait éruption avec le minerai de cuivre qu'elle renferme.

Salzbourg. — M. Stapff (1) a donné quelques détails géologiques sur les mines de cuivre du Salzbourg et du Tyrol.

A Mitterberg (Salzbourg), la roche dominante est le « schiste bleu, » qui est argileux micacé, doux au toucher et renferme des veines de quartz ainsi que de chaux carbonatée. La roche encaissante, proprement dite, résulte simplement d'un métamorphisme du schiste bleu auquel elle passe insensiblement; elle est imprégnée de silice au point de faire feu sous le marteau, et contient d'ailleurs de la magnésie. Enfin, on distingue une troisième variété de schiste, appelée dans le pays schiste « sauvage » (wilder schiefer), qui apparaît aux points où le gîte s'appauvrit et qui semble n'être qu'un schiste bleu plus ou moins altéré.

(1) *Berg und hüttenm. Zeit.*, 1865, 6.

Les minéraux des filons de Mitterberg sont le quartz, le fer spathique, la pyrite cuivreuse et la pyrite de fer. La puissance diminue dans la profondeur, mais la richesse du gîte est d'autant plus grande que le filon est plus ouvert.

Tyrol.—A Kupferplatten (Tyrol), les circonstances du gisement sont à peu près les mêmes qu'à Mitterberg. Le champ de fracture est en forme de lentille au milieu d'un schiste dirigé vers le N.-N.-E. avec un plongement de 20° à 70° vers E.-S.-E. On a essayé d'y grouper les fissures suivant leurs directions dominantes; toutefois jusqu'à présent il ne semble pas que leur distribution soit assujettie à une loi régulière, bien que M. Strimmer ait cru reconnaître que les parties riches s'orientent suivant une ligne dirigée vers l'heure 3,5 de la boussole allemande.

Plomb.

Brioude. — La *Revue de géologie* a déjà eu l'occasion d'appeler l'attention sur les filons barytiques et plombeux (1); en France, M. Grüner les a étudiés pour le plateau central dans un mémoire spécial qui a été publié dès 1855 dans les Annales de la société de Lyon, et il s'en est également occupé dans sa description du département de la Loire. Récemment M. Dorlhac (2) a décrit ceux des environs de Brioude; en même temps il a présenté des considérations sur leurs directions, sur leur âge et sur leur origine.

En traçant une rose de leurs directions, M. Dorlhac a d'abord constaté que tous ces filons peuvent se grouper autour de trois orientations principales :

1° O. 15° N. . . . . (système des Ballons);
2° E. 5° N. . . . . (système des Pays-Bas);
3° N. 50° O. . . . . (système du Morvan).

Les deux premières directions sont bien moins nombreuses, tandis que les filons N. 50° O. forment la plus grande masse. Les autres ne seraient que des directions d'emprunt.

La serpentine paraît s'être épanchée par les fentes résultant de la dislocation N. 50° O. On trouve de nombreux dykes de cette

(1) *Revue de Géologie*, t. IV, p. 93.
(2) *Bulletin de l'industrie minérale*, t. VIII.

roche sur le trajet des filons barytiques et dans les fentes mêmes où les matières filoniennes se sont déposées.

D'après les faits nombreux qu'il a observés, M. Dorlhac arrive à la conclusion, que les dislocations N. 50° O. sont jalonnées, tantôt par des filons barytiques et plombeux, tantôt par des amas de serpentine, tantôt par les deux à la fois.

Sur cet alignement, on trouve également des filons quartzeux, quartzobarytiques, des filons de spath fluor, des filons métallifères et enfin de nombreuses sources minérales. Du reste, M. Grüner avait déjà signalé la prédominance de l'alignement N. 50° O. dans la direction des filons quartzeux et barytiques du plateau central.

Suivant M. Dorlhac, c'est sous l'influence du soulèvement du Morvan qu'ont eu lieu les dépôts du quartz, du spath fluor, de la barytine et de la galène.

Mais c'est seulement après cet accident, que furent remplies les cassures et les fentes béantes des anciens filons des autres systèmes, qui s'ouvrirent de nouveau à cette époque.

L'ensemble de tous ces filons forme une large zone qui se continue au nord-ouest et au sud-est, et qui traverse le plateau central de part en part jusqu'à ses lisières.

Le prolongement au nord-ouest rencontre des filons identiques, de même nature et de même orientation. On trouve sur le trajet les filons barytiques de Blesles, d'Ardes, les mines de plomb de Courgoul et de Pontgibaud, des cours d'eau et des accidents de direction N. 50° O. près d'Aubusson et de Guéret, et enfin les filons barytiques et quartzo-barytiques de Saint-Benoît-du-Sault et d'Aigurande.

A cette limite du plateau central, la barytine, la fluorine, le quartz, la galène, le cuivre pyriteux, etc., remplissent de nombreux filons, qui du gneiss pénètrent dans les couches du lias.

Des nombreux faits exposés, M. Dorlhac croît pouvoir conclure :

« Que la barytine a été déposée postérieurement à la dislocation N. 50° O. du Morvan, et qu'elle a été introduite seulement depuis cette époque dans les filons de date plus ancienne, qui furent rouverts par les soulèvements. »

Aux environs de Brioude, les filons barytiques principaux sont à Alègre, à Aurouze, à Vaucelle, à Salzuit, à Chiliac, à Desges, à la Licoulne, à Azerat, à Champagnat-le-Vieux, entre Auzon et Jumeaux. On trouve des filons ou des dykes serpentineux près de Lamothe, près de Jumeaux, de Champagnat-le-Vieux, de Saint-

Préfet, de Salzuit, de Pinols, de Lubillac, de Saint-Bauzire, de Lempdes.

Les filons barytiques sont composés de plusieurs gangues superposées qui se succèdent comme il suit :

1° Quartz souvent carié et ferrugineux placé près des épontes ;

2° Quartz blanc, cristallin, complétement distinct du précédent ;

3° Spath fluor qui peut manquer ;

4° Barytine qui occupe le plus souvent la partie médiane du filon.

Dans certains endroits, comme à Aurouze, on trouve même de la baryte carbonatée.

L'épaisseur des filons est du reste bien variable ; la moyenne peut être estimée de 0,30 à 0,60. Mais à Aurouze, par exemple, on trouve des épaisseurs de barytine de 2 à 5 mètres. On y observe fréquemment des mouches de galène.

L'analyse de nombreux échantillons de barytine indique qu'elle est composée : de sulfate de baryte dont la quantité varie de 77 à 90 p. 100 ; de sulfate de strontiane ; de sulfate de chaux ; de carbonates divers ; de peroxyde de fer ; de silice et de sels alcalins.

En profondeur, la barytine tend à disparaître. Elle se perd insensiblement en se chargeant de plus en plus de quartz. C'est quand elle fait complétement défaut que la galène apparaît. A Aurouse, et près de Jumeaux, on a même exploité pour plomb des filons barytiques.

M. Dorlhac attribue une origine aqueuse ou aquoso-ignée aux matières filoniennes qui remplissent les filons barytiques et plombeux des environs de Brioude ainsi que des bassins de Brassac et de Langeac.

Les gangues et les minerais, suivant l'auteur, devaient se former à la manière des sédiments que déposent de nos jours les sources minérales et thermales.

Dans les filons, les gangues sont à l'état cristallin, mais elles n'y sont pas mélangées confusément. On les voit toujours disposées suivant un certain ordre. Elles affectent surtout une disposition parallèle aux épontes et elles sont placées bien souvent d'une manière symétrique. Aussi, dans sa coupe verticale, le filon présente bien la structure rubanée.

Le quartz est toujours placé près des épontes et le spath fluor vient ensuite, quand il en existe dans le filon, tandis que la barytine occupe constamment la partie médiane.

Cette composition minéralogique des gangues indique la nature même des sources thermo-minérales qui leur ont donné naissance.

M. Dorlhac pense qu'à l'époque du soulèvement du Morvan, il a existé alternativement des sources siliceuses, fluorées et barytiques.

Le quartz des filons qui touche les épontes est presque toujours carié, celluleux, ferrugineux et imprégné d'hydroxyde de fer. Il empâte des débris qui proviennent des roches encaissantes et n'ont subi aucune altération. Des fragments de roches feldspathiques sont parfaitement bien conservés. De plus, le quartz ne paraît pas avoir exercé d'action métamorphique sur les roches au contact desquelles il se trouve. Le quartz a plutôt conservé les débris qu'il a englobé et il ne devrait assurément pas en être ainsi, s'il avait une origine ignée.

Comme les geysers d'Islande produisent actuellement d'abondantes concrétions siliceuses et forment même des cristaux de quartz, il est naturel de conclure de ces faits que le quartz des filons s'est produit d'une manière identique.

La fluorine et la barytine doivent, de même que le quartz, avoir une origine aqueuse. On sait, du reste, que ces deux gangues ont quelquefois métamorphosé des fossiles et particulièrement ceux du terrain de lias. De plus, M. Daubrée a constaté que la fluorine s'est déposée en petits cristaux dans des constructions romaines des sources de Plombières, et la présence de la barytine a même été constatée dans plusieurs sources minérales.

Quand on examine la composition, la nature et la disposition des matières filoniennes, on ne peut s'empêcher de faire un rapprochement avec les dépôts des sources actuelles. Un grand nombre de sources minérales ou thermales déposent de la silice, de la chaux fluatée et du sulfate de baryte. Seulement l'activité des anciennes sources était vraisemblablement plus grande et par suite leur pouvoir minéralisateur bien plus considérable; en tout cas leur action s'est continuée pendant de très-longues périodes.

Les recherches de M. Dorlhac sur les filons des environs de Brioude viennent donc confirmer, relativement à la formation des gîtes métallifères, les idées qui sont adoptées maintenant par la plupart des géologues, et qui attribuent le rôle principal à l'action de l'eau.

Mercure.

TURQUIE. — M. A. Conrad (1) a visité les mines de mercure exploitées dans les montagnes d'Inatch. Cette chaîne, située à quelques kilomètres seulement de Kreschéro, Sandjak de Serajero, s'étend dans la direction nord-ouest; elle est formée d'argile schisteuse associée à de puissantes couches de calcaire. Le cinabre s'y présente plutôt par couches que sous forme de filons, et son exploitation pourrait être avantageuse si elle était faite avec intelligence.

D'après l'examen des anciens travaux, M. Conrad annonce que les couches métallifères ont une épaisseur de plusieurs mètres et une inclinaison presque verticale; elles contiennent d'ailleurs le mercure à l'état de cinabre.

La gangue est principalement composée : 1° de fragments de la roche encaissante, surtout dans les endroits où le gîte acquiert une plus grande puissance; 2° d'argile noirâtre ayant de la dureté; 3° de spath calcaire et de dolomie (braunkalk) qui accompagne ordinairement le cinabre. Le spath calcaire est en cristaux isolés ou bien en masses compactes; tandis que le braunkalk ne se présente que sous ce dernier état.

Le cinabre se trouve tantôt en masses cristallisées, tantôt en grappes et en filaments. Il traverse le spath calcaire et parfois le braunkalk dans lesquels il forme accidentellement de larges veines, mais le plus souvent de petites ramifications de 1 à 5 centimètres d'épaisseur. On a extrait de la mine des blocs de cinabre pesant jusqu'à 12 kilogrammes.

L'analyse chimique qui en a été faite a donné pour résultats 85 p. 100 de mercure pour le minerai d'une pureté exceptionnelle et 15 p. 100 pour la moyenne générale.

Le cinabre qui tapisse les géodes est presque constamment entouré de braunkalk d'une couleur jaune foncé ou brun noirâtre. Sur cette gangue il y a des cristaux épars de chaux carbonatée qui sont eux-mêmes recouverts de cinabre.

Les minerais métalliques associés au cinabre sont la pyrite de fer qui est très-clair-semée; il y a aussi un peu de blende et, à ce qu'il paraît, des traces d'or.

---

(1) Extrait d'un rapport adressé au ministère des travaux publics à Constantinople par M. A. Conrad, ingénieur des mines saxon au service du gouvernement ottoman (31 mai 1866).

Or.

Bornéo. — L'or est plus ou moins répandu sur toute la surface de l'île de Bornéo ; et l'on doit à M. Kloos (1) quelques détails sur la manière dont il s'y présente.

Sur les bords du fleuve Kapoea, les alluvions modernes recouvrent une couche de cailloux roulés alternant avec des lits d'argile et de limon ; c'est dans ce gisement que l'or se rencontre associé au minerai de fer, à l'antimoine sulfuré et au diamant. On distingue, dans les exploitations, des couches horizontales dont la richesse est très-variable, ce qui paraît bien indiquer que l'or s'est déposé en même temps que la formation des cailloux roulés.

Aux environs de Boedoek, l'or se trouve dans des filons quartzeux et pyriteux qui traversent des schistes argileux : il s'obtient par le lavage de la pyrite décomposée ; il contient, d'ailleurs, beaucoup de tellure. Un filon de ce genre, presque vertical, ayant 2 mètres de puissance, est exploité près de Montrado.

L'or se présente encore, à Kattoe-Koladi, dans une argile diluvienne qui remplit les cavités d'un calcaire.

Enfin, près de Janah-Laute, ce métal est disséminé en paillettes dans un gisement de cailloux quartzeux et il y est accompagné de fer oxydulé, de platine et d'osmiure d'iridium.

Il paraît résulter des faits observés, que tout l'or exploité à Bornéo provient de la dégradation de filons quartzeux comme ceux de Boedoek.

Californie. — Les gisements aurifères de la Californie (2) peuvent être divisés en trois classes : les alluvions superficielles, les alluvions profondes et les filons quartzeux. M. B. Silliman (3) a fait une étude particulière des alluvions profondes du Yuba dans le comté de Nevada, où elles sont exploitées en grand par plusieurs compagnies.

Le gravier aurifère repose sur des roches anciennes, granite ou schistes métamorphiques, et il est recouvert par un terrain volcanique. Sa puissance est d'environ 30 mètres sur les bords, et s'élève à 80 mètres dans les endroits où il n'a pas été détruit par l'altération atmosphérique.

(1) *Berg und hüttenm. Zeit.*, 1865, 283.
(2) *Annales des mines* et *Revue de géologie*, I, 73 ; III, 163.
(3) *Amer. Journ.*, XL, 1.

Il est formé de galets roulés de quartz, de greenstone, de toutes les roches métamorphiques des Hautes-Sierras qui sont agrégées par un ciment ferrugineux très-dur.

L'or y est disséminé partout ; mais on le trouve plus abondamment à la partie inférieure ; et la surface de la roche de fond (bed-rock) qui supporte le gravier doit d'ailleurs être exploitée pour or jusqu'à une profondeur de plusieurs pouces.

La roche de fond présente, d'après M. B. Silliman, des traces incontestables d'action glaciaire ou diluvienne : le sens du mouvement est même partout discernable ; il paraît orienté 20 à 25 degrés à l'ouest du méridien magnétique, c'est-à-dire à peu près parallèlement à la vallée du Sacramento ou à celle qui sépare la chaîne côtière de la Sierra-Nevada.

En résumé, les alluvions profondes sont vraisemblablement le résultat d'une action énergique qui s'est exercée antérieurement à la formation du système hydrographique actuel de la contrée et qui, en dégradant les filons aurifères de la Sierra-Nevada, a produit avec leurs débris les immenses accumulations qu'on exploite aujourd'hui.

Amérique du Sud. — M. D. Forbes (1) a divisé les roches aurifères de l'Amérique du Sud en deux grandes classes, suivant l'époque géologique à laquelle elles ont fait leur apparition.

1° La première classe comprend tous les dépôts aurifères provenant de la désagrégation de roches granitiques dont l'éruption est comprise entre la période silurienne et la période dévonienne ; les grandes alluvions à paillettes d'or et les filons de quartz aurifère en feraient partie. L'or paraît intimement lié au granite et, dans les environs de Valparaiso ainsi qu'au Brésil, des tranchées de chemins de fer ont mis à découvert une arène granitique provenant de la décomposition sur place de la roche, dont le lavage pour or a pu quelquefois être entrepris avec profit.

A cette classe appartiennent encore différents filons métallifères également liés au granite et remarquables par la présence de l'oxyde et du sulfure d'étain, des pyrites de fer et de cuivre, ainsi que divers minéraux renfermant du bismuth, du sélénium et du tellure.

2° La seconde classe est celle des roches dioritiques, formées d'amphibole et de feldspath, sans quartz, venues au jour entre l'oolithe et la craie. Elles ont donné naissance à des filons de sul-

(1) *British assoc.*, 1865 ; *Trans.* 52.

fures et d'arséniures métalliques, dans lesquels l'or est associé au soufre, à l'arsenic, au fer, au cuivre, et paraît se concentrer dans les parties supérieures des filons sans qu'on puisse expliquer ce fait. Cette dernière classe de roches aurifères ne contiendrait ni étain, ni tellure, ni tungstène, ni titane, ni sélénium.

M. Forbes pense, du reste, que cette division, établie pour l'Amérique du Sud, pourrait être étendue à tous les dépôts aurifères du globe.

Minerais divers.

SAINT-ANDREASBERG.—Les filons célèbres de Saint-Andreasberg au Hartz, exploités aujourd'hui jusqu'à une profondeur très-supérieure à celle de toutes les autres mines, ont fini par s'appauvrir à tel point que leur exploitation paraît devoir être prochainement suspendue. M. Herm. Credner (1) a pensé qu'il convenait, avant que la cessation des travaux rendît le gîte inaccessible, d'en donner une description détaillée, en joignant à ses propres observations ce qui avait été publié antérieurement sur le même objet. Sans revenir ici sur les traits généraux de cette description, dont une analyse a déjà été donnée dans la Revue de l'année précédente (2), nous nous proposons d'indiquer brièvement quelles sont les idées de l'auteur sur la manière dont le champ de fracture d'Andreasberg a pu se former.

En premier lieu se place l'éruption du diabase, qui aurait donné naissance aux fentes stériles connues sous le nom de *ruscheln*.

Le granite vient ensuite et fait naître les filons parallèles à la ligne qui le sépare de la grauwacke.

Puis des eaux chaudes agissant sur les roches en dehors du champ des ruscheln, donnent naissance aux dépôts de minerais ferrugineux et cuivreux.

Pendant ce temps, des sources minérales se manifestent dans l'intérieur des ruscheln et les minerais d'argent se déposent peu à peu dans les fissures.

Ce dépôt comprend trois périodes :

1° Cristallisation de chaux carbonatée, quartz, spath fluor, arsenic, galène, blende, argent rouge, argent sulfuré, antimoniure et arséniure d'argent, déposés par la dissolution éruptive;

(1) *Zeit. d. d. geol.*, XVII, 163.
(2) *Revue de géologie*, IV, 100.

2° Cristallisation de chaux carbonatée, quartz, gypse, avec silicates et aluminates hydratés, provenant d'une dissolution secondaire;

3° Formation d'argent natif, de réalgar, d'orpiment, de malachite, de pharmacolite, d'arséniate de cuivre, etc., sous l'influence de la vapeur d'eau et la force décomposante des agents atmosphériques.

M. Credner signale aussi la grande analogie du champ de fractures d'Andréasberg avec celui de Przibram en Bohême.

BULLETIN.

Ce bulletin est composé de divers documents qui ont été envoyés à la Commission des Annales et extraits par M. DELESSE ingénieur en chef des mines.

Travaux exécutés au bureau d'essais d'Alais en 1865.

Par M. LEDOUX, ingénieur des mines.

Houille.

Houille trouvée dans le sondage de Saint-Germain-Alais.

Ce sondage, exécuté près du ruisseau de Chaudebois, a été commencé dans les marnes oxfordiennes. Il a traversé 63^{m},55 de terrain oxfordien, 132^{m}, 17 de trias et a atteint le terrain houiller à 195^{m},72 de profondeur. A 206^{m},41 il a recoupé une première couche de houille de 0^{m},60 d'épaisseur. Nous avons fait l'essai de trois échantillons pris au toit, au milieu et vers la fin de la couche (n^{os} 1, 2 et 3). Une seconde couche de 0^{m},67 de puissance a été rencontrée à 6^{m},38 au-dessous de la première.

Voici les résultats des essais :

Couche n° 1.

	Échantillon n° 1.	N° 2.	N° 3.	Moyenne.
Charbon fixe.	50,7	57,0	58,7	55,5
Matières volatiles. . . .	14,8	13,0	12,1	13,3
Cendres.	34,5	30,0	29,2	31,2

Couche n° 2.

Charbon fixe.	48,0
Matières volatiles. . . .	14,0
Cendres.	38,0

Les échantillons avaient été recueillis au fond du trou de sonde au moyen de la cloche à boulet. Ils renfermaient par conséquent beaucoup de débris stériles provenant des parois. C'est ce qui explique leur forte teneur en cendres, qui est de beaucoup supérieure à celle des couches analogues qui affleurent au Bois commun. La proportion des matières volatiles et du charbon fixe est à peu près la même que celle du charbon de Rochebelle.

— Une couche de charbon a été rencontrée dans le même quartier par une galerie partant du lieu dit Pont-Gisquet et destinée à l'exploitation de la mine de pyrite de Saint-Jean-du-Pin. Elle présenta cette particularité d'avoir pour toit le conglomérat inférieur du trias, parce qu'au point où elle a été rencontrée la direction et l'inclinaison des couches du trias et du terrain houiller sont peu différentes les unes des autres.

Direction N. 45° O.; inclinaison 25 à 30°.

Charbon fixe	46,4
Matières volatiles	9,6
Cendres	43,4

Le charbon conserve sa forme après la calcination. Il brûle sans produire de flammes et sans se coller.

Plomb.

Voici les résultats de quelques essais de minerais de plomb provenant des départements du Gard, de la Lozère et de l'Ardèche :

1, 2, 3. *Concession de la Croix-de-Pallières* (Gard); *mine Joseph.* — Le gîte forme un amas au milieu du trias. Il est associé avec de la pyrite de fer. La partie supérieure est à l'état oxydé. L'arrivée du minerai paraît contemporaine du soulèvement de la montagne de Pallières. Direction : heure IV de la boussole allemande.

4, 5. *Même concession; mine Saint-Félix.* — La galène est disséminée en veines irrégulières dans les dolomies infrà-liasiques. Elle est associée avec de la blende et quelquefois avec de la calamine.

6, 7 et 8. *Concession de Notre-Dame-de-Laval* (Gard). — La galène est disséminée en veinules dans les calcaires inférieurs du trias. Elle se trouve principalement sur la direction heure V. D'anciens travaux très-étendus et d'énormes tas de déblais prouvent que le gîte a été exploité autrefois sur une grande échelle. L'échantillon 6 provient d'une galerie de recherches ouverte au-dessous de la route impériale n° 106, à 500 mètres au nord du village du Mas-Dieu. Les échantillons 7 et 8 ont été recueillis dans une descendrie au-dessous de l'église.

9, 10. *Concession du Rouvergue* (Gard); *filon n° 7.* — La galène est très-pure et à grands cristaux dodécaédriques. Elle a été prise dans un filon qui est dirigé heure V et plonge au nord, et au contact d'un filon croiseur dirigé heure IX et plongeant au sud. Ces filons sont dans le micaschiste.

11. *Concession de Richaldon* (Lozère); *filon de la Grande-Mazière.* — Le filon est dans le micaschiste, dirigé heure VI à VII, incliné au sud et formé d'une gangue quartzeuse, contenant des morceaux de schiste empâtés.

12, 13, 14. *Recherches d'Ardoin et de Talencieux* (Ardèche); *attaque n° 4.* — Filon très-puissant dans le granite. Direction heure VII à VIII; pendage au sud; remplissage de granite altéré; galène à grandes facettes. — 12, veine du toit; 13, veine du milieu; 14, veine du mur.

ÉCHANTILLONS.	TENEUR en plomb, pour 100.	TENEUR en argent, aux 100 kilog. de plomb en grammes.
	grammes.	grammes.
1. Galène riche, à fondre	42,30	117
2. Galène pauvre, à laver	12,00	103
3. Sulfate de plomb, à fondre	55,00	149
4. Galène riche, à fondre	54,70	46
5. Galène pauvre, à laver	20,60	40
6. Galène pauvre	10,00	327
7. Galène riche	41,40	122
8. Galène riche	35,00	196
9. Galène massive	80,00	147
10. Galène massive	79,00	156
11. Galène pauvre	15,80	174
12. Galène riche	63,70	19
13. Galène riche	61,20	12
14. Galène riche	54,90	16

Mines de cuivre du Cap de Bonne-Espérance.

Les mines de cuivre de la colonie anglaise du Cap de Bonne-Espérance sont possédées par trois compagnies; mais leur exploitation est assez languissante, faute de capitaux suffisants pour lui imprimer de l'activité.

Une vente générale aux enchères de minerais de cuivre, qui s'est faite récemment à Londres, a donné lieu à l'estimation suivante de leur valeur :

En première ligne, les minerais de la compagnie du Cap dite « Cape Copper Mining. »

Puis ceux de la compagnie « Buffalo River » dans le pays des Namaquois.

En troisième ligne, la deuxième qualité des produits du « Cape Copper Mining. »

Quant aux produits de la troisième compagnie du Cap, dite « Concordia », quoique notablement inférieurs aux précédents, ils occupent cependant un rang qui est encore assez élevé comparativement à ceux de la majorité des mines de cuivre des autres parties du monde.

—A la dernière vente de Londres, il a été acheté pour 26.221 livres sterlings de minerais de cuivre. La quantité de minerai de cuivre provenant du Cap qui a été mise en vente, s'élevait d'ailleurs à 250 tonnes, et a rapporté le prix de 4.094 livres sterlings, soit 16 livres sterlings par tonne. D'autre part, les produits réunis de toutes les autres mines, d'une importance de 2.208 tonnes, ont fourni le prix total de 23,944 livres sterlings, soit 10 livres 15 shillings par tonne. D'où il suit que le minerai du Cap dépasse la valeur moyenne des autres minerais vendus à Londres de 5 livres 5 shillings par tonne.

En comparant entre eux les prix de vente des divers minerais du Cap, on trouve que la première qualité provenant de « Cape Copper Mining Company » a atteint 28 livres 5 shillings, et la deuxième 18 livres sterlings. Une petite quantité de minerai exploitée dans les mines du « Buffalo River » a été achetée au taux de 22 livres 10 shillings et la plus grande partie du minerai exploité par « Concordia » a été payée 12 livres.

(*Extrait d'une dépêche adressée le 6 juin 1866 à Son Excellence M. le Ministre des affaires étrangères, par M.* HÉRETTE, *consul de France au Cap.*)

Mines de Norwége.

Les mines d'argent de Konsberg, qui, de 1859 à 1861, ont donné un produit annuel de 17.800 marcs d'argent fin avec un bénéfice annuel de 347.700 francs environ, n'ont fourni, pendant les années 1862 à 1864, que 13.300 marcs d'argent fin, par an, et un excédant annuel de 176.700 francs.

Sur ce bénéfice, il a fallu retenir la somme nécessaire pour compléter le fonds d'exploitation qui est actuellement fixée à un million d'espèces.

Il a d'ailleurs été nommé une commission pour examiner les mines et pour faire des propositions relativement à leur exploitation. Les travaux de cette commission vont être soumis au Storthing.

Quant aux mines de cuivre et de fer, le produit des premières est resté à peu près le même, tandis que celui des dernières a diminué.

Près d'Egersund, des compagnies anglaises ont commencé à exploiter plusieurs mines de fer titané, et en outre l'exploitation des mines de pyrite se développe sur plusieurs points.

(*Extrait d'une dépêche adressée par M. le Consul de France à Christiania.*)

Données statistiques relatives à l'exploitation des mines de houille de l'Écosse et du Royaume-Uni, pendant l'année 1864.

Il existait en Écosse, pendant l'année 1864, 490 houillères en activité, soit 123 de plus qu'en 1854. Il en a été extrait pendant l'année dernière 12.700.000 tonnes de charbon; 6.400.000 tonnes provenaient de la division orientale et 6.300.000 de la partie occidentale dont Glasgow est le centre.

La production totale du Royaume-Uni, on le sait, s'est élevée à 92.787.873 tonnes, sur lesquelles 8.063.846 tonnes ont été exportées à l'étranger; c'est une augmentation de 534 505 tonnes sur l'année 1863.

La France en a reçu 1.387.675 pour sa part, et le tableau sui-

vant fait voir dans quelle proportion les différents bassins houillers ont concouru à cette exportation :

Houilles exportées du Royaume-Uni, en France, en 1864.

BASSINS HOUILLERS.	QUANTITÉS.
	tonnes.
Durham, Cumberland et Northumberland	732.942
Galles méridionales	514.069
Yorkshire	68.834
Lancashire	24.218
Écosse	47.612
Total	1.387.675
Exportation de 1863	1.285.514
Augmentation pour 1864	102.161

La Grande-Bretagne trouve en France son principal débouché pour ses charbons. Les contrées qui, après elle, lui en demandent les quantités les plus considérables, sont :

	tonnes.
Les Indes-Orientales	542.032
Le Danemark et les duchés de l'Elbe	522.683
L'Espagne	438.583
La Russie	437.688

Voici d'ailleurs quels sont les ports de l'empire français qui ont reçu les plus forts chargements de houilles anglaises en 1864 :

PORTS.	CHARBONS arrivés du Royaume-Uni.	CHARBONS des mines d'Écosse.	PORTS.	CHARBONS arrivés du Royaume-Uni.	CHARBONS des mines d'Écosse.
	tonnes.	tonnes.		tonnes.	tonnes.
Bordeaux	168.182	12.554	*Report*	1.015.743	32.326
Dieppe	165.865	7.291	Marseille	33.950	5.223
Havre	165.814	1.729	Dunkerque	33.981	1.453
Nantes	126.478	8.730	Fécamp	28.553	»
Boulogne	76.016	1.358	Charente	24.935	4.851
Honfleur	75.165	»	La Rochelle	21.622	142
Caen	69.755	»	Calais	21.000	»
Rouen	64.224	424	Bayonne	21.000	1.845
Saint-Nazaire	60.222	240	Brest	15.000	36
Saint-Malo	44.022	»	Autres ports	171.891	1.799
A reporter	1.015.743	32.326	Total	1.387.675	47.675

La part qui revient à l'Écosse dans les exportations générales, dépasse en 1864, de 59.374 tonnes, le chiffre qu'elle atteignait en 1863 ; elle s'élève à 600.479 tonnes dont 47.675, ainsi qu'il vient d'être dit, ont été dirigées sur la France.

Du reste, ce total de 600.479 tonnes se répartit ainsi à l'expédition :

	tonnes.
Des ports de la Clyde	168.205
Des ports de la côte d'Ayrshire	200.167
Des ports de la côte Est	232.107
Total	600.479

Au prix moyen de 12f.50c par tonne, l'Écosse aurait reçu de l'étranger, en échange de ses expéditions, 7.235.987 francs, la France y contribuant pour 595.937 francs.

Accidents survenus dans les mines de charbons. — A cette statistique, on doit en joindre une autre qui n'est pas moins intéressante, bien qu'à un point de vue différent : c'est celle des accidents occasionnés par le travail des mines de l'Écosse.

Elle est résumée dans le tableau suivant :

NATURE DES ACCIDENTS.	NOMBRE d'accidents.	NOMBRE de morts.
Explosions de feu grisou	4	6
Éboulements	36	38
Chutes, etc., dans les puits	17	17
Divers	7	8
Totaux	64	69
Production de houille	12.700.000 tonnes.	
Population minière	39.183	
Production par mort d'homme	184.117 tonnes.	
Population par mort d'homme	569	

Pour l'ensemble du Royaume-Uni la proportion est d'une mort accidentelle sur 354 mineurs employés et par 109.715 tonnes de charbons amenées à la surface. Les houillères écossaises ont donc l'avantage, ce qui doit être attribué à une observation plus rigoureuse des règlements et à l'introduction des méthodes les plus perfectionnées, surtout dans les mines qui ont été ouvertes récemment.

— On sait que les mines donnant exclusivement des minerais de fer, ne sont pas soumises à l'inspection, ensorte que l'on possède des renseignements statistiques seulement sur celles où ce minerai se trouve assez mélangé avec les charbons pour qu'il puisse y être exploité simultanément.

Du reste, ces conditions se rencontrent presque toujours en Écosse où l'on trouve du minerai de fer carbonaté dans les houillères; et 1.900.000 tonnes environ de minerai de fer, représentant une valeur de 168.000 francs, en ont été extraites en 1864. — 19 des ouvriers employés à ces travaux y ont perdu la vie par accident, c'est-à-dire qu'une vie a été sacrifiée par chaque 100.000 tonnes de minerai produit.

C'est une proportion beaucoup plus forte que celle donnée par l'exploitation des charbons.

(*Extrait d'une dépêche adressée par M. le Consul de France résidant à Glasgow à M. le Ministre des affaires étrangères.*)

Emploi des lampes Mueseler, rendu obligatoire dans les mines de houille du Hainaut.

Les ouvriers des mines de houille sont exposés à des accidents terribles, et dans les charbonnages du couchant de Mons seulement, pendant l'année 1863, 731 ouvriers ont été tués et 9891 blessés sur un nombre effectif de 26,278 ouvriers employés dans le bassin du Hainaut; ce nombre de blessés est véritablement effrayant, puisqu'il s'élève chaque année au tiers des ouvriers employés; aussi l'administration belge a-t-elle pensé qu'il était nécessaire de prescrire la lampe du type *Mueseler*, pour l'éclairage des mines à grisou.

C'est la lenteur apportée par grand nombre d'exploitants à se soumettre aux prescriptions de l'arrêté royal du 29 avril 1864, qui a déterminé le gouvernement de la province du Hainaut à prescrire l'emploi de cette lampe, dans un délai très-prochain.

Voici les principales dispositions qui ont été prises par la députation provinciale de la province du Hainaut :

1° Dans le délai d'un an à partir du 1er octobre 1864, et sauf les exceptions énumérées à l'article 3 ci-après, les ouvriers occupés dans les travaux souterrains des mines reprises au tableau joint à l'arrêté précité, feront exclusivement usage des lampes de sûreté Mueseler du mode prescrit;

2° Cette substitution de la lampe Mueseler aux autres lampes de sûreté, se fera par quart et par trimestre;

3° Les ouvriers des catégories ci-après indiquées pourront, provisoirement, continuer à se servir des lampes de l'un des systèmes qui étaient autorisés par l'arrêté ministériel du 10 juillet 1851, lesquelles, d'après le rapport de M. l'ingénieur en chef, sont plus convenables eu égard à la nature de leurs travaux et occupations, savoir :

1° Porions et surveilants;
2° Poseurs de rails;
3° Graisseurs de roues de chariots;
4° Conducteurs de chevaux et suiveurs de trains de chariots.

— Nous donnons d'ailleurs ici un tableau des mines à grisou de la province du Hainaut, avec l'indication comparative des lampes employées, appartenant soit au système Mueseler, soit à d'autres systèmes.

Tableau des mines à grisou de la province du Hainaut.

DÉSIGNATION DES MINES.	DÉSIGNATION des communes.	NOMBRE d'ouvriers à l'intérieur.	LAMPES EMPLOYÉES, système Muesler.	LAMPES EMPLOYÉES, autre système.
Premier arrondissement.				
Longterne-Ferrant	Elonges.	254	»	400
Grande veine du bois d'Epinois.	*Id.*	390	12	440
Belle-Vue	*Id.*	696	6	847
Midi-de-Dour	Dour.	456	37	633
Longterne-Fruchères	*Id.*	127	4	210
Grand-Bouillon du bois de Saint-Ghislain	*Id.*	316	12	642
Grande veine du bois de Saint-Ghislain	*Id.*	150	»	200
Grande-Machine à feu de Dour.	*Id.*	462	»	850
Bois-de-Boussu	Boussu.	918	24	1.800
Hornu et Wasmes	Wasmes.	1.233	48	2.440
Grand-Buisson	Hornu.	632	24	979
Escouffiaux	*Id.*	1.117	515	852
Grisœuil	Pâturages.	582	706	12
Agrappe	Frameries.	1.136	1.032	230
Picquery	*Id.*	579	26	560
Crachet et Ossenne	*Id.*	902	824	395
Rieu-du-Cœur	Quaregnon.	1.950	128	2.787
Produits (puits n^{os} 18, 20 et 21).	Jemmapes.	1.566	»	2.322
Péronnes	Péronnes.	117	»	170
Totaux		13.603	3.398	13.669

(*Extrait d'une lettre adressée à M. le Ministre des affaires étrangères par* M. Émile Rouzé, *vice-consul de France à Mons.*)

Mines de fer de la Bosnie.

D'après M. Rousseau, consul de France à Serajevo (Bosna-Seraï), il y aurait avantage à confier à un ingénieur des Mines Français la mission d'aller étudier sur les lieux mêmes les richesses minérales

dont la nature a si largement doté la Bosnie. Si, grâce à l'intelligent examen qui en serait fait par un agent spécial et compétent dont le compte rendu de la mission serait livré à la publicité, ces richesses étaient connues en France, elles pourraient nous créer, dans le pays, des intérêts commerciaux et industriels considérables, en déterminant la formation d'une ou de plusieurs compagnies qui, devenant aisément concessionnaires du gouvernement ottoman, viendraient y fonder des établissements métallurgiques d'une grande importance.

La Bosnie est peut-être, de toutes les provinces de la Turquie, celle qui possède le plus de richesses métallifères. Toutefois, on n'en connaît encore qu'imparfaitement la véritable valeur, parce qu'elles n'ont pas été étudiées sérieusement, grâce à l'insouciance qui est habituelle au gouvernement ottoman. Une seule tentative fût faite en 1841 et en 1842 par le gouverneur général de cette province; il fit venir un ingénieur autrichien dans le but d'explorer des filons argentifères autrefois en exploitation; mais la mission de cet ingénieur fut de courte durée et elle n'aboutit à aucun résultat sérieux.

La renommée des richesses métallifères de la Bosnie remonte cependant à une époque reculée. Sous l'empire romain un magistrat de premier ordre, résidant à Scissia, aujourd'hui Sissel, en Croatie, avait dans ses attributions l'inspection de toutes les mines de la Pannonie, qui comprenait le territoire actuel de la Bosnie.

Les mines de fer sont aujourd'hui les seules qui soient exploitées dans le pays. Les principales sont situées dans les localités de Stari-Maïdan, Banialuka, Priédor, Vissoka, Foïnitza, Kreschevo, Varech et Boussovatz. Les procédés que l'on y emploie sont presque barbares.

Le charbon de bois est l'unique combustible employé. La grande étendue des forêts qui couvrent les flancs des montagnes avoisinant les mines, rend ce combustible abondant et par suite son prix est très-peu élevé.

En moyenne le minerai de fer traité ne rend guère que 15 p. 100; mais les scories sont encore très-riches en fer et comme l'a remarqué depuis longtemps, M. A. Boué dans son voyage en Turquie elles seront par la suite exploitées comme minerai.

Chaque usine (si toutefois on peut désigner sous ce nom de misérables baraques en bois mal ajustées) n'occupe guère plus de 4 à 6 ouvriers et le salaire des manœuvres est seulement de 0^{f},60 à 1 fr. par jour. La durée du travail y est au plus de huit mois par année.

Tout le capital engagé dans une usine bosniaque ne dépasse pas en général la somme de 3.000 fr. Ce chiffre comprend du reste les constructions et l'outillage.

Le fer bosniaque se vend environ de 3 à 4 fr. le myriagramme; il est en partie exporté dans les provinces danubiennes et en partie consommé dans le pays sous forme de clous, fers à cheval, haches de bûcherons, armes blanches, armes à feu, faux et faucilles, instruments aratoires et ustensiles divers.

La quantité totale de fer extraite des diverses mines de la Bosnie s'élève au chiffre de 4.279 tonnes. Avec des procédés plus perfectionnés il serait facile de la porter au triple.

Trois industriels autrichiens, après examen préalable des lieux, ont récemment sollicité une concession de mines de l'autorité locale. Voici, sauf approbation de la Sublime-Porte, à quelles conditions le pacha gouverneur général de la province, est disposé à l'accorder.

La concession aura lieu dans le seul district de Foïmtza et comprendra trois ou quatre lots dont l'étendue reste encore à déterminer. Les concessionnaires ne pourront exploiter que les mines de fer, de cuivre, de plomb, de mercure et d'antimoine qu'ils auront découvertes. Les machines et tous les matériaux seront introduits en Bosnie avec franchise de droits de douanes. Le bois nécessaire à leur exploitation, à prendre dans les forêts de l'état, leur sera concédé moyennant le prix de cinq piastres par klafter autrichien, les frais de coupe restant à leur charge. Ils payeront à l'état un droit unique de 12 p. 100 sur les produits obtenus. A l'expiration des vingt-cinq ans, terme de la concession, les usines élevées ainsi que leur matériel et leur outillage, feront purement et simplement retour à l'état. Enfin si dans le délai de trois années, à partir de la date du contrat, la compagnie n'a élevé aucun bâtiment et n'a point commencé ses travaux d'exploitation, la concession lui sera retirée.

Voici d'ailleurs un tableau statistique qui a été dressé par M. Rousseau d'après des renseignements transmis par les curés de chaque district; il donne une idée assez complète de la production métallurgique de la Bosnie.

(*Extrait de diverses dépêches adressées à S. Ex. M. le Ministre des affaires étrangères par* M. Rousseau, *consul de France à Serajevo.*

TABLEAU SYNOPTIQUE

DE

LA PRODUCTION MÉTALLURGIQUE DE LA BOSNIE.

FER.

Tableau synoptique de la production métallurgique de la Bosnie. — FER.

NOMS des localités.	Nombre des usines.	NOMBRE des ouvriers employés dans chaque usine.	NOMBRE des ouvriers employés dans toutes les usines de la localité.	Moyenne du salaire journalier des ouvriers.	MOYENNE de la valeur matérielle dans chaque usine.	MOYENNE de la valeur matérielle dans toutes les usines de la localité.	Nombre des mines exploitées dans chaque localité.	Distance moyenne des mines aux usines.	Moyenne du prix de transport d'une charge de minerai de la mine à l'usine.	Nombre moyen des charges de cheval de minerai nécessaire pour remplir un fourneau.	Nombre moyen des charges de cheval de charbon végétal nécessaire pour remplir un fourneau.	Prix moyen de la charge de cheval de charbon végétal rendu à l'usine.	Rendement moyen de chaque face de forge en métal.	Moyenne des opérations par mine.
				Piastres	Piastres.	Piastres.		Heures.	Piastres	Charges.	Charges.	Piastres.	Okes.	
Foïnitza. . . .	8	9	72	7	13.000	104.000	2	2	1	280	325	2 1/4	2.500	4
Krèschevo. . .	11	8	88	*Id.*	16.000	176.000	9	1 1/2	1	155	300	3	1.500	3
Borovitza. . .	3	3	9	*Id.*	10.000	30.000	1	1/2	3/4	225	600	2 1/2	5.500	3
Varesch. . . .	15	6	90	*Id.*	15.000	225.000	3	1/2	1	80	150	5	1.500	6
Boussovatch.	3	6	18	*Id.*	14.000	42.000	1	2	2 1/2	100	250	2 1/2	1.500	2
Yelesch. . . .	1	5	5	*Id.*	15.000	15.000	1	1/2	1	10	10	4	100	8
Occhievia. . .	7	4	28	*Id.*	8.000	56.000	»	»	»	»	»	»	»	»
Viéka.	6	2	12	*Id.*	7.000	42.000	3	5	7 1/2	80	130	4	1.500	4
Volar.	18	6	108	*Id.*	9.000	162.000	1	2	3	12	15	5	120	8
Sassina. . . .	27	5	135	*Id.*	12.000	324.000	6	3	3	10	10	4	100	8
Stari Meidan.	28	5	140	*Id.*	15.000	420.000	9	1	2 1/2	10	10	4	100	8
Totaux. .	127		705			1.596.000	36							

Soit pour huit mois en moyenne de travail dans le cours d'une année. . . . .

OBSERVATIONS.

Les salaires des ouvriers qui dirigent la fonte et de ceux qui battent le fer sont doubles des salaires que reçoivent de simples ouvriers manœuvres.

Dans ce tableau, la charge d'un cheval est calculée à raison de 100 ocques, l'ocque à 1 kilogramme et 1/4 environ; la piastre à 23 centimes 1/2.

Dans certaines de ces onze localités, on compte, en outre, des usines qui ne sont point en activité; Varesch, par exemple, en a seize qui sont dans ce cas et Vissoka douze.

Certaines usines ont deux foyers ou fourneaux, mais la généralité n'en possède qu'un seul.

POIDS MOYEN du rendement mensuel en fer de chaque usine.	POIDS MOYEN du rendement mensuel en fer de toutes les usines de la localité.	Prix de l'okc de fer vendue sur place.	VALEUR MOYENNE du fer produit par mois dans chaque usine.	VALEUR MOYENNE du fer produit par mois par toutes les usines de la localité.	OBJETS FABRIQUÉS dans chaque localité avec le fer produit par ses usines.	Profondeur moyenne des excavations des mines.	Longueur, largeur et hauteur moyennes des usines.	Moyens employés pour extraire le minerai.	Éclairage des galeries et des puits de mines.
Okes.	Okes.	Piastres	Piastres.	Piastres.		Archines.	Archines.		
10.000	80.000	2	20.000	160.000	Instruments aratoires, serrureries, fers à cheval, clous.	100	25 de long sur 15 de large et 16 de haut.	avec la pioche et parfois avec la mine.	à la chandelle.
4.500	50.000	2	9.000	100.000	Clous, quelques ustensiles et exportation en barres.	de 10 à 100	100 de long sur 3 de large et 2 1/2 de haut.	*Id.*	*Id.*
16.500	49.500	2 1/2	41.250	123.750	Instruments aratoires, haches, pioches, etc.	200 à 300	400 de long sur 3 de large et 3 de haut.	avec la mine.	torche de résine.
9.000	135.000	1 1/4	11.250	168.750	Instruments aratoires, ustensiles de ménages, clous, fers à cheval.	30 à 300	De 10 à 30 de long sur la même proportion en largeur et en hauteur.	avec la pioche et la mine.	à la chandelle.
3.000	9.000	2	6.000	18.000	Clous et fers à cheval.	5 à 6	300 de long sur 100 de large.	*Id.*	la mine est à ciel ouvert.
800	800	2	1.600	1.600		20 à 30	De 3 à 10 de long sur 3 de large et 3 de haut.	*Id.*	torches de résine et chandelles.
800	5.000	2 1/2	2.000	14.000	La plus grande partie du fer produit par ces usines est exportée en barres à l'étranger par les échelles de la Save; le reste est travaillé dans les localités, et l'on en fait des instruments aratoires, des ustensiles de ménage, étriers, clous, étrilles, chaines, cercles de tonneaux, serrurerie, etc.	»	»	»	»
6.000	36.000	2	12.000	72.000		30 à 300	10 a 30 de long sur la même proportion en largeur et en hauteur.	avec la pioche et la mine.	à la chandelle.
1.000	18.000	1 1/4	1.250	22.500		5 à 10	30 de long sur 10 de large et 5 de haut.	avec la pioche.	*Id.*
800	21.000	2	1.600	43.200		10 à 40	Largeur : 2.	*Id.*	*Id.*
800	22.400	2	1.600	44.800		*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*
	427.000			768.600					
. . . . .	3.423.200			6.148.800					

NOMS DES MINES.

A Foïnitza, Koziza.
A Kreschcoo, Ossoyé.
— Ovrilina.
— Sipotljévitza.
— Goumanatz.
— Brerié.

A Kreschcoo, Zlata.
— Gadja.
— Ferlitza.
— Babiarovan.
A Varesch, Drochestovatz.
— Schachekida.

A Varesch, Smreka.
A Bussovatch, Ivanvoitza.
A Yelesch, Stara.
— Tochiona.
— Ouvala.
A Volar, Lynbia.

A Sassina et Stari Meidan,

Obrovatz.
Krivalia.
Climenta.
Yazevatz.
Kouska.
Schèkiljevitza.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIXIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Notice sur une exploration géologique à Madagascar pendant l'année 1862; par M. *E. Guillemin*, ingénieur civil. 277

Note sur les gisements stanifères du Limousin et sur quelques anciennes fouilles qui paraissent s'y rattacher; par M. *Mallard*, ingénieur des mines. 321

Mémoire sur le réseau pentagonal; par M. *Pouyanne*, ingénieur des mines. 353

Extraits de géologie; par MM. *Delesse* et *de Lapparent*. . . . 469

CHIMIE ET PHYSIQUE.

»

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

»

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Solution de divers problèmes de mécanique, dans lesquels les conditions imposées aux extrémités des corps, au lieu d'être invariables, sont des fonctions données du temps, et où l'on tient compte de l'inertie de toutes les parties du système; par M. *Phillips*, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École polytechnique. 211

Des applications de la mécanique à l'horlogerie; par M. *Résal*, ingénieur des mines. 423

Bulletin des explosions d'appareils à vapeur arrivées pendant le 1er semestre de 1865. 458

Rapport, et avis de la commission centrale des machines à vapeur sur l'explosion d'une chaudière à Metz. 461

Pages.

CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

Mémoire sur les inconvénients des freins ordinaires et sur l'emploi régulier de la contre-vapeur pour modérer la vitesse ou produire l'arrêt des trains; par M. *Ricour*, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la traction du chemin de fer du nord de l'Espagne. 141

Rapport de la commission chargée d'examiner un mémoire de M. *Triger*, sur les mesures propres à prévenir les accidents auxquels peut donner lieu son procédé de fondations des ouvrages hydrauliques; par MM. *Combes*, *de Hennezell* et *Féline Romany*, rapporteur. 407

OBJETS DIVERS.

Rapport sur l'assainissement industriel et municipal en France (suite); par M. *de Freycinet*, ingénieur des mines. . 1

NÉCROLOGIE.

M. *Lorieux*, inspecteur général des mines; par M. *Combes*, inspecteur général des mines. 404

BULLETIN.

Travaux exécutés au bureau d'essai d'Alais, en 1865, par M. Ledoux, 599. — Mines de cuivre du Cap de Bonne-Espérance, 602. — Mines de Norwége, 603. — Données statistiques relatives à l'exploitation des mines de houille de l'Écosse et du Royaume-Uni, pendant l'année 1664, 603. — Emploi des lampes Mueseler, rendu obligatoire dans les mines de houille du Hainaut, 607. — Mines de fer de la Bosnie, 608.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIXIÈME.

Pages.

Pl. I à IV. *Assainissement industriel et municipal*. 1

Pl. I.

Fig. 1 et 2. Appareils hydrobarométriques pour la vidange des fosses d'aisances, à Bordeaux.
Fig. 3. Tuyaux inamovibles pour la vidange.

Pl. II.

Fig. 1 à 3. Bassins d'épuration des eaux de teinture à l'indigo, dans le département du Nord.
Fig. 4 à 6. Bassins d'épuration des eaux de teinture à toutes couleurs, même département.
Fig. 7 à 10. Bassins d'épuration des eaux de lavage des laines de veuve Isaac Holden, près Lille.

Pl. III.

Fig. 1 à 4. Égout courant de Paris.
Fig. 5 à 10. Égouts divers de Lyon.
Fig. 11 et 12. Admission des eaux ménagères dans les égouts, à Lyon
Fig. 13 à 15. Fosse d'aisances à diviseur fixe, à Lyon.

Pl. IV.

Fig. 1. Fosse mobile à diviseur, Paris.
Fig. 2 et 3. Émissaire d'Asnières.
Fig. 4 à 7. Types divers de collecteurs à Paris.

Pl. VI, VI *bis*. *Emploi de la contre-vapeur comme frein*. 141

Pl. VI. *Fig.* 5 à 10. *Réseau pentagonal*. 343

Pages.

Pl. VII et VIII. *Géologie de Madagascar*. 277

Pl. IX.

Fig. 1 à 5. Horlogerie. 407
Fig. 6 à 10. Explosion d'une chaudière. 461

ERRATA DU MÉMOIRE DE M. MALLARD.

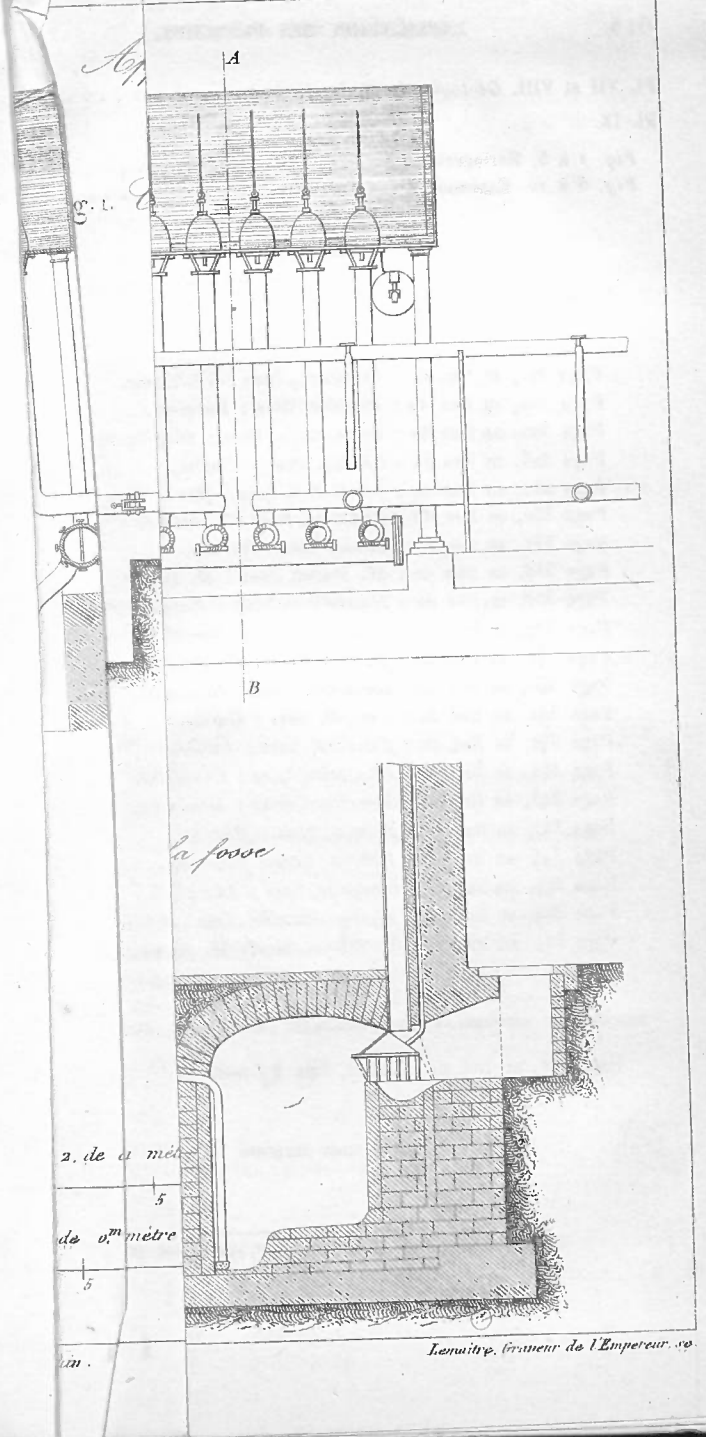
Page 321, au lieu de : *Villeluna*, lisez : *Villelume*.
Page 322, au lieu de : *Bunière*, lisez : *Bussière*.
Page 322, au lieu de : *Bresailoufa*, lisez : *Breuilaufa*.
Page 323, au lieu de : *Cholus*, lisez : *Chalus*.
Page 331, au lieu de : *Los-le-Roi*, lisez : *Bas le Roc*.
Page 331, au lieu de : *Châtelin*, lisez : *Chatelus*.
Page 337, au lieu de : *Rozès*, lisez : *Razès*.
Page 338, au lieu de : *M. Durut*, lisez : *M. Darcet*.
Page 338, au lieu de : *Moudelisse*, lisez : *Maudelesse*.
Page 339, au lieu de : *Jouaillot*, lisez : *Janaillat*.
Page 340, au lieu de : *Ternon*, lisez : *Touron*.
Page 340, au lieu de : *Goussard*, lisez : *Goussaud*.
Page 341, au lieu de : *Gersent*, lisez : *Garsaud*.
Page 342, au lieu de : *Amiéras*, lisez : *Auriéras*.
Page 342, au lieu de : *Chaptelet*, lisez : *Chaptelat*.
Page 343, au lieu de : *Mourioux*, lisez : *Mourioux*.
Page 343, au lieu de : *Morsac*, lisez : *Marsac*.
Page 344, au lieu de : *Lieuras*, lisez : *Lécuras*.
Page 344, au lieu de : *Lavignac*, lisez : *Ladignac*.
Page 344, au lieu de : *Montier-Rozeille*, lisez : *Moutier-Rozeille*.
Page 349, au lieu de : *M. Morin*, lisez : *M. Manès*.

ERRATUM DU RAPPORT DE MM. COMBES, DE BENNEZEL ET FÉLINE-ROMANY.

Page 418, au lieu de : *Loiret*, lisez : *Louet*.

FIN DU TOME DIXIÈME.

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



Appareils hydro-barométriques du docteur A. Comandré, à Bordeaux. (Fig. 1 à 3.)

Fig. 1. *Coupe transversale par AB.*

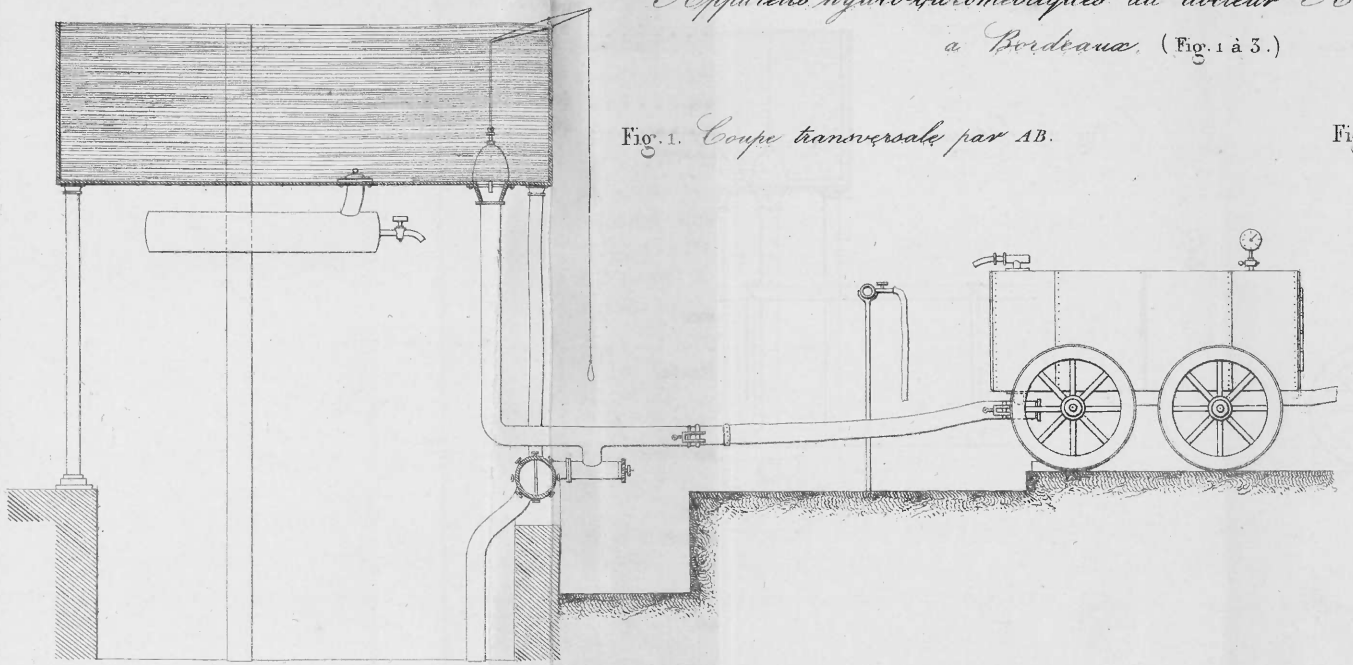


Fig. 2. *Elévation.*

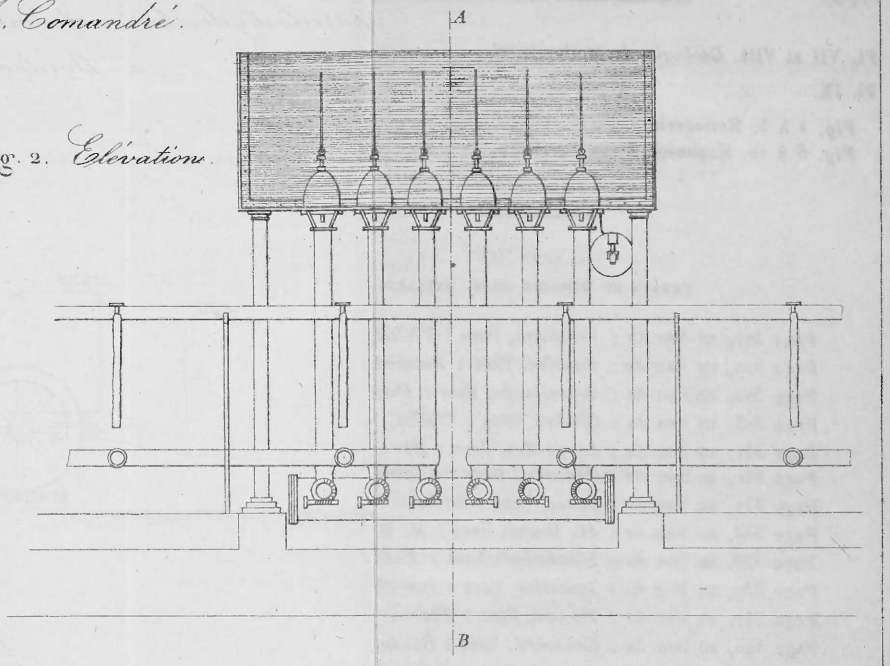
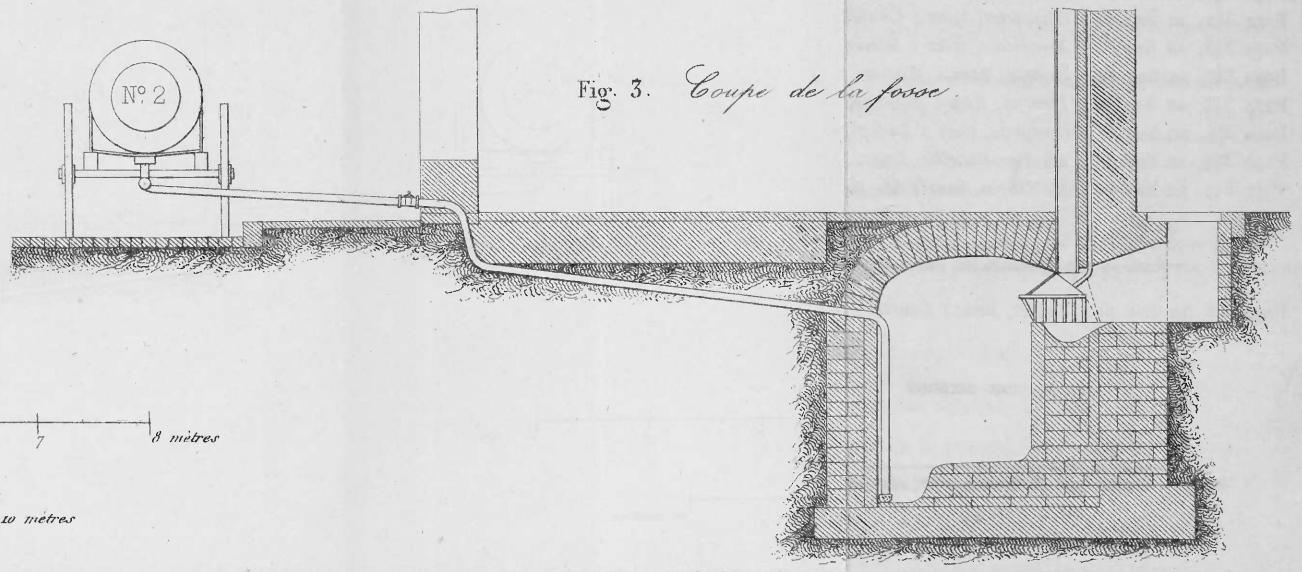
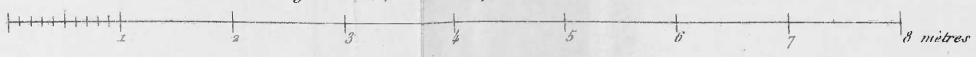


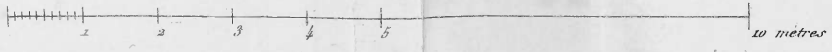
Fig. 3. *Coupe de la fosse.*



Echelle des Fig. 1 et 2, de 0.m 015 pour 1 mètre



Echelle de la Fig. 3, de 0.m 01 pour 1 mètre.



1re Catégorie

Bassins d'épuration des eaux des teinturiers (Fig. 1 à 6.)

Fig. 1. Coupe par AB.

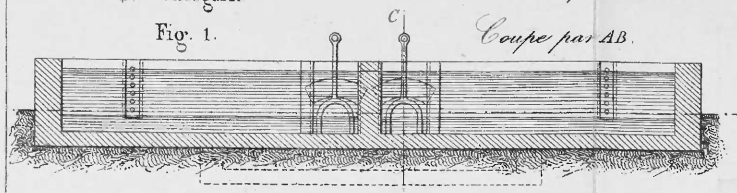


Fig. 2. Coupe par CD.

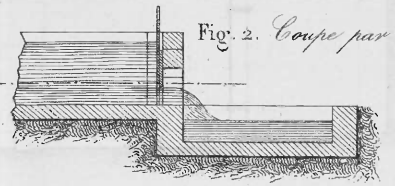
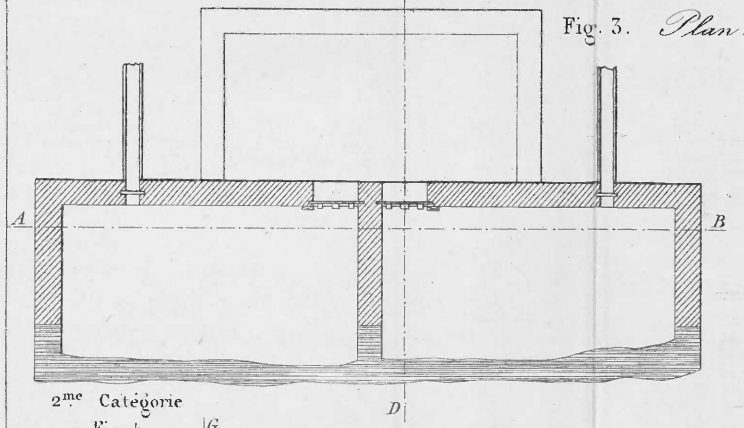
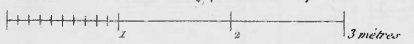


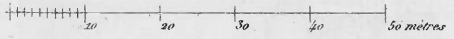
Fig. 3. Plan.



Echelle des Fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 et 10, de 0,015 p.r m.



Echelle des Fig. 7 et 8, de 0,001 p.r 1 mètre.



2me Catégorie

Fig. 4. Coupe par EF.

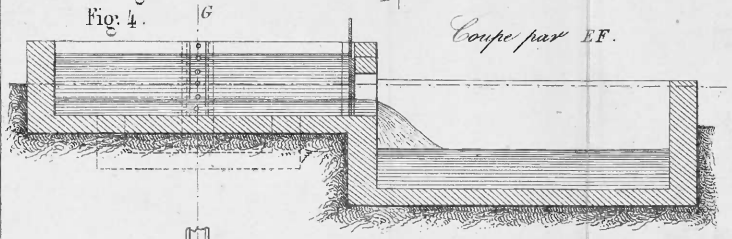


Fig. 5. Coupe par GH.

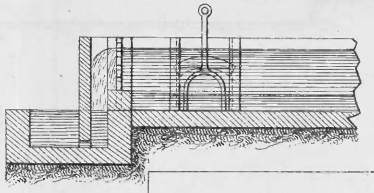
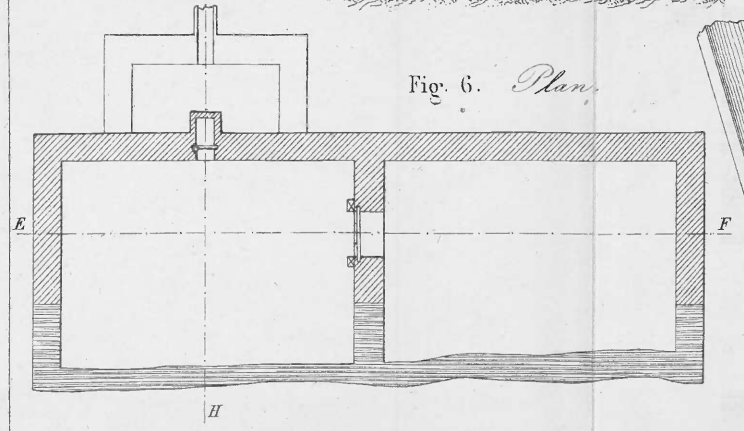


Fig. 6. Plan.



Usine de MM. Isaac Holden et fils. (Fig. 7 à 10.)

Fig. 9. Coupe par la ligne LM.

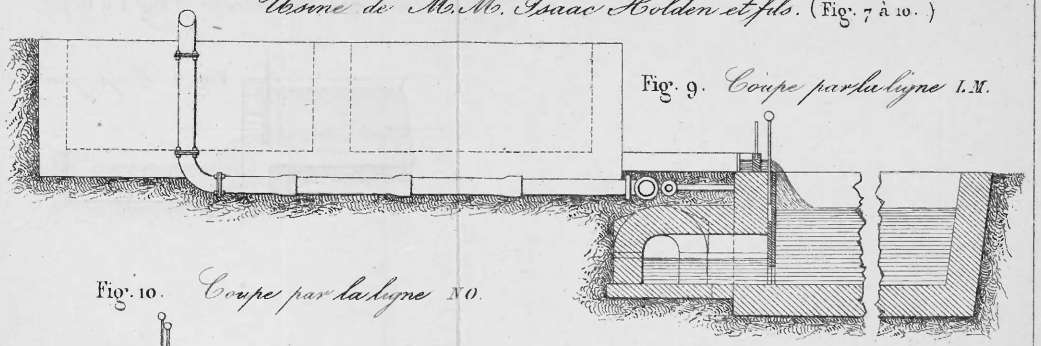


Fig. 10. Coupe par la ligne NO.

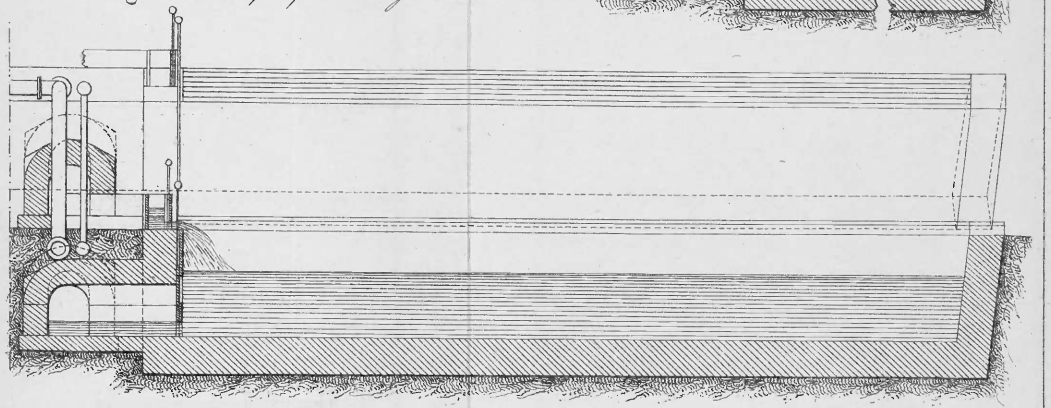


Fig. 7. Plan de l'usine de MM. Isaac Holden et fils.

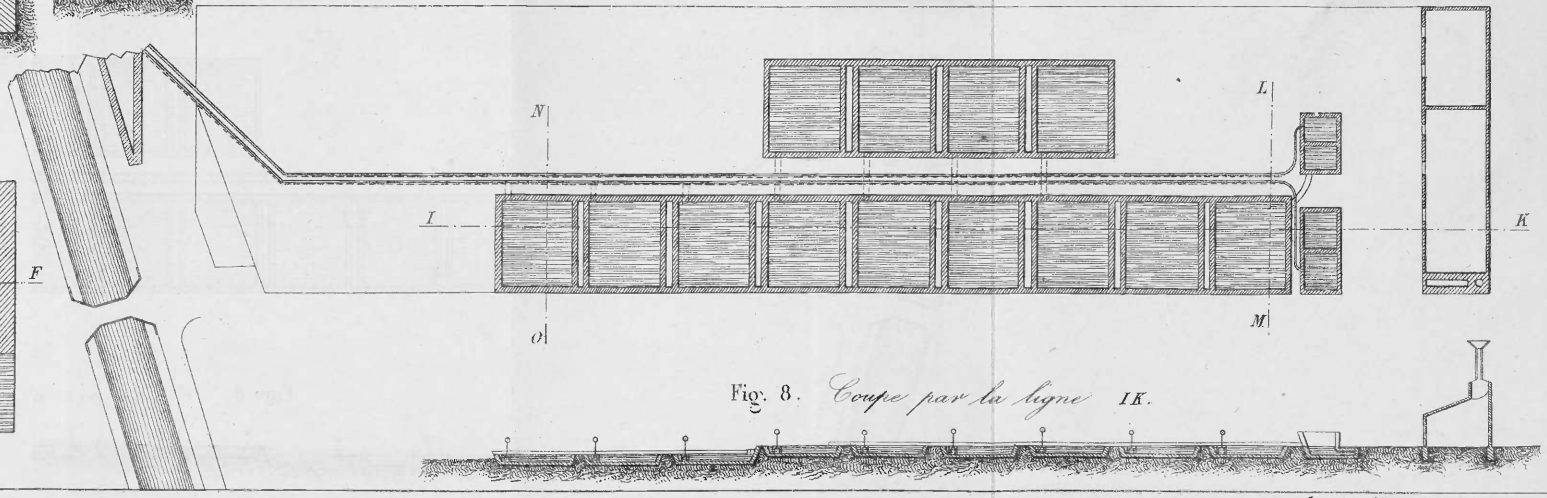
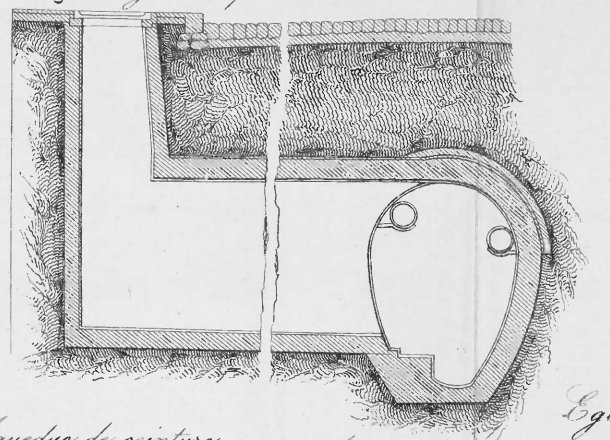


Fig. 8. Coupe par la ligne IK.

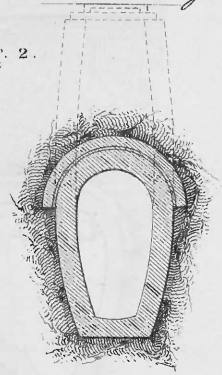
Égouts de Paris. (Fig. 1 à 4.)

Fig. 1. Galerie pour deux conduites.



Branchement de regard.

Fig. 2.



Branchement de bouche.

Fig. 3.

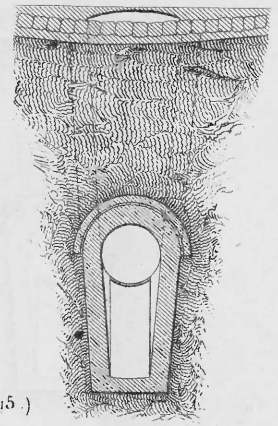
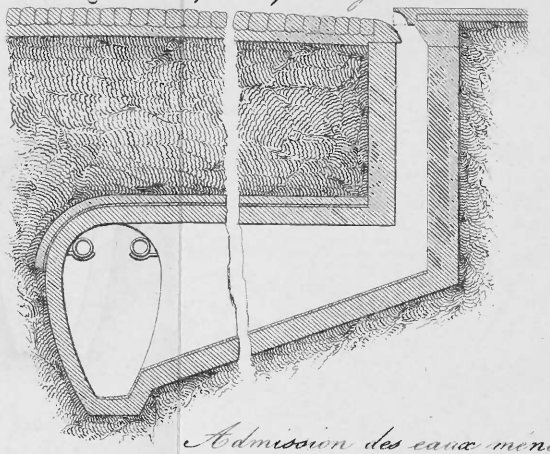


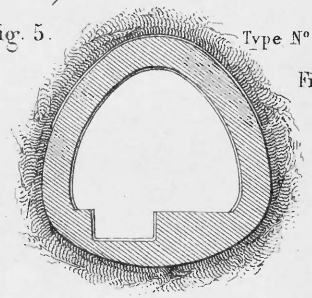
Fig. 4. Coupe du petit égout.



Égouts de la ville de Lyon. (Fig. 5 à 15.)

Aqueduc de ceinture.

Fig. 5. Type N° 2.



Aqueduc d'embranchement.

Fig. 6. Type N° 1.

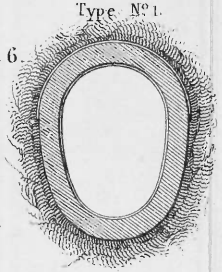
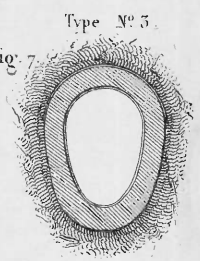
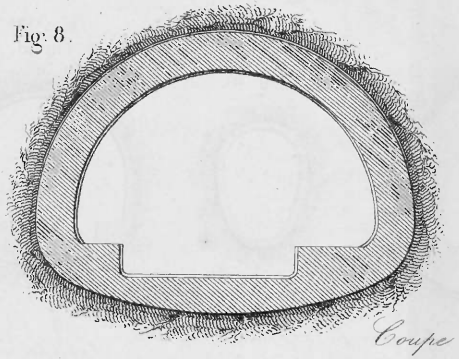


Fig. 7. Type N° 3.



Aqueduc de ceinture. Type N° 1.

Fig. 8.



Types d'aqueducs en ciment.

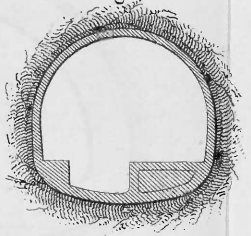
3e Type.

Fig. 9.



4e Type.

Fig. 10.



Admission des eaux ménagères.

Fig. 11. Coupe verticale.

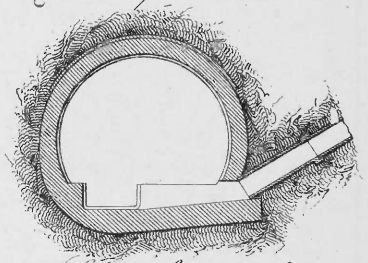
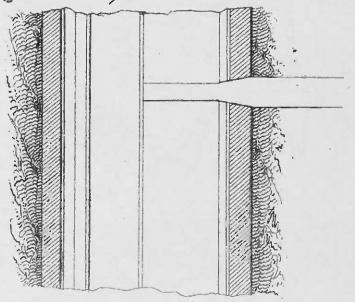
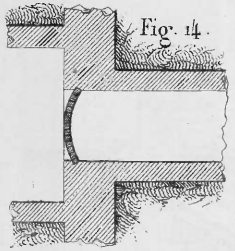


Fig. 12. Coupe horizontale.



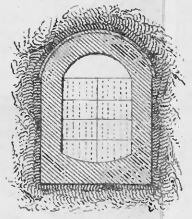
Coupe horizontale par AB.

Fig. 14.



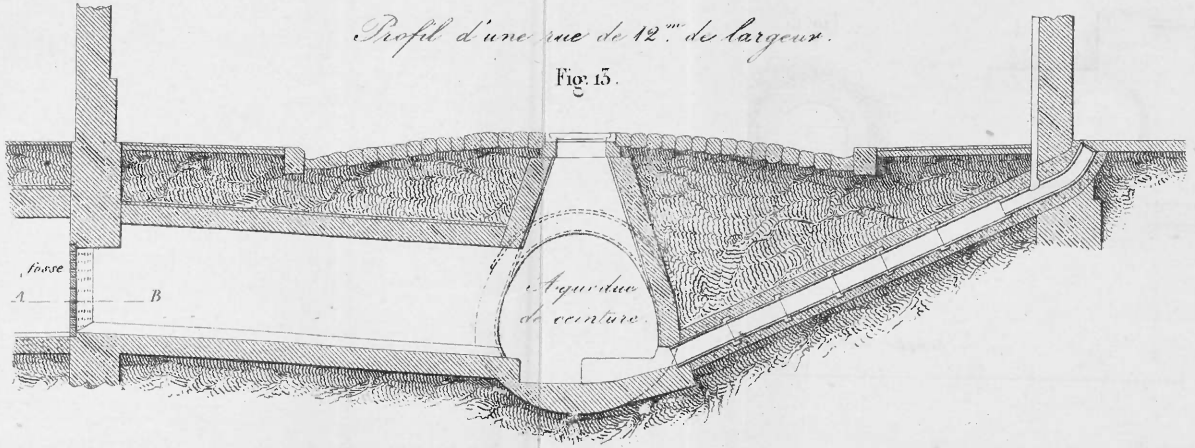
Coupe en travers.

Fig. 15.

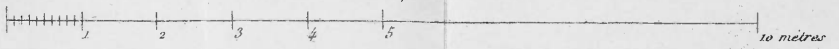


Profil d'une rue de 12m. de largeur.

Fig. 13.

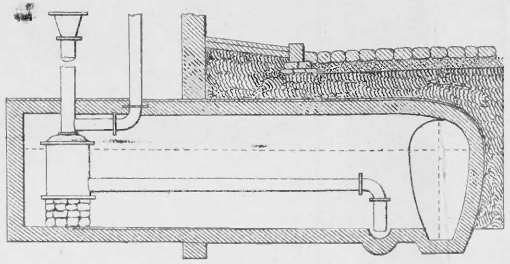


Échelle de 0, 01 pour 1 mètre.



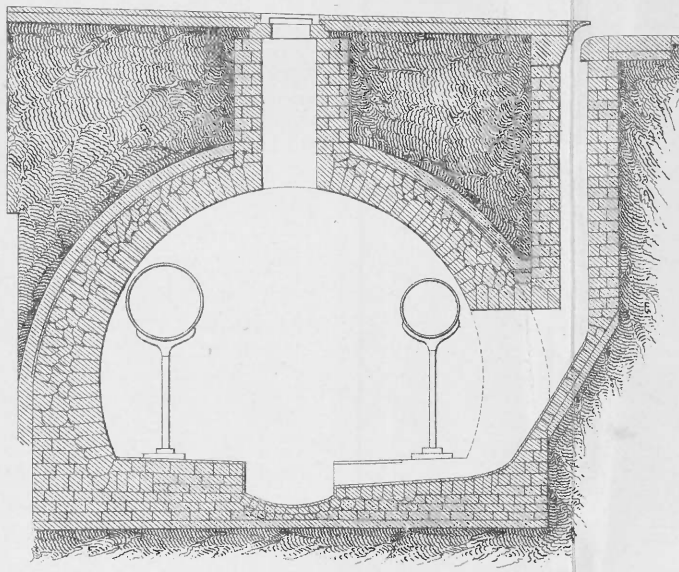
Branchements d'égouts avec fosse mobile.

Fig. 1.



Grande galerie du B.d Sébastopol.

Fig. 4.



Egouts de Paris.

Fig. 2. *En tranchée.*

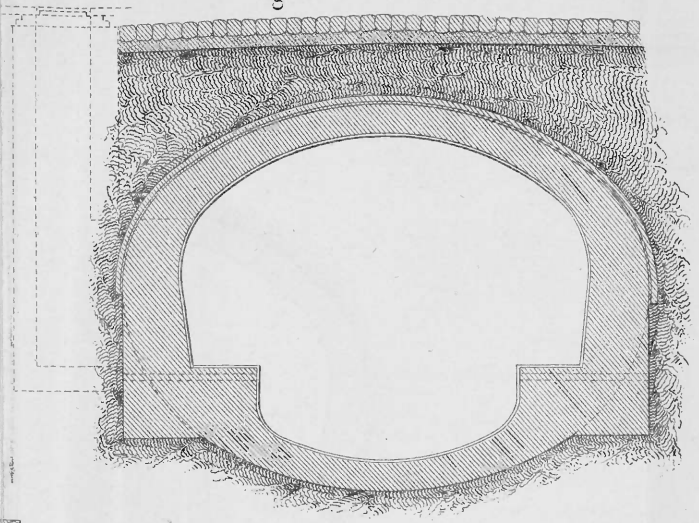
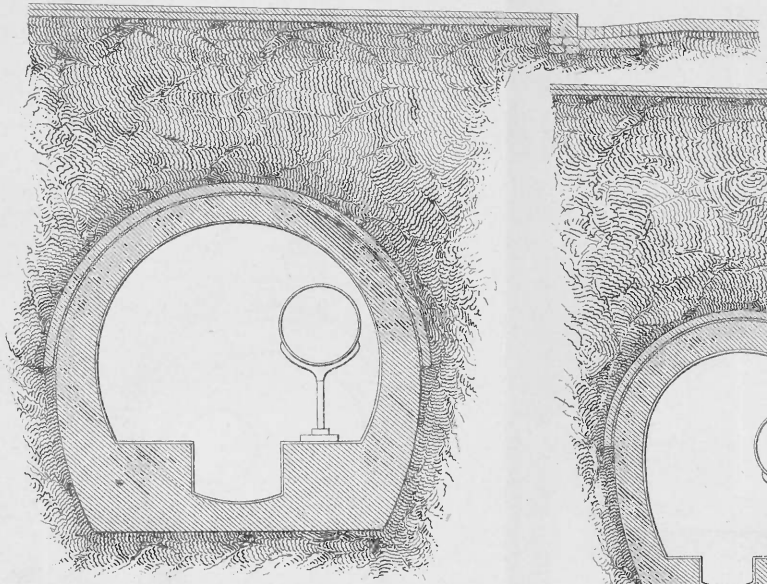


Fig. 5. *Galerie du B.d S.t Michel.*



Collecteur général d'Asnières.

Fig. 3.

En souterrain

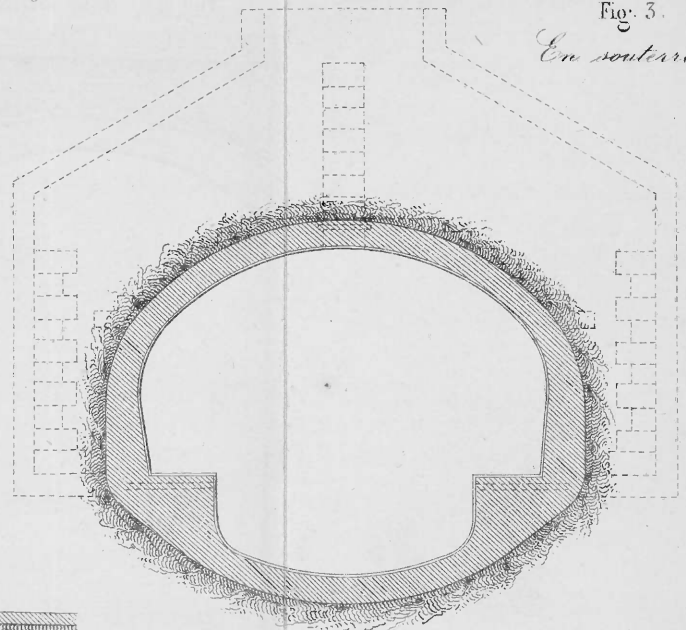


Fig. 6. *Galerie du B.d S.t Michel.*

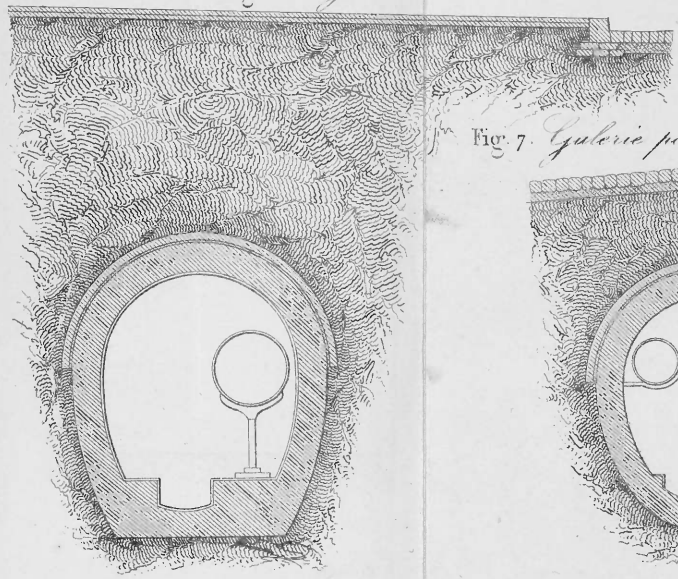
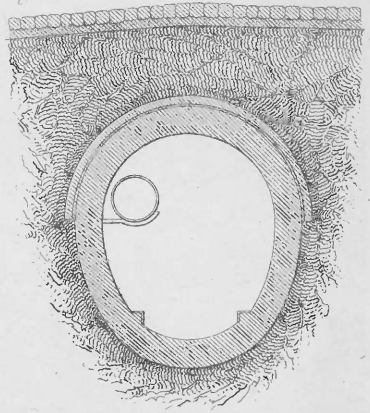


Fig. 7. *Galerie pour grosses conduites.*



Echelle de 0. 01 pour 1 mètre.

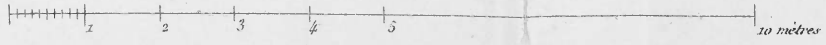


Fig. 1.

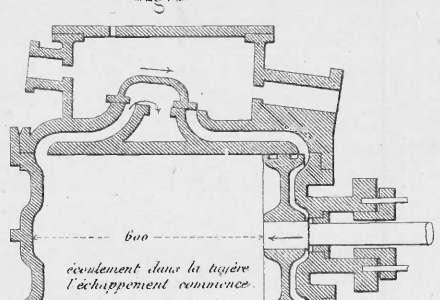


Fig. 2.

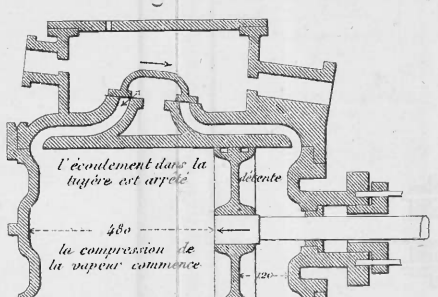


Fig. 3.

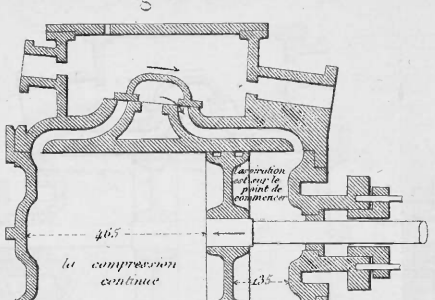


Fig. 4.

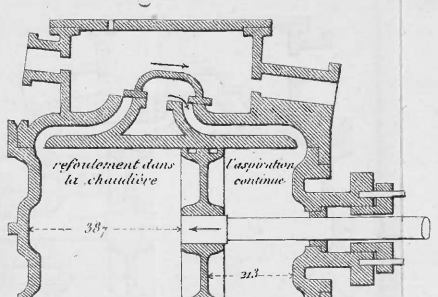


Fig. 5.

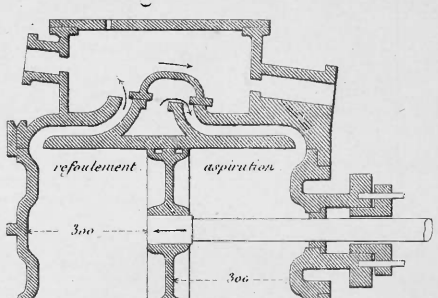


Fig. 7.

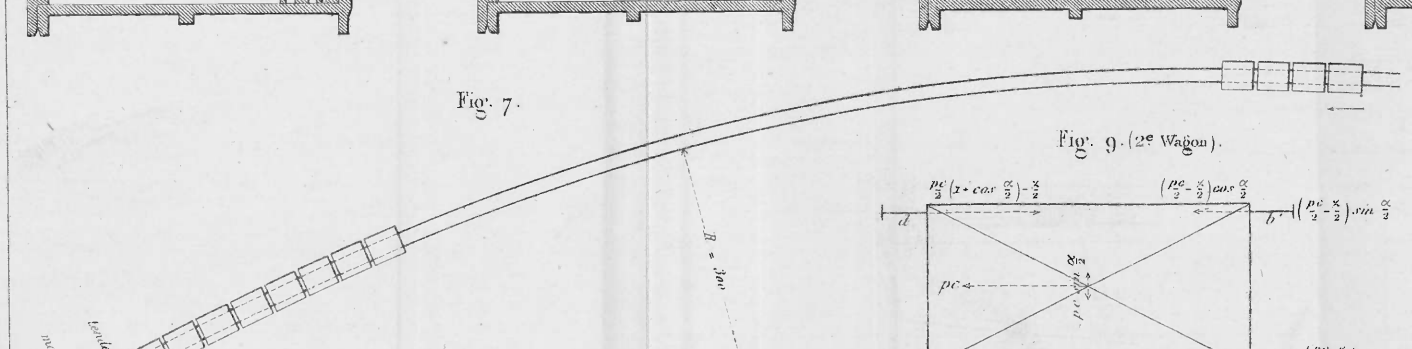


Fig. 9. (2e Wagon).

Fig. 11.

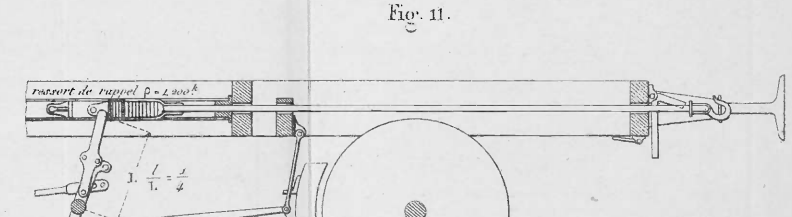


Fig. 8. (1er Wagon).

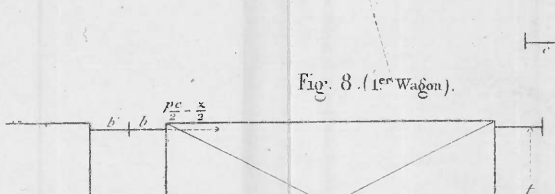


Fig. 6.

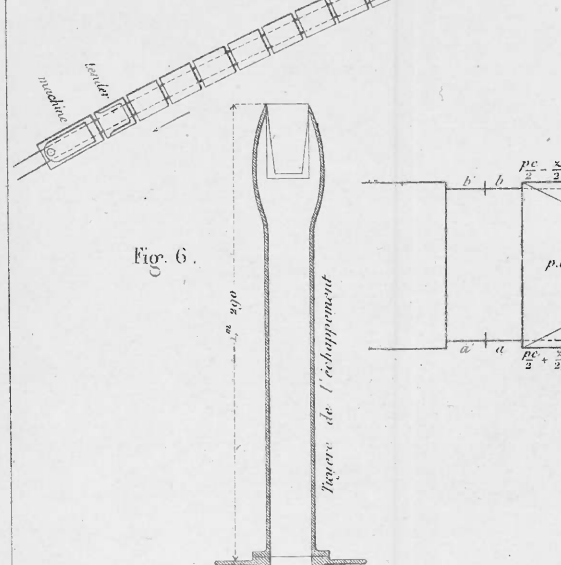


Fig. 10.



Fig. 12.

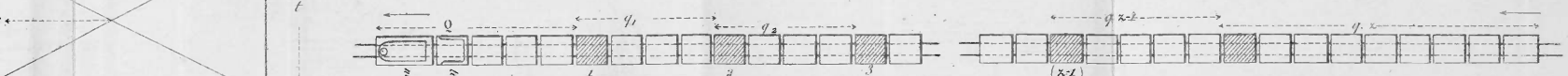


Fig. 13.

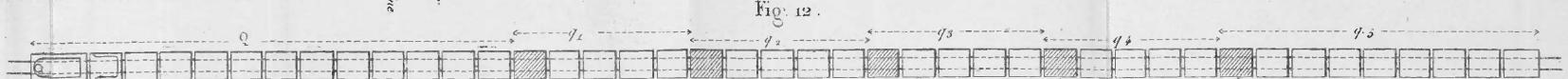


Fig. 14.



Annales des Mines 6e Serie Tome X. pages 141 et suiv.

Lemaitre Graveur de l'Empereur. sc.

Fig. 1.

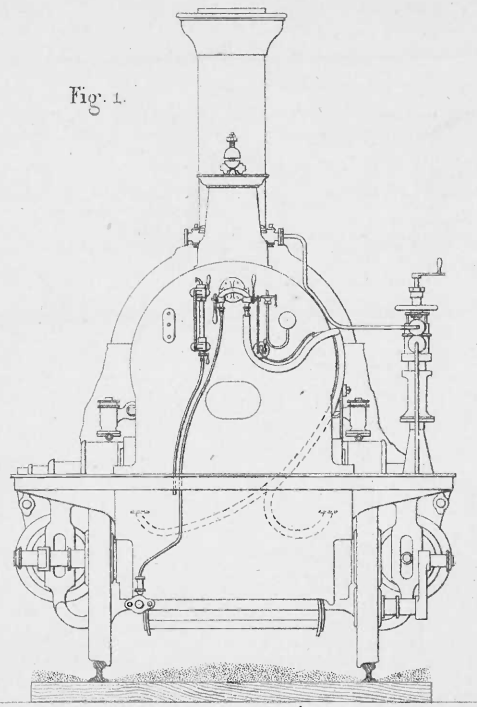


Fig. 2.

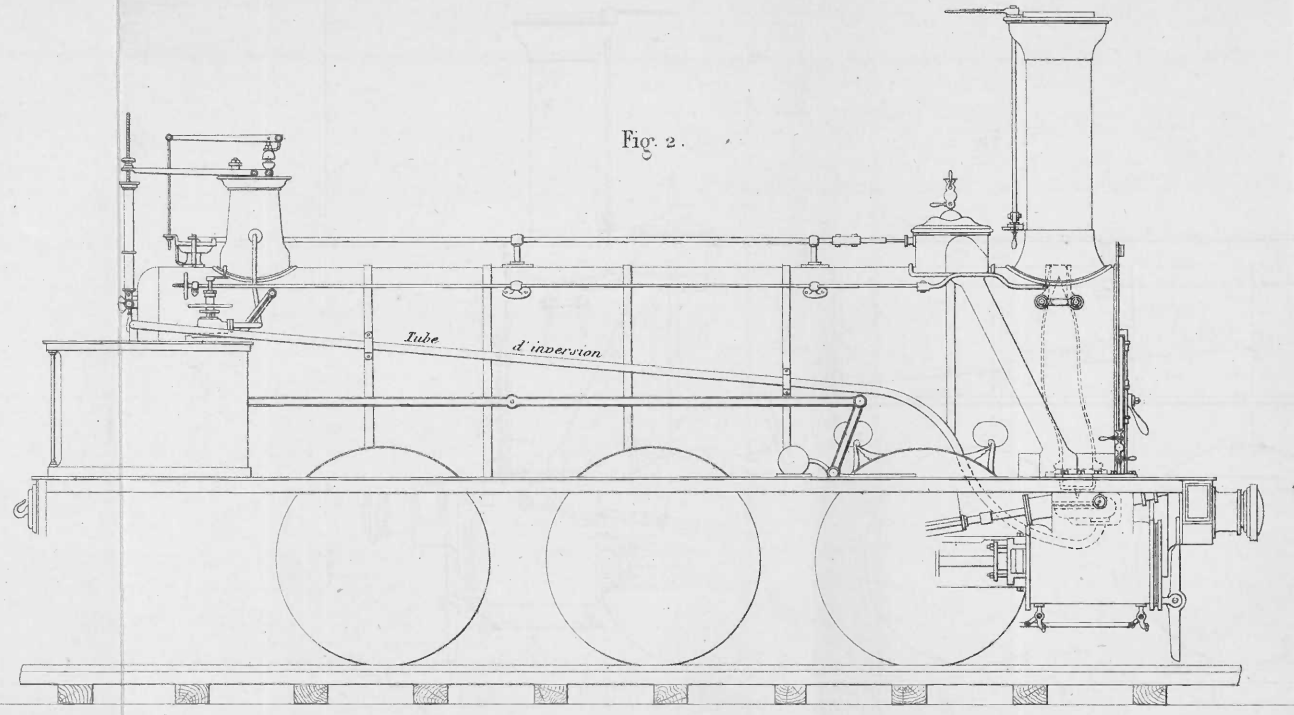


Fig. 3.

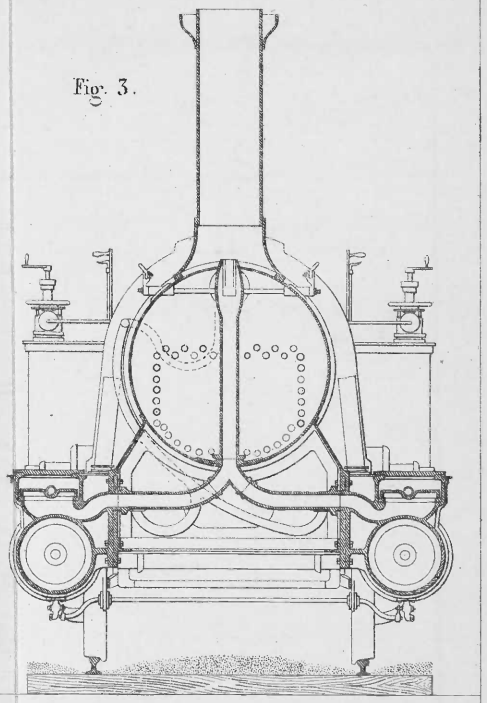


Fig. 4.

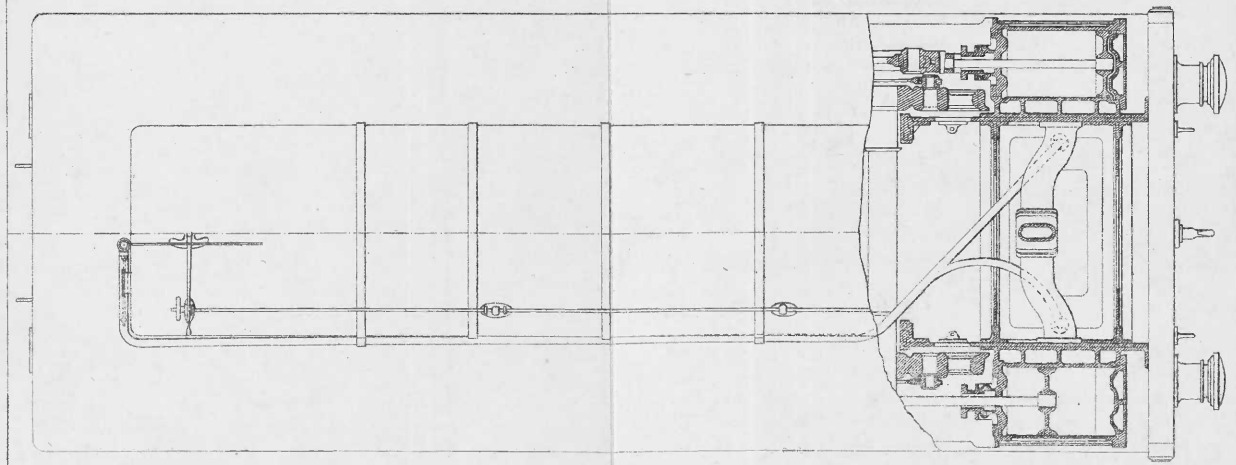


Fig. 10.



Fig. 5.

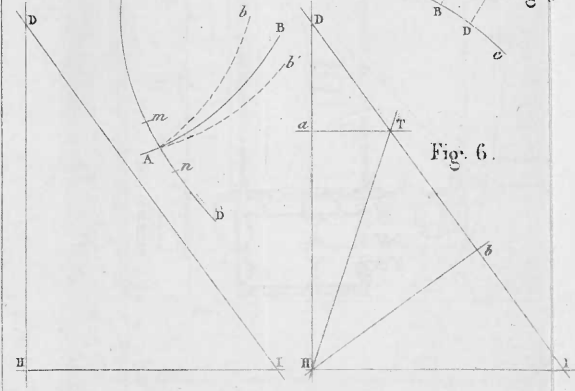


Fig. 9.

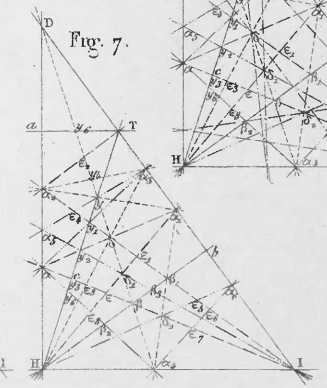
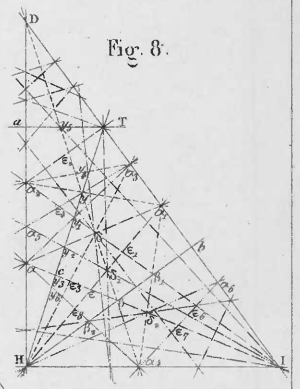


Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.



Volume de vapeur aspirée par les cylindres pendant 1/4 de tour de roue.

Fig. 1. Epure relative au 6e cran.

Fig. 2. Epure relative au 9e cran.

Echelle horizontale 1/20
Echelle verticale 1/4

Développement de 1/4 de tour de roue. 1020 m/m

Fig. 3. Ligne de Madrid à Irun. Profil en long.

Pentes comprises entre 9 et 14 millimètres.
Pentes supérieures à 14 millimètres.

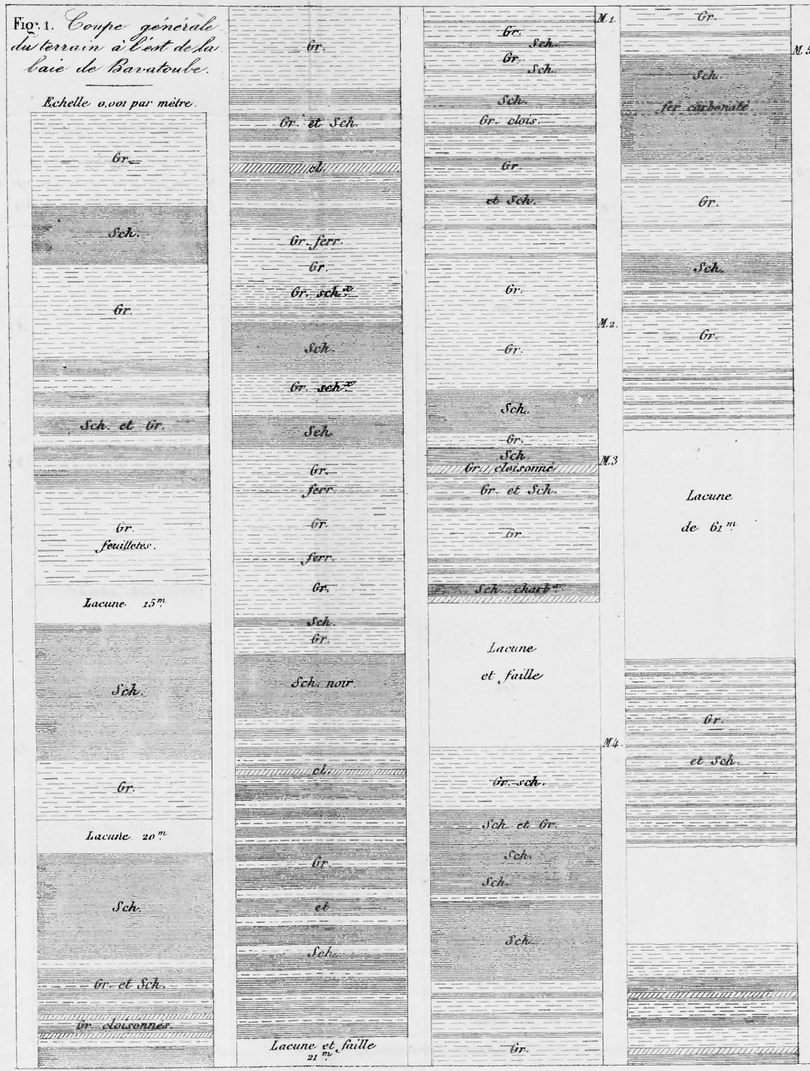
Echelle verticale 0,0004 pour 10 mètres.
Echelle horizontale 0,0004 pour 1 kilomètre.

Annales des Mines. 6e Série, Tome X. pages 141 et suiv.

Lemaître Graveur de l'Empereur sc.

Fig. 1. *Coupe générale du terrain à l'Est de la baie de Bavatoube.*

Echelle 0,001 par mètre.



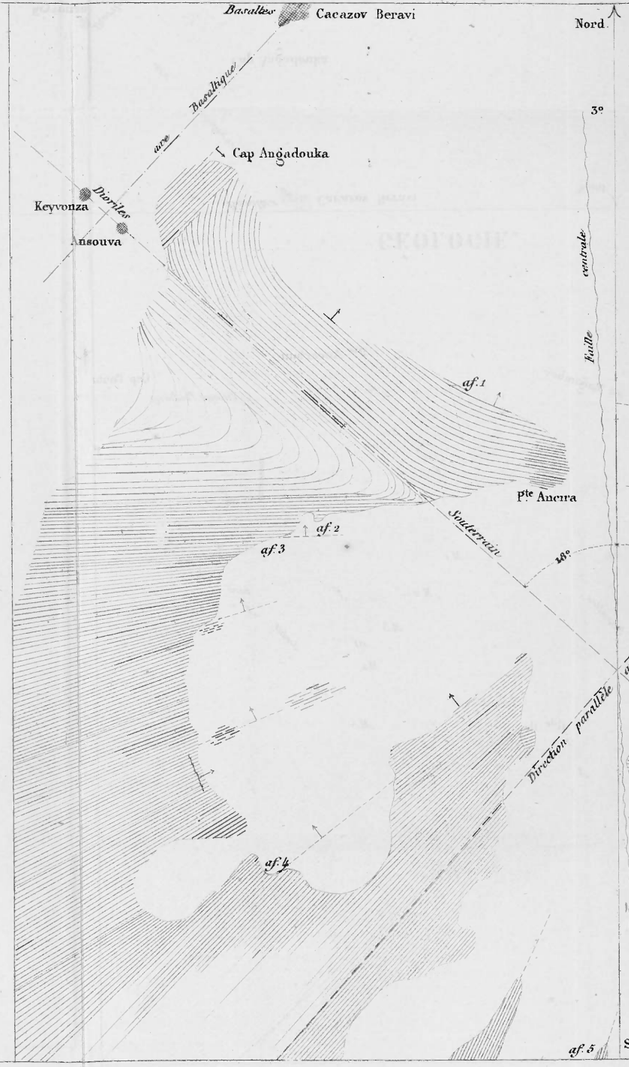
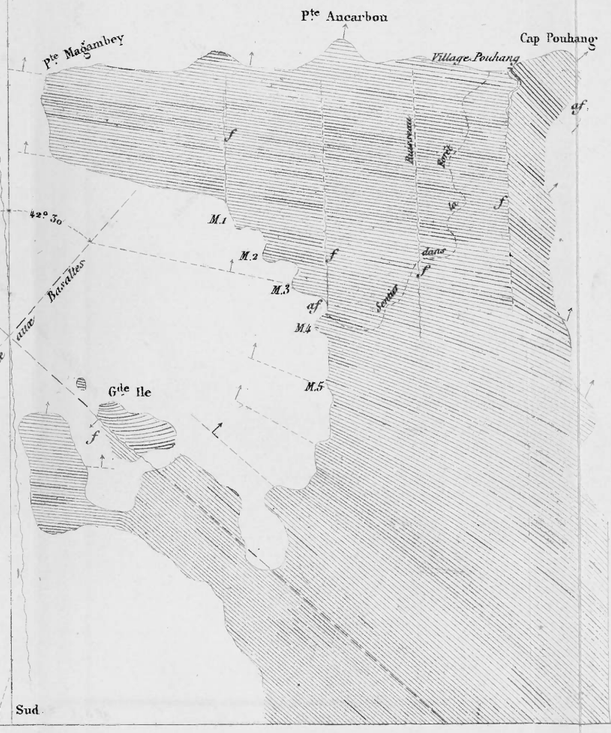


Fig. 2. *Allure générale des couches dans la baie de Bavatoube.*

af. Affleurement de houille.
f. Faille.
M. Morne.

Echelle

1 2 kilom.



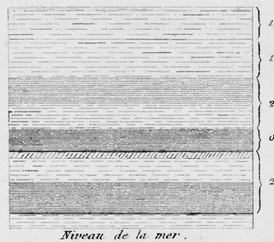


Fig. 3. *Coupe du 2e affleurement de la baie. Ouest.*

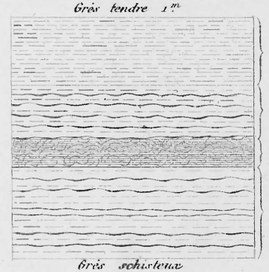


Fig. 4. *Coupe du 3e affleurement de la baie. Ouest.*

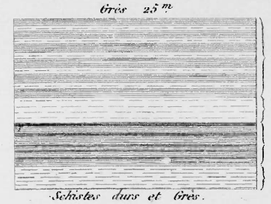


Fig. 5. *Coupe du 4e affleurement de la baie. Ouest.*

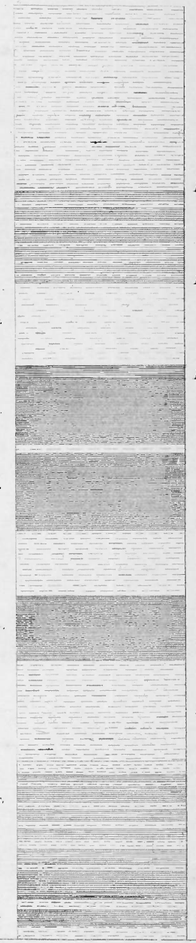
Annales des Mines. 6e Série, Tome X. pages 277 et suiv.

Lemaître, Graveur de l'Empereur, sc.

Coupe du terrain h.r au cap Rinserando.

Fig. 1.

Echelle : 0,005 p. mètre.



Coupe du terrain h.r à Badani (baie de Passandava.)

Côte nord-ouest de Madagascar.

Fig. 2.

Echelle : 0,003 p. mètre.

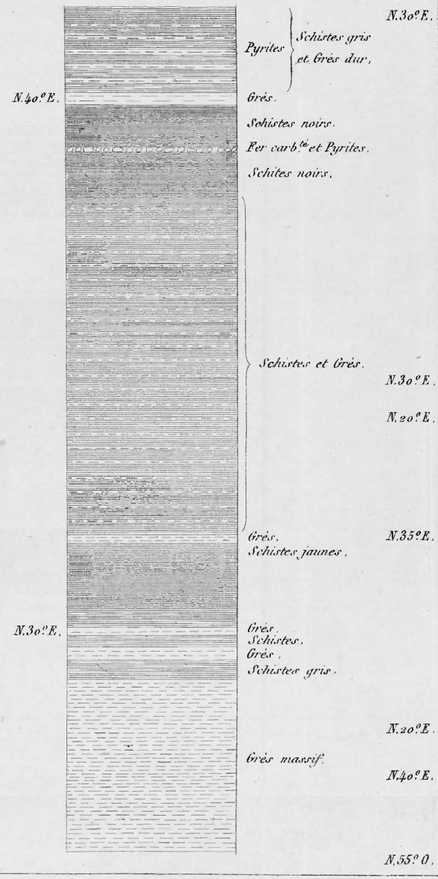
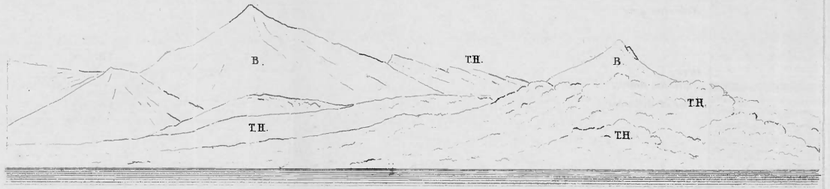




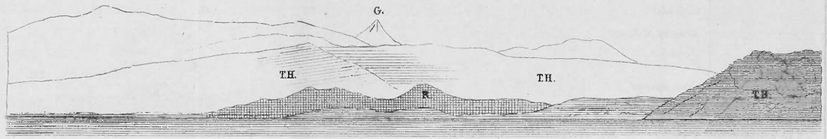
Fig. 3.



B. Basaltes. T.H. Terrain h.r Montagne des deux Sœurs.

Chaînon basaltique de la presqu'île de Passandava. (Ouest de la baie.)

Fig. 4.



G. Granite ancien. R. Roche éruptive. T.H. Terrain h.r

Fond de la baie de Passandava.

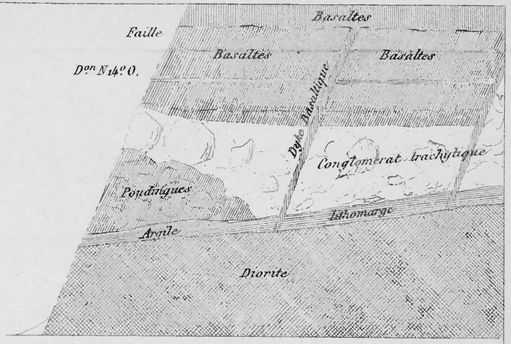
Fig. 6.



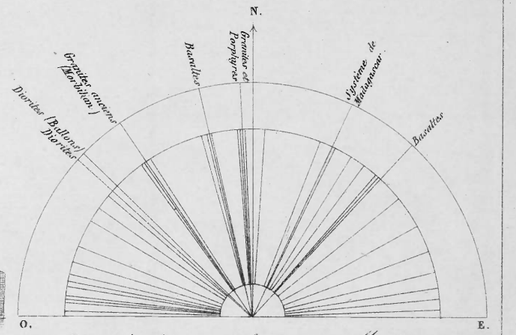
Chaîne éruptive du Malao Lari

Fig. 5.





Relation des roches volcaniques à l'île de la Réunion.
Coupe prise dans le ravin du Bras rouge. (Lilaos).



Rose des directions observées à Madagascar.

Annales des Mines 6.e Série, Tome X. pages 277 et suiv.

Lemaître Graveur de l'Empereur. sc.

Horlogerie.

Fig. 1.

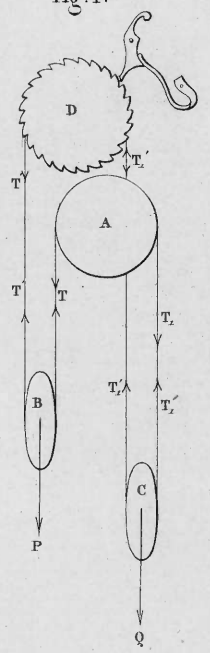


Fig. 2.



Fig. 3.

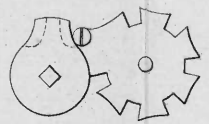


Fig. 5.

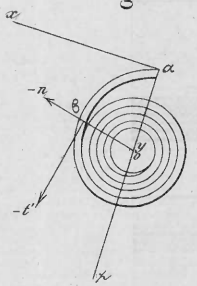
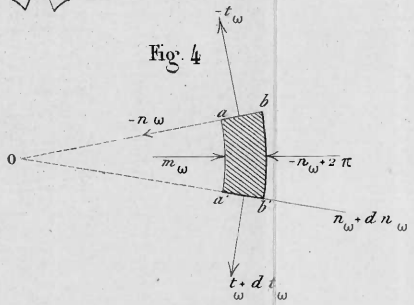


Fig. 4



Explosion d'une chaudière à vapeur à Metz. (Moselle).

Fig. 6.

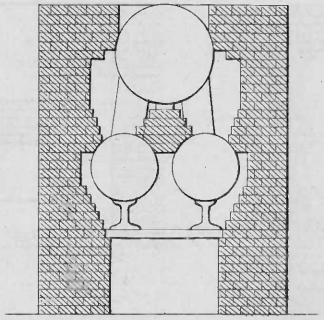


Fig. 7.

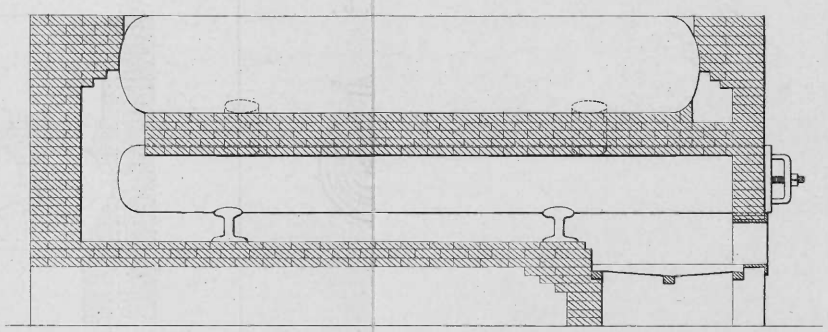


Fig. 8.

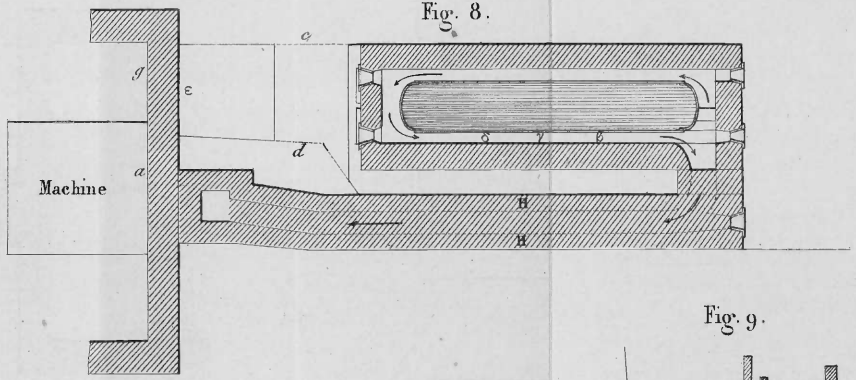
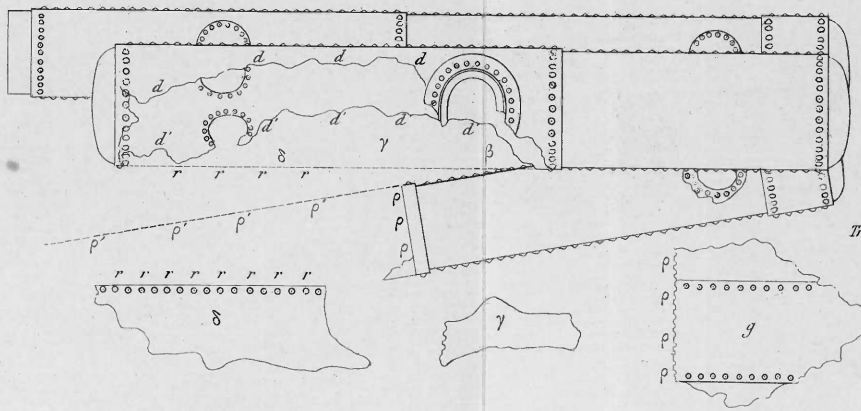
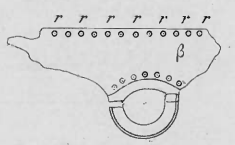
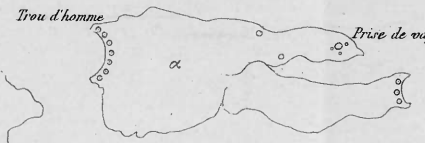


Fig. 10.







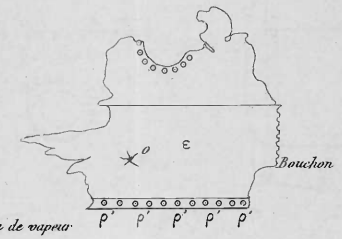
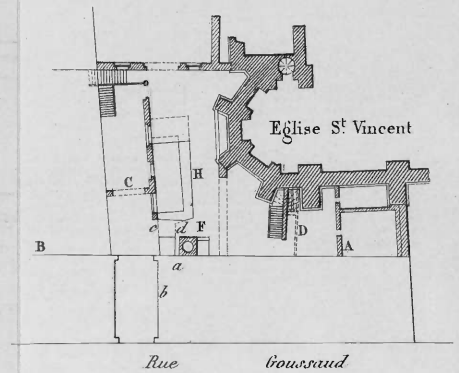
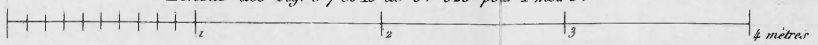


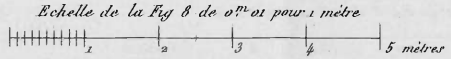
Fig. 9.



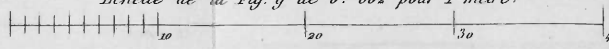
Echelle des Fig. 6 7 et 10 de 0^{m} 025 pour 1 mètre.



Echelle de la Fig 8 de 0^{m} 01 pour 1 mètre



Echelle de la Fig. 9 de 0^{m} 002 pour 1 mètre.



Annales des Mines. 6^{e} Série. Tôme X. pages 407 et 461.

Lemaitre, Graveur de l'Empereur sc.