91 2 433
(14)

ANNALES

DES MINES.

m. 9 n. mod

ÉCOLE NAT^LE DES MINES
N° D'ENTRÉE 6750
Bibliothèque 1 bis
1880

S 108

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission, dont fait partie le directeur des mines, est composée ainsi qu'il suit :

MM.

Du Souich, inspecteur général des mines, *président*.
Daubrée, inspecteur général, directeur de l'École des mines.
Guillebot de Nerville, inspecteur général.
Jacquot, d°
Cacarrié, d°
Meissonnier, d°
Descottes, d°
Dupont, inspecteur général, inspecteur de l'École des mines.
Tournaire, inspecteur général.
Delesse, d°
De Chancourtois, d°
Gentil, d°

MM.

Bayle, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.
Lan, d°
Haton de la Goupillière, d°
Mallard, d°
Lorieux, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général des mines.
Résal, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.
Keller, ingénieur, chargé du service de la statistique de l'industrie minérale à la Direction des mines.
Fuchs, ingénieur, professeur à l'École des mines.
Vicaire, d°
Carnot, d°
Zeiller, ingénieur, *secrétaire de la commission*.

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

Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des Annales des Mines.

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

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

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

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

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

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES
OU
RECUEIL
DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES
ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XVII.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

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

Quai des Augustins, n° 49

1880

ANNALES

DES MINES

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE AUX ARDOISIÈRES D'ANGERS

Par M. BLAVIER, ancien ingénieur des mines,
Administrateur des ardoisières d'Angers.

En 1832, d'après les conseils du regretté M. Lechatelier, alors ingénieur des mines à la résidence d'Angers, la Société des Grands-Carreaux entreprenait la première exploitation souterraine sur le centre des importantes ardoisières de Maine-et-Loire.

L'objectif principal de l'éminent ingénieur, en indiquant ce procédé, était d'éviter aux exploitants les frais énormes occasionnés par les *découvertures*, travail préparatoire qui consiste à enlever les terres et *cosses* recouvrant le schiste fissile jusqu'à une profondeur de plus de vingt mètres en certains points, ce qui représente un déblai de 150 à 200.000 mètres cubes à opérer avant tout travail utile.

Une expérience de près de cinquante années, en sanctionnant le mérite de cette idée, lui a donné une portée beaucoup plus considérable. Grâce à son application, en effet, le champ de dépouillement des veines ardoisières du centre d'Angers, anciennement limité dans les exploitations à ciel ouvert au maximum de 40 à 42 foncées, soit 120 à 125 mètres, est maintenant illimité en profondeur comme pour toutes les autres masses minérales, et aujourd'hui le mode d'exploitation du schiste par galeries souterraines

est presque exclusivement adopté, attendu que les affleurements des veines ardoisières ont été fouillés sur tout leur développement, excepté pour la veine du nord, aux environs de Trélazé, où les Sociétés d'Angers-Fresnais-Trélazé et des Grands-Carreaux-Hermitage, ont encore en activité deux carrières à ciel ouvert seulement.

Ces deux Sociétés et les quatre autres, qui détiennent le terrain ardoisier des environs d'Angers, exploitent au contraire douze chantiers souterrains et en ont neuf autres en préparation.

Tous ces chantiers sont établis d'après les principes indiqués à l'origine par M. Lechatelier, c'est-à-dire en appliquant le mode d'abatage des carrières à ciel ouvert sous une voûte, de façon à produire des chambres souterraines ayant une aire de 2 à 3.000 mètres carrés avec une profondeur variable suivant le nombre des foncées exploitées.

Les conditions de stabilité des roches schisteuses sont, de beaucoup, meilleures dans ces galeries souterraines que dans les fonds à ciel ouvert, et de fait, les éboulements de masses un peu considérables y sont notablement moins fréquents; ce qui s'explique, car les excavations souterraines ne sont jamais exécutées qu'en plein roc, à une grande profondeur au-dessous des affleurements altérés par l'action du temps, et la voûte a pour effet de maintenir efficacement les parois verticales de la chambre. D'autre part, les agents atmosphériques, qui ont une si grande puissance de désagrégation sur les parois des fonds à ciel ouvert, sont sans action dans les fonds souterrains. Enfin, les eaux de surface, ne pénétrant pas dans les masses schisteuses compactes des chantiers profonds, n'y peuvent pas produire les effets de renversement si fréquents dans les parois des carrières à ciel ouvert.

La seule circonstance relativement très désavantageuse

dans les exploitations souterraines est leur obscurité, qui rend le travail de l'ouvrier d'à bas moins avantageux et la surveillance des parois plus difficile.

On a remédié à cet inconvénient, d'une part, en installant des ponts de surveillance qui sillonnent dans tous les sens les voûtes et les parois, et sur lesquels circulent incessamment des ouvriers de confiance ; d'autre part, en substituant aux lampes fumeuses employées à l'origine, comme dans toutes les exploitations minérales, d'abord la lumière du gaz et dans ces derniers temps la lumière électrique, qui paraît résoudre complètement le problème.

Je me propose d'indiquer, dans cette note, l'historique des améliorations successives, introduites dans l'éclairage des ardoisières d'Angers et les importants résultats obtenus par les exploitants.

C'est en 1847, sur la carrière des Fresnais, pour l'éclairage du puisard n° 1, que fut installée la première usine à gaz, se composant d'une seule cornue en fonte et d'un gazomètre. Quand on eut reconnu la possibilité de refouler économiquement le gaz à la profondeur de 200 mètres, et constaté la supériorité de la lumière ainsi produite sur celle des lampes pour éclairer l'ensemble de la chambre souterraine, on refit entièrement l'usine dans le courant de l'année 1855, en l'armant de deux fours à trois cornues chacun avec deux gazomètres et les appareils d'épuration perfectionnés. La dépense de cette nouvelle installation s'est élevée à 30.000 francs environ.

Elle devint le type adopté successivement par les Sociétés des Grands-Carreaux, de la Paperie, de l'Hermitage et des Petits-Carreaux, pour l'éclairage au gaz de leurs chantiers souterrains. La consommation de ces différentes usines s'élève en moyenne à 1.200 tonnes de houille par an, représentant une production de 240.000 mètres cubes de gaz.

Dans ces conditions, le prix de revient de l'éclairage au

gaz d'une chambre, comme le n° 10 de la Société des Fresnais, peut s'établir très approximativement ainsi qu'il suit, par jour de 22 heures, temps normal du travail dans les fonds souterrains :

	fr.
Amortissement du capital engagé (30.000 fr.) pendant trois cents jours de travail, 10 p. 100.	10,00
Charbon distillé, 1.000 kilog.	30.00
Entretien (conduites de gaz, réfection des fours, petit matériel, becs, caoutchouc, matières dépuratives, etc.), au minimum.	5,00
Chauffeurs et surveillants, quatre hommes, à 3 francs. . .	12,00
Coke dépensé pour distiller une tonne de houille, 240 kilog. à 25 francs.	6,00
Total.	63,00

Dont il faut déduire les produits marchands de l'usine :

Coke, 600 kilog. à 25 francs la tonne.	15,00
Goudron, 50 kilog. à 30 francs la tonne.	1,50
Ensemble.	16,50

Ce qui donne, pour la consommation journalière de gaz, une dépense de 46f,50.

Cet éclairage au gaz ne sert que pour l'ensemble de la chambre souterraine et les descenderies, et ne suffit pas pour le travail de l'ouvrier d'à bas, qui doit avoir constamment près de lui sa lampe à main. Aussi la dépense d'huile, pour le chantier souterrain qui nous sert de type, ne peut pas être estimée par double pose, à moins de 8f,50, et par suite, la dépense totale d'éclairage de ce chantier s'élevait à 55 francs pour un personnel de 80 à 90 ouvriers, et une fabrication moyenne de 100 milliers d'ardoises par jour.

Le prix de revient du gaz, dans les usines des ardoisières, se déduit d'ailleurs des éléments qui précèdent. J'admets ce qui a été reconnu sensiblement exact, que la

tonne de houille, distillée en 24 heures, fournit 200 mètres cubes de gaz, dont 75 p. 100 seulement sont utilisés en raison des pertes de la canalisation, et que chaque bec employé, consommant 180 litres par heure, donne une lumière correspondante à celle de 1.60 bec Carcel. Il en résulte que, dans le fond n° 10 des Fresnais, l'éclairage au gaz équivalait à l'emploi de 60 becs Carcel, et que la dépense par bec et par heure était de 0f,0344 ; qu'enfin le mètre cube de gaz utilisé revenait à 0f,303, prix élevé, mais ne dépassant pas cependant le prix de vente réduit, obtenu depuis cette année seulement par la ville d'Angers, pour l'éclairage public et celui des particuliers.

L'amélioration produite par l'emploi du gaz pour l'éclairage des ardoisières souterraines du centre d'Angers fut considérable. La circulation devint facile et moins dangereuse pour les ouvriers, qui ne sont pas comme dans les galeries ou tailles des mines de charbon, constamment occupés au même point. La surveillance du clerc d'à bas fut plus efficace et surtout on obtint ainsi, dans l'ensemble du chantier, une lumière un peu diffuse sans doute, mais suffisante pour permettre d'apercevoir les parois et les voûtes de la chambre et détruire l'appréhension naturelle qu'éprouve l'ouvrier à l'idée d'un danger, dont il ne peut se rendre compte.

Les exploitants, en présence de ces grands avantages obtenus par un meilleur éclairage de leurs chantiers, malgré les sacrifices qu'ils venaient de s'imposer en dépensant plus de 150.000 francs pour la création de cinq usines à gaz, se sont préoccupés de l'application de la lumière électrique dans leurs carrières souterraines, aussitôt qu'elle a paru entrer dans le domaine de la pratique, par l'invention de la machine électro-magnétique de Nollet, exploitée par la compagnie parisienne *l'Alliance*.

En 1861, je fus chargé par la commission des ardoisières d'étudier cette importante question. Des expériences

venaient d'être faites par l'administration des ponts et chaussées et n'avaient pas encore permis d'adopter l'éclairage électrique pour les phares, à cause des intermittences et extinctions de lumière dues à l'imperfection de la lampe alors usitée et à la non homogénéité complète du charbon de cornue à gaz, employée pour la production du foyer lumineux. Telle était la conclusion à laquelle arrivait à cette époque M. Allard, ingénieur en chef du service des phares, qui avait dirigé les expériences, et que j'eus l'honneur de voir.

Ces objections capitales pour les phares, pouvaient avoir une importance moindre, quand il s'agissait de l'éclairage d'un chantier ardoisier, si toutefois les extinctions signalées n'étaient pas trop fréquentes et si le prix de revient était abordable pour l'industrie; c'est ce qu'il importait de vérifier avant de se lancer dans la dépense considérable d'une nouvelle installation d'éclairage.

Le directeur de la compagnie *l'Alliance*, M. Berlioz, ne voulant pas se prêter aux expériences que je lui demandais, dans nos carières, je dus dans la séance de la commission des ardoisières, du 3 mai 1861, déclarer que si l'éclairage électrique paraissait applicable à ses chantiers, je faisais toutes réserves, quant aux prix de revient et aux objections de détail que la pratique seule pouvait révéler; ce qui amena les exploitants à surseoir à l'adoption de ce nouveau procédé d'éclairage jusqu'à ce qu'il fût complètement sorti de la période d'expérimentation.

Deux ans après ces premières études, M. Bazin, que ses relations avec Angers avaient mis sans doute au courant de la situation, traitait avec le directeur de la compagnie *l'Alliance* pour l'exploitation du brevet de la machine électro-magnétique de Nollet, dans le département de Maine-et-Loire, et constituait, à un capital relativement important, une société locale à laquelle il cédait son privilège.

Le premier acte de cette société fut, en avril 1863, de proposer à la commission des ardoisières de se charger à forfait de l'éclairage électrique de ses différentes chambres souterraines; mais avant tout arrangement, la commission revenant au point où elle avait laissé cette question, le 3 mai 1861, décidait dans sa séance du 19 juin 1863, qu'elle ne pouvait passer aucune convention avant d'avoir vu à l'œuvre les machines proposées par M. E. Bazin, et de s'être rendu un compte exact des effets pratiques de toutes sortes que pouvait produire ce nouveau mode d'éclairage. Si, pour faciliter une expérience qui lui paraissait indispensable, sa coopération était utile, elle ne refusait pas de s'entendre à cet égard avec M. Bazin.

L'accord étant intervenu sur la participation aux frais, l'expérience fut faite au puisard n° 1 de la carrière de la Paperie, du 1er au 10 septembre, d'une façon continue, sous la surveillance des agents les plus expérimentés de la compagnie *l'Alliance*, notamment de M. Gramme, et fut suivie par les directeurs des différentes sociétés ardoisières, chargés de faire un rapport à la commission sur les résultats constatés.

L'installation consistait en deux machines électro-magnétiques à six disques, du système Nollet, actionnées par deux petites machines à vapeur de la force de 1 cheval 1/2 environ chacune, transmettant le courant électrique, au moyen de deux conducteurs en fils de cuivre placés dans le puits d'extraction, à deux lampes système Gramme, armées de réflecteurs mobiles et posés à 7 mètres environ au-dessus de la dernière foncée de la carrière souterraine qui présentait une aire de 1.500 mètres carrés sous une hauteur de voûte de 20 mètres seulement.

Il fut constaté par les directeurs que, pendant un éclairage de dix jours et dix nuits consécutifs, la lumière électrique s'était constamment produite avec une intensité suffisante et sensiblement égale, sans scintillement gênant et

sans intermittence appréciable, permettant de surveiller la voûte et le fond plus facilement qu'avec l'éclairage au gaz habituellement employé.

En présence d'un résultat aussi favorable, la commission des ardoisières était disposée à traiter avec la société Bazin, mais elle ne pût s'entendre avec cette société qui voulait toujours fournir elle-même la lumière électrique dans chaque chambre souterraine à un prix déterminé par lampe, prix inacceptable.

La commission, de son côté, offrait 30,000 francs comptant pour le droit d'user des machines de la compagnie *l'Alliance* dans les ardoisières réunies en syndicat et la reprise au prix de vente de six de ces machines dont l'achat ferme avait été la seule condition du privilège concédé par M. Berlioz à M. Bazin dans le département de Maine-et-Loire. Cette offre représentait un déboursé de 107.500 francs :

	fr.
Six machines à six disques, à 12.000 francs l'une.	72.000
Deux machines à vapeur ayant servi aux expériences de la Paperie.	4.000
Quatre lampes Gramme et accessoires divers.	1.500
Indemnité à la société Bazin.	30,000

Il est juste d'ajouter que cette proposition, non acceptée en septembre, fut reprise en décembre suivant par M. Berlioz, qui la trouvait avantageuse pour la compagnie *l'Alliance*. Mais alors la commission des ardoisières avait établi le devis exact des frais d'installation de ce nouveau mode d'éclairage sur ses différents chantiers, et elle recula devant la dépense qui ne se chiffrait pas à moins de 364.000 francs, conformément au détail suivant :

	fr.
Carrière des Fresnais : deux puisards, cinq lampes. . . .	78.000
Carrière de la Paperie : deux puisards, quatre lampes. .	64.000
Carrière de l'Hermitage : un puisard, deux lampes. . . .	32.000
A reporter.	174.000

	fr.
Report	174.000
Carrière des Grands-Carreaux : trois puisards, huit lampes.	128.000
Carrière de Trélazé : un puisard, deux lampes.	32.000
Indemnité à la Société Bazin pour abandon de son privilége.	30.000
Total de la dépense.	364.000

Cette décision définitive de la Commission mit un terme aux pouparlers avec la Société Bazin et ajourna tout essai d'éclairage électrique aux ardoisières d'Angers, pour une longue période de temps.

C'est, en effet, quinze ans plus tard seulement, à la suite des résultats économiques constatés à l'Exposition universelle de 1878, et en présence des perfectionnements introduits dans la production de la lumière électrique par la machine électro-magnétique à courants continus de Gramme, que la Commission des ardoisières, saisie à nouveau de la question, décida le 30 août 1878 qu'une installation complète serait faite de ces machines construites par MM. Lemonnier, Sautter et Cie, de Paris, sur la carrière des Fresnais, et que je dirigerais l'expérimentation définitive de ce nouveau mode d'éclairage, avec l'aide de M. G. Larivière, l'un de ses agents.

Après plusieurs mois de tâtonnements pour arriver à déterminer les meilleures dispositions pratiques à adopter pour le moteur mécanique, les lampes et le conducteur électrique, le problème a été résolu dans des conditions qui me paraissent laisser peu de chose à désirer.

Les premiers essais furent entrepris avec une machine verticale d'Hermann-Lachapelle, de quatre chevaux, actionnant deux machines électro-magnétiques de Gramme, qui marchaient à la vitesse de 1.350 révolutions par minute. On se servait de deux lampes système Serrin et d'un conducteur en cuivre de 350 mètres de longueur et seulement

7 millimètres carrés de section. Ces essais démontrèrent que le moteur était insuffisant pour obtenir une vitesse régulière, absolument indispensable au bon fonctionnement des lampes, et que la trop faible section du conducteur occasionnait une résistance sérieuse au passage du courant électrique, d'où résultait une forte consommation de charbon s'élevant à environ 12 hectolitres par 22 heures de travail. On fut alors amené à modifier ces conditions défectueuses et à adopter définitivement la combinaison suivante.

Une machine, à vapeur à détente et puissant régulateur d'une force nominale de 16 chevaux, fut installée, avec deux générateurs, pour commander les 6 machines électromagnétiques qui seront nécessaires à l'éclairage des trois chambres souterraines de la carrière des Fresnais. De nouveaux câbles conducteurs furent faits, partie en 7 fils cuivre n° 18 pesant 570 grammes au mètre et donnant une section de 63 millimètres carrés, partie en 19 fils n° 13, poids 500 grammes au mètre, section 59 millimètres carrés. Ces câbles, d'une longueur de 350 mètres, fabriqués par l'atelier spécial de la Commission des ardoisières ne furent pas enveloppés extérieurement, l'expérience ayant démontré pour les premiers conducteurs essayés que l'enveloppe en chanvre goudronné se détériorait rapidement et était par suite plus nuisible qu'utile. On substitua aussi dans les lampes, aux charbons de cornue à gaz, des charbons artificiels plus homogènes, n'éclatant jamais, et fournissant une lumière plus régulière et plus belle. Enfin les charbons d'un diamètre de 13 millimètres livrés à la longueur de $0^m,22$ seulement, par suite des dispositions de la lampe, ayant l'inconvénient de ne durer que quatre heures, et d'occasionner une perte sensible par la multiplicité des bouts inutiles, on obtint du constructeur une modification du mécanisme de cette lampe qui permit de les remplacer par des charbons de $0^m,50$ durant près de 10 heures.

Avec ces améliorations introduites successivement grâce au concours de MM. G. Larivière et Sautter, depuis plusieurs mois déjà la chambre souterraine n° 10 de la carrière des Fresnais est éclairée sans autre interruption que deux heures d'arrêt sur vingt-quatre, pour donner au moteur ainsi qu'aux autres appareils les soins d'entretien indispensables, et la consommation journalière de houille a été réduite de 12 à 6 hectolitres.

La lumière fournie par deux lampes sans réflecteur, placées de chaque côté de la galerie, à 10 mètres environ de la dernière foncée, est assez éclatante pour rendre tout travail possible dans ce chantier d'une surface de plus de 2.000 mètres carrés, sans le secours des lampes qui ne servent plus aux ouvriers que dans les descenderies, et pour assurer la complète surveillance des parois et de la voûte. Elle présente plus de fixité que le gaz qui, presque toujours s'éteignait au moment de l'explosion de plusieurs mines, enfin elle ne produit aucune fumée ni gaz délétère, ce qui rend l'atmosphère de la chambre plus pure et plus transparente.

Le résultat acquis est donc important au point de vue de l'exploitation ; il n'est pas moins sérieux au point de vue économique.

J'ai indiqué précédemment que la machine de Nollet à 6 disques, reconnue nécessaire dans les expériences de la Paperie en 1863, pour la production d'un courant électrique correspondant à l'éclairage de 200 becs Carcel, était vendue par la compagnie *l'Alliance*, 12.000 francs ; les machines de Gramme à courants continus avec leur interrupteur et plaque de fondation, fournissant un éclairage de 300 becs Carcel, sont livrées par MM. Lemonnier, Sautter et Cie, au prix de 1.615 francs, prix qui pourra encore être réduit.

L'éclairage d'une chambre souterraine de 2.000 mètres de surface comme le n° 10 de la carrière des Fresnais,

nécessite l'emploi des appareils électriques suivants :

	fr.
Deux machines Gramme.	3.230
Trois lampes Serrin dont une de rechange à 400 francs. .	1.200
(L'expérience a démontré que ces lampes pouvaient être remplacés sans inconvénient par celles de Chertemps qui ne coûtent que 200 francs.)	
Une boîte d'accessoires.	75

La dépense de ce chef est donc de 4.000 à 4.500 francs, à laquelle il faut ajouter la valeur du conducteur électrique, variable suivant la longueur et la section, et la valeur du moteur employé non moins variable suivant le type adopté.

J'insiste sur la nécessité au point de vue économique, de ne rien épargner quant à la perfection de la machine à employer et quant à la section des conducteurs.

En effet l'éclairage électrique, obtenu avec la machine électro-magnétique, fournit une des manifestations les plus complètes de la loi de transformation des forces physiques considérées comme les modes différents d'une seule et même cause.

Le combustible minéral, produit par l'action solaire dans la période géologique carbonifère, et qu'on a pu appeler pour cette raison du soleil emmagasiné, devient, par la combustion sous la chaudière, la source de chaleur que la machine à vapeur transforme en force, développée sur l'axe de rotation de la machine de Gramme. Cette force se transforme en courant électrique par l'effet des électro-aimants ; et le courant lui-même au passage entre les pointes de charbon de la lampe, redevient lumière, comparable par son éclat à celle du soleil.

Il est évident que, dans ce cycle de transformations successives, une loi mathématique d'équivalence doit relier entre eux les différents termes et par suite les termes extrêmes, chaleur et lumière, comme déjà la chaleur et la force ont été reliées par la science.

Le but économique à poursuivre, dans cette mutation du combustible en lumière, par un autre procédé que la distillation et la production du gaz d'éclairage, est donc de supprimer autant que possible les pertes causées par les transformations intermédiaires. Or la transformation intermédiaire la plus imparfaite est manifestement celle qui s'opère par la machine à vapeur, qui a pour effet de changer l'unité calorifique, produite dans la combustion de la houille, en une certaine quantité de force développée sur l'axe de rotation de la machine électro-magnétique. Le conducteur métallique et les deux pôles de charbon qui constituent l'appareil de transformation de l'électricité en lumière, est un appareil beaucoup plus simple, qui doit donner lieu à une moindre perte d'effet utile, pourvu qu'on adopte une section suffisante pour le libre écoulement du fluide électrique ; mais cette condition est indispensable, car dans les expériences suivies avec beaucoup de soin par M. G. Larivière, sur la carrière des Fresnais, il a constaté qu'avec le même moteur, les mêmes machines Gramme, et les mêmes lampes, mais avec des conducteurs ayant une section neuf fois moindre que celle des conducteurs définitivement adoptés, on consommait le double de combustible, en marchant à 1.350 révolutions à la minute au lieu de 750 révolutions, marche normale actuelle.

En supposant l'emploi des machines à vapeur les plus économiques qu'on peut estimer au maximum à 2.000 francs le cheval-vapeur, y compris le générateur, pour la marche de deux lampes, la dépense du moteur s'élèvera à 10.000 francs. Les quatre câbles conducteurs en cuivre de 350 mètres de longueur chacun, du poids de 700 kilog. environ, représentent une dépense de 2.000 à 2.500 francs.

Ainsi les frais de l'installation la plus perfectionnée doit être estimée, pour le service de deux lampes, ne pas dépasser 16 à 17.000 francs, c'est-à-dire à peine la moitié de ce qu'aurait coûté, en 1863, l'installation de deux ma-

chines Nollet à six disques ne fournissant qu'une lumière correspondant à 400 becs Carcel, au lieu des 600 que donnent les deux machines Gramme employées aux Fresnais.

Bien que l'installation mécanique de la carrière des Fresnais soit loin de ce type et laisse encore beaucoup à désirer, puisqu'elle repose sur l'emploi d'une machine à vapeur de 16 chevaux, à détente mais sans condensation, qui ne fait actuellement qu'un travail effectif de 4 à 5 chevaux au maximum, puisqu'une seule chambre est éclairée, les résultats économiques obtenus sont cependant déjà fort satisfaisants.

Voici en effet comment s'établit la dépense journalière de cette usine pour un travail régulier de 22 heures par jour :

	fr.
Charbon consommé, 560 kilog. à 30 francs la tonne.	16,80
Crayons de carbone artificiel (0,22 pour le pôle positif et 0,125 seulement pour le pôle négatif) 11 paires par 22 heures, soit $3^{m},75$ à $2^{f},25$ le mètre.	8,40
Entretien, graissage, au maximum.	5,00
Chauffeurs, surveillants, 4 hommes.	12,00
Ensemble.	42,20
Si l'on y ajoute l'amortissement à 10 p. 100 d'une usine de 20.000 francs (machines, bâtiments et transmissions). .	6,60
Et enfin la consommation d'huile pour la descente des ouvriers, environ.	1,20

on trouve que la dépense de l'éclairage électrique pour cette chambre souterraine ne dépasse pas 50 francs par jour, alors qu'avec le gaz nous avons vu l'éclairage du même chantier coûter 54 francs.

En admettant que la lumière produite par chacune des lampes électriques corresponde à celle de 300 becs Carcel, on établit la dépense d'éclairage par bec et par heure à $0^{f},0037$, elle s'élevait, pour le gaz, à $0^{f},034$.

L'avantage économique est donc considérable, mais à la

condition expresse qu'on ait besoin, comme dans les grandes chambres souterraines des ardoisières d'Angers, d'une pareille quantité de lumière; car, pour des chantiers de moindres dimensions, une dépense journalière d'éclairage de 50 francs serait inadmissible.

Pour compléter cette note, j'ajouterai que sur la demande des exploitants, M. Sautter recherche en ce moment le moyen pratique de diviser les courants de la machine électro-magnétique de Gramme, de façon à produire des foyers lumineux correspondant à 100 ou 150 becs Carcel, afin de permettre l'application de ce puissant éclairage aux chantiers nouveaux, ayant encore une grande surface, mais peu de hauteur, qu'on obtient dans l'exploitation du schiste ardoisier par gradins renversés. Ce nouveau mode d'abatage, que j'indiquais en 1863 dans l'*Essai sur l'Industrie ardoisière d'Angers*, est expérimenté par la Société des Grands-Carreaux-Hermitage et pourra, dans la suite, prendre un sérieux développement.

Enfin, je ferai remarquer que l'installation des machines Gramme, sur les carrières d'Angers, présentera un avantage de premier ordre dès qu'elles pourront être employées indifféremment comme sources de lumière et agents de transmission de force motrice à de grandes distances pour l'actionnement de l'outillage mécanique, fonceurs ou perforateurs, dans les chantiers souterrains. Les essais de labourage à l'électricité, exécutés à la sucrerie de Sermaise en juin 1875, et à Noisiel en octobre 1878, ont démontré, qu'avec ce mode de transmission, on retrouvait à 600 mètres de distance sur l'arbre de la machine Gramme, servant de moteur, entre 40 et 50 p. 100 du travail produit par la machine à vapeur, alors que l'emploi de l'air comprimé ne fournit qu'un rendement d'environ 20 p. 100.

Il n'est donc pas téméraire d'espérer que dans un avenir plus ou moins éloigné, on pourra avantageusement remplacer la locomobile qui, actuellement sur la carrière à

ciel ouvert des Grands-Carreaux, actionne une machine à foncer en expérimentation, système Bitouzé, par un moteur électrique d'une installation plus simple et d'une manœuvre beaucoup moins compliquée. Cette innovation est nécessaire pour permettre l'emploi de l'outillage mécanique dans les fonds souterrains où la force ne peut évidemment être fournie par une locomobile, et devient d'un prix inabordable, si on veut faire usage de l'air comprimé, ainsi qu'il résulte des données recueillies à ce sujet par ordre de la commission des ardoisières, toujours à la recherche des perfectionnements à introduire dans ses exploitations.

Je joins à cette note les dessins, faits sur ma demande, par M. G. Larivière, pour représenter l'installation de l'éclairage électrique à la carrière des Fresnais, dessins dont les légendes suivent.

LÉGENDE EXPLICATIVE DE LA PLANCHE I.

Fig. 1. — 1er type de conducteur (grandeur naturelle) : longueur 630 mètres ; section utile en cuivre, $7^{mm^2},77$.

Fig. 2. — 2e type de conducteur : longueur 630 mètres ; section utile $59^{mm^2},69$.

Fig. 3. — Type définitif adopté : longueur 680 mètres ; section $63^{mm^2},55$.

Fig. 4. — Installation des machines électriques.

V. Volant de la machine motrice, faisant 30 tours à la minute.

T. Transmissions.

R. Tendeur.

G. Machines électro-magnétiques de Gramme, faisant 750 révolutions à la minute.

Fig. 5. — Disposition d'ensemble de l'éclairage électrique au puisard n° 10 de l'ardoisière des Fresnais. Échelle de $0^m,0005$ par mètre.

F. Puisard n° 10.

P. Puits d'extraction.

M. Machine d'extraction.

C. Chaufferies.

D. Descenderie et pompe d'épuisement.

U. Usine à gaz.

E. Usine électrique.

B. Conducteurs électriques.

LL. Lampes électriques.

R. Remblais (ancienne exploitation).

BULLETIN

DES ACCIDENTS ARRIVÉS DANS L'EMPLOI DES APPAREILS A VAPEUR

PENDANT L'ANNÉE 1878.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
3 janvier ..	Papeterie à Pont-Évêque (Isère).	Récipient cylindrique timbré à 5 k. avec soupapes chargées à 4 k. Il est muni d'une ouverture rectangulaire de 0m,70 sur 0m,50, fermée par une plaque de 0m,012, retenue par 18 boulons à charnière.	Les boulons étant mal serrés, la plaque, en se cintrant légèrement sous la pression, a pu s'échapper.	Trois ouvriers morts de leurs blessures; une femme légèrement brûlée.	Construction défectueuse de la fermeture de l'appareil; un tampon de 12mm d'épaisseur était maintenu par des boulons à charnière, mais les encoches trop grandes permettaient à la plaque un certain jeu, et si les écrous n'étaient pas exactement serrés, si de plus quelques-uns manquaient, la plaque, en se cintrant légèrement, pouvait s'échapper, ce qui est arrivé.
10 janvier..	Fabrique de cadres, rue Notre-Dame-des-Champs, à Paris.	Chaudière horizontale à bouilleurs, achetée d'occasion et éprouvée pour le timbre de 4 k., avec une pièce en cuivre au bouilleur de droite. Diamètre du bouilleur, 0m,35. Epaisseur de la tôle, 0m,005 à 0m,0055.	Le bouilleur s'est ouvert le long d'une des lignes de rivure de la pièce de cuivre sur 0m,50 de longueur et 0m,04 de largeur maxima. Cassure à couleur presque noire et aspect feuilleté. Le bord de la tôle en saillie sur le cuivre au-dessus du foyer a été surchauffé. Soupapes surchargées pour ne lever qu'à 8 atmosphères. Manomètre en partie obstrué, etc. Contenance d'eau normale au moment de l'accident.	Le tuyau de cheminée en tôle a été fendu.	Une partie usée au coup de feu avait été remplacée par une pièce de cuivre; les bords de la tôle de fer recouvrant le cuivre ont été échauffés outre mesure et se sont déchirés. Un joint dans cette partie est dangereux; on aurait dû remplacer la virole entière. Le mauvais état des appareils de sûreté a sans doute contribué à l'accident.
21 janvier..	Scierie à Charmes (Vosges)	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs. Diamètre du corps, 0m,60; diamètre des bouilleurs, 0m,35; longueur, 2m. La chaudière paraît fort ancienne. Elle a été achetée d'occasion au commencement de 1877; avant la livraison, un des bouilleurs a été réparé au moyen d'une pièce de 0m,95 de longueur et 0m,30 de largeur, présentant une de ses lignes de rivure le long de la génératrice inférieure. En mars 1877, la chaudière réparée a été éprouvée et timbrée à 6 k.	La vieille tôle s'est déchirée le long de la ligne de rivure inférieure, et la chaudière s'est renversée sur le côté droit. La tôle avait, à l'endroit des déchirures, une épaisseur de 0m,005. Tôle noircie à l'intérieur par des surchauffages. Trois mois avant l'accident, fuite et remplacement de cinq rivets à l'endroit où il s'est produit. Soupapes surchargées. Pompe alimentaire trop faible.	Chauffeur légèrement blessé. Massif du fourneau démoli en partie.	Insuffisance de l'alimentation. La chaudière a manqué d'eau à plusieurs reprises et notamment au moment de l'accident; la tôle surchauffée n'a pu résister à la pression qui dépassait aussi le taux normal, par suite de la surcharge des soupapes.
29 janvier..	Filature à Rouen.....	Cylindre faisant partie d'une encolleuse, éprouvé et timbré en 1876 à 2 k. Diamètre, 2m,20; longueur, 1m,42. Surface cylindrique en tôle de cuivre rivée aux fonds plats et soudée à elle-même le long d'une génératrice par une brasure à l'étain. L'épaisseur, de 0m,0035 en général, n'était, le long de la soudure, que de 0m,003 à 0m,0025. Ces épaisseurs correspondent, pour la pression de 2 k., à un travail de 6 k. 27, 7 k. 32, 8 k. 79 par millimètre carré. A l'épreuve, ces tensions ont dépassé la limite d'élasticité. La vapeur arrive par un réservoir de détente muni d'une soupape commençant à perdre à 1 k. 3/4 et perdant notablement à 2 k.	Mis en service en mars 1876. En août 1877, de petites fuites dans la tôle près de la soudure ont été réparées par quelques petits goujons noyés. Les fuites continuant, on posa en décembre quelques goujons et on doubla le métal d'une pièce de 0m,40 de longueur, soudée à la tôle du cylindre et embrassant toute l'étendue des fuites. Marche habituelle à 1 k. 3/4; pour peu que l'arrivée de la vapeur fût plus abondante, la pression de 2 k. était au moins atteinte. Le cylindre s'est déchiré à une génératrice, près de la soudure et non à la soudure même. D'autres déchirures, perpendiculaires à celles-ci, se sont produites de part et d'autre le long des fonds, et les deux parties de la surface du cylindre devenues libres se sont repliées en dehors, en fracturant diverses parties de l'appareil encolleur.	Trois hommes légèrement blessés. Toiture en verre brisée.	Défaut d'épaisseur du métal. La surface cylindrique en cuivre, de 2m,20 de diamètre, avait en général une épaisseur de 0m,0035, mais près de la soudure cette épaisseur, réduite à 0m,0025, était insuffisante pour résister à une pression de vapeur effective de 2 k. par centimètre carré. Le métal subissait alors un effort de traction de 8 k,8 par millimètre carré; des fissures et des fuites s'étaient manifestées, on avait cherché à les boucher sans consolider la paroi. Il était imprudent de maintenir l'appareil sous cette pression.
21 février..	Filature à Gueures (Seine-Inférieure).	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs, de 0m,40 de diamètre et de 4m,42 de longueur. La tôle du bouilleur avait en général 0m,006 d'épaisseur et 0m,0055 seulement à la déchirure.	Le bouilleur de droite s'est ouvert sur 0m,70 de longueur et sur 0m,10 de largeur à la tôle du coup de feu. La pression était la pression ordinaire de marche, 5 ou 5 1/2 atmosphères. La cassure de la tôle indiquait un métal d'assez mauvaise qualité.	Mur du fourneau lézardé.	Chaudière presque complètement dépourvue d'eau; la tôle de l'un des bouilleurs a été portée à une température excessive et a cédé sous la pression ordinaire. La pompe alimentaire était insuffisante, l'expérience l'avait montré maintes fois; le flotteur était hors de service

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
					et ne fonctionnait plus; le tube en verre était monté de manière à donner des indications fausses; pendant que la chaudière se vidait entièrement, il restait dans le tube une petite quantité d'eau faisant croire à un niveau seulement un peu inférieur au niveau normal.
27 février..	Usine d'essais chimiques à Paris.	Récipient en tôle doublé de plomb, cylindrique, vertical; diamètre, $1^m,50$; hauteur, $0^m,70$. Un haut-fond légèrement bombé est réuni, au moyen de 48 boulons, à la cornière qui termine la partie cylindrique. Par suite d'une erreur de perçage, les boulons, qui devaient avoir 18^{mm} de diamètre, n'en avaient que 16. Générateur alimentant timbré à 4 k.	A la première opération exécutée avec l'appareil et pendant l'introduction de la vapeur, 44 boulons se sont rompus et le couvercle a tourné autour des 4 autres. On s'est rappelé que l'un des boulons avait été serré beaucoup plus fortement que les autres.	Aucune conséquence.	Construction vicieuse de l'appareil; les boulons qui maintenaient le couvercle n'étaient pas assez forts; ils se sont rompus sous la pression de la vapeur provenant du générateur voisin.
22 mars ...	Batteuse à Genlis (Côte-d'Or.	Chaudière cylindrique à foyer intérieur et dôme; longueur, $3^m,05$; diamètre du corps, $1^m,20$; diamètre du foyer, $0^m,70$. Construite en 1862. Foyer réparé en 1874, éprouvé et timbré à 5 k,5.	Explosion formidable, chaudière lancée à 20 mètres en avant; foyer déformé à partir du coup de feu jusqu'à l'extrémité postérieure; tôle du foyer arrachée suivant la moitié supérieure de la ceinture de rivets qui la reliait à la face postérieure; toute cette partie du foyer écrasée et déchirée en cinq bandes longitudinales. Fissure probablement antérieure à l'épreuve de 1874.	Hangar démoli.	Fissure ancienne qui s'est ouverte et a permis à la chaudière de se vider en partie. Le foyer a été surchauffé et s'est écrasé sous la pression ordinaire de la vapeur.
6 avril.....	Teinturerie à Suresnes (Seine).	Cylindre d'apprêt chauffé intérieurement au moyen de la vapeur qui arrive par un des tourillons; diamètre, $0^m,44$;	Rupture suivant un des côtés de la pièce sur $0^m,55$ de longueur, puis développement aux extrémités et ouverture	Deux ouvriers brûlés par la vapeur.	Mauvaise construction de l'appareil et obstacle mis à l'échappement de la vapeur. Le robinet de décharge ayant

		longueur, $1^m,20$. Le cylindre est formé d'une feuille de cuivre rouge brasée sur une ligne dentelée suivant à peu près une génératrice; la brasure est renforcée par une couche de soudure d'étain de $0^m,001$ d'épaisseur. Le long de la soudure, on voit une pièce de cuivre de $0^m,14$ sur $0^m,80$, brasée et soudée à l'étain comme la jonction primitive. Un robinet d'admission et un robinet de décharge.	comme une double porte. Les parties brasées se sont détachées sans arrachement; il restait tout au plus une épaisseur de métal de $0^m,001$ pour assurer la résistance du cylindre. La feuille de cuivre primitive était très-saine, sauf aux bords qui présentaient des fissures, probablement le prolongement de celles qui avaient motivé la pose de la pièce.		été fermé, l'appareil n'a pu résister à la pression des générateurs.
8 juin	Remorqueur *le Clair de Lune*. Canal de l'Ourcq, à Paris.	Chaudière verticale à foyer intérieur avec 49 tubes verticaux en laiton de $0^m,84$ de longueur, $0^m,053$ de diamètre et $0^m,0015$ d'épaisseur. Timbre 5 k.	Ecrasement d'un tube déchiré à sa partie supérieure. Un autre tube aplati sans déchirure.	Mécanicien mort à la suite de ses brûlures.	Abaissement de l'eau au-dessous du niveau normal.
14 juin	Bateau *l'Alsace*. Port de Rône.	Chaudière horizontale à foyer intérieur avec tube de retour. L'enveloppe est formée de deux parties demi-cylindriques raccordées par des faces planes verticales; elle a $2^m,30$ de longueur, $2^m,64$ de hauteur et $1^m,28$ de largeur. Elle est entretoisée. Epreuve en mai 1878 pour le timbre de 3 k.	Une fuite s'est déclarée, dix minutes avant l'accident, à l'une des portes autoclaves sur la face d'avant. L'enveloppe s'est déchirée horizontalement sur les deux flancs; les ruptures principales sont le long de la dernière ligne d'entretoise, à la hauteur où la face plane se raccorde vers le bas avec le demi-cylindre; les débris ont été lancés au loin, divisés en plusieurs fragments. L'intérieur de la chaudière est resté presque intact.	Trois hommes tués. Tout le pont du navire balayé par l'explosion. Plusieurs hommes renversés ou jetés à la mer.	Conditions incomplètement connues, à cause de la mort des agents. On peut croire que la cause immédiate est l'absence de l'une des deux soupapes de sûreté et le mauvais état de la soupape unique, qui a permis à la pression de s'élever outre mesure.
14 juin	Scierie mécanique à Auray (Morbihan).	Chaudière cylindrique, horizontale, avec un bouilleur. Longueur du corps, $4^m,50$. Diamètre du corps, $0^m,90$. Longueur du bouilleur, $6^m,20$. Diamètre du bouilleur, $0^m,74$. Deux basses communications. Corps cylindrique remplacé en 1856; depuis cette époque, le bouilleur a été réparé sans que l'épreuve fût renouvelée.	L'extrémité antérieure du bouilleur a été lancée à 35^m de distance en passant pardessus la chaudière. La feuille de tôle constituant la partie centrale du bouilleur a été retrouvée développée sous les décombres.	Chauffeur grièvement brûlé. Bâtiment détruit.	Corrosion de la tôle qui, après plus de trente ans de service, avait été réduite à une épaisseur de 1^{mm}. Elle s'est rompue sous la pression ordinaire de marche.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement l'appareil mis en place.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
10 juillet..	Pilerie de cuivre à Levallois-Perret (Seine).	Corps cylindrique de 0m,55 de diamètre et 3m de longueur, avec un bouilleur-réchauffeur de 0m,38 de diamètre latéral. Un tuyau de 16mm de diamètre part de la partie supérieure du réchauffeur, s'élève au-dessus du fourneau et redescend jusqu'au fond du corps cylindrique.	Le corps cylindrique s'est ouvert au-dessus de la grille sur 0m,50 de longueur; la tôle s'étant rabattue d'un côté, il en résulta une ouverture de 0m,32 de largeur par où la vapeur s'échappa.	Fourneau disloqué.	Chauffage du corps cylindrique ne contenant plus d'eau; la tôle, portée à une haute température, a cédé sous la pression ordinaire de la vapeur. Communications insuffisantes entre la chaudière et le bouilleur. Appareils de niveau hors de service.
12 juillet...	Papeterie à Brignoud (Isère)	Récipient monte-jus cylindrique vertical. Diamètre, 1m60. Hauteur, 2m,60. Le fond supérieur, formé de deux demi-cercles légèrement bombés (flèche de 0m,08), est relié au cylindre au moyen de deux cornières et porte environ 100 rivets de 0m,012 de diamètre. Epaisseur des tôles, 0m,006. Sur le fond est un trou d'homme de 0m,38 sur 0m,28 et des orifices pour le tuyau de vapeur et la conduite d'ascension pour le liquide (mélange de paille hachée et de dissolution de soude caustique). Cette conduite d'ascension a un trajet plus ou moins infléchi et une hauteur verticale de 14m,55.	L'appareil avait été essayé à l'eau pure à la fin de juin. Le 12 juillet, on le fit fonctionner avec 4 ou 5 mètres cubes de lessive à 50 ou 60°. La conduite générale de vapeur était à 3 k.,500. La lessive monta d'abord par saccades, puis le jet se régularisa. Le fond se rompit alors suivant le grand axe du trou d'homme; le segment le plus grand s'arracha sur son pourtour, tantôt en se déchirant le long des rivets, tantôt en rompant les rivets eux-mêmes.	Un ouvrier tué. (Son cadavre retrouvé dans le récipient).	L'appareil, qui avait dû être construit pour fonctionner à une pression de 2 k., n'était pas d'une solidité suffisante. Il n'a pas été éprouvé. On l'installa en communication avec une source de vapeur à une tension de 3 k.,5 au moins, et on ne le munit d'aucune soupape empêchant la pression de s'élever au-dessus de 2 k; la pression n'était modérée que par l'ouverture plus ou moins grande d'un robinet.
28 juillet...	Battage de grains à Aussevieille (Basses-Pyrén.)	Locomobile. Chaudière composée d'un corps cylindrique vertical contenant le foyer, et d'un corps cylindrique horizontal avec 16 tubes. Eprouvée en 1878 et timbrée à 6 k.	Pendant une période de repos, le souffleur était resté en activité, l'eau s'est abaissée, la tension a augmenté, et après une légère alimentation, une explosion formidable s'est produite. La chaudière a été divisée en plus de 25 fragments dispersés de tous côtés. L'aspect de quelques fragments indique que le ciel du foyer a été, à certains moments, porté au rouge en même temps que d'autres parties de la chaudière, placées dans son voisinage immédiat.	Le mécanicien lancé à 15m de distance et broyé contre un mur. Trois autres blessés.	Mauvaise conduite de la machine; on a laissé le niveau s'abaisser de manière à faire rougir le ciel du foyer et les parties avoisinantes; on surchargeait les soupapes, et le manomètre était faussé.
4 août.....	Epuisements. — Ecluse de Maizey (canal de l'Est) (Meuse).	Locomobile tubulaire horizontale. Foyer et boîtes à feu elliptiques. La tôle avait 8mm,6 et l'ovale n'était consolidé par aucune armature. Tubes en fer. Capacité, 770 litres. Timbre, 6 atmosphères. Soupapes chargées l'une pour 6 k. 48, l'autre pour 5 k. 73. Tube indicateur brisé.	La machine a été arrêtée à 6 h. A cette heure, on chargea deux pelletées de briquettes; à 6 h. 1/2, il se produisit un violent échappement par les soupapes et l'explosion eut lieu La chaudière a été rompue en vingt pièces environ et la machine en trente. La boîte à feu s'est déchirée suivant les deux lignes de rivets qui la réunissent aux faces planes ainsi que suivant ses génératrices. Corps cylindrique rompu. La face d'avant, le foyer et les deux plaques tubulaires sont restés intacts. 16 tubes sur 17 sont restés droits.	Deux personnes légèrement brûlées.	Manque d'eau et par suite poussée des tubes sur les plaques. Surcharge des soupapes. La forme elliptique de la boîte à feu et la mauvaise qualité de la tôle de l'enveloppe ont aggravé l'accident.
6 août.....	Fabrique d'engrais à Ivry (Seine).	Récipient pour le chauffage des déchets de corne. Cylindrique, horizontal. Diamètre 1m,65; longueur, 6m,30; épaisseur des tôles, 13mm. Un des fonds est rivé. L'autre fond porte une bride à encoches et le couvercle porte des entailles semblables. Le couvercle est relié à la bride par des boulons passant par les encoches et les entailles, et pivotant autour d'un point fixe.	La pression étant de 2 k.,5, le couvercle a été projeté à 9m de distance.	Deux hommes tués.	Mauvais moyen de fermeture du fond mobile. Les boulons ne passant pas par des trous, mais reposant seulement dans des encoches d'où ils peuvent sortir en glissant latéralement, se sont dégagés en partie et ont laissé le fond s'échapper.
14 août....	Battage de blé à Cesson (Côtes-du-Nord).	Locomobile. Chaudière cylindrique à foyer intérieur avec 21 tubes. Epreuve en 1862. Timbre, 6 atmosphères.	La machine étant arrêtée, la chaudière a fait explosion; le foyer a été retrouvé à 4 mètres, la chaudière à 25 mètres, une autre partie de la chaudière à 45 mètres, etc. La chaudière s'était ouverte à la partie inférieure suivant une fente en forme d'Y. La tôle était de qualité	Six personnes tuées ou mortes des suites de leurs blessures.	Emploi d'une chaudière usée par un long service; la partie inférieure du corps cylindrique était corrodée surtout par les chômages pendant lesquels l'air, aidé d'une petite quantité d'eau, produit de dangereuses oxydations. Aucune visite sérieuse ni aucune épreuve depuis 16 ans.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
			ordinaire et même pailleuse; en quelques points son épaisseur était réduite à 0m,004. Une cale en tôle galvanisée a été trouvée dans la fourchette du levier de l'une des soupapes.		Soupapes calées.
20 août....	Atelier de ferronnerie Nouzon (Ardennes).	Chaudière horizontale à bouilleurs, de 50 mètres carrés de surface de chauffe. Chaudière : diamètre, 1m,00; longueur, 8m,00. Bouilleurs : diamètre, 0m,70; longueur, 8m,60. Timbre, 6 k. La tôle du coup de feu est cintrée perpendiculairement au sens du laminage; elle paraît présenter des criques suivant des portions de génératrices; on en aperçoit une de 0m,50 environ à l'autre bouilleur; l'une de ces fentes pénétrait à moitié de l'épaisseur de la tôle. Des essais de traction ont donné : Sens de la longueur, rupture..... 28 k.,5 Sens de la largeur, rupture..... 24 k.,0 Sens de la longueur, allongement..... 2 % Sens de la largeur, allongement..... 1 %	Le bouilleur de gauche s'est ouvert suivant la génératrice de gauche sur une longueur de 1m,50.	Une femme blessée (des charbons projetés ont mis le feu à ses vêtements).	Mauvais emploi d'une tôle aigre, cintrée transversalement au sens du laminage, et peut-être aussi manque d'eau dans le bouilleur qui s'est fendu.
22 août....	Retorderie de fil à Comines (Nord).	Chaudière horizontale, cylindrique, à bouilleurs. Corps cylindrique: Diamètre, 1m,20; longueur 20m,00. Bouilleurs : Diamètre, 0m,70; longueur, 10m,40. Timbre 5 k. Epreuve en 1866.	Un bruit anormal, semblable à un coup de fusil, s'est produit et a été bientôt suivi d'une explosion sourde. La tôle du coup de feu de l'un des bouilleurs s'est déchirée. Les bords de la déchirure [illegible]	Deux hommes tués. Dégâts matériels peu importants.	Négligence des chauffeurs, qui ont laissé une des chaudières se vider presque entièrement et l'ont chauffée, sachant que le niveau de l'eau était au-dessous de toute indication; les tôles des bouilleurs [illegible]

			cissement. Le bouilleur qui n'a pas fait explosion a été trouvé presque vide.		pression ordinaire intérieure.
24 août....	Lavoir, rue de Lourmine, à Paris.	Générateur cylindrique, à fonds légèrement bombés, avec dôme. Longueur, 5m,00; diamètre, 0m,75; timbre, 5 atmosphères. Les poids chargeant les soupapes correspondaient à 1/2 ou 3/4 d'atmosphère de surcharge.	La virole antérieure s'est fendue suivant la rivure de droite et s'est développée presque au point de former un plan vertical. Le fond antérieur s'est coupé suivant le cercle d'emboutissage et est tombé sur place, ce qui indique que cette rupture n'a fait que suivre celle de la partie cylindrique.	Chauffeur tué. Dégâts matériels assez importants.	Fatigue du métal, d'une mauvaise qualité et altéré par un long service. Vices de construction (courbure trop vive des fonds; trop grand diamètre du dôme; courbure des tôles transversalement au laminage). Pression peut-être exagérée. Douze ans de service sans visite complète.
août....	Battage de blé au Pillet, près Saffré (Loire-Inférieure).	Locomobile horizontale. Longueur, 1m,70; diamètre, 0m,67. Foyer intérieur de même longueur, avec 4 tubes de retour en cuivre de 0m,10 de diamètre.	On venait de reconnaître que la chaudière manquait d'eau, quand un des deux tubes supérieurs se fendit à sa soudure avec un manchon rapporté au moyen d'une brasure qui a fondu.	Pas de blessé. Incendie de meules de blé.	Manque d'eau.
7 septembre.	Battage de blé à Baignant, commune d'Allerey (Saône-et-Loire).	Locomobile à foyer intérieur de 2m,05 de longueur et retour de flammes formé par 20 tubes de cuivre. Elle porte un dôme de vapeur de 0m,53 de hauteur et 0m,50 de diamètre, fermé par un fond légèrement bombé, attaché par 24 boulons de 14mm, rangés sur une circonférence de 0m,55 de diamètre. Timbre, 7 k.	Avant la mise en marche, le fond du dôme a été lancé en l'air, les boulons rompus et dispersés.	Aucune conséquence.	Mauvais état des boulons qui maintenaient le couvercle du dôme de vapeur; ils ont été serrés sans ménagements; plusieurs d'entre eux devaient éprouver une tension voisine de l'effort de rupture; une pression modérée de la vapeur a fini par les rompre.
18 septembre	Puits Devillaine. Houillère de Montrambert (Loire).	Chaudière cylindrique, horizontale, à fonds méplats, à bouilleurs latéraux. Corps cylindrique : longueur, 12m; diamètre, 1m,50. Bouilleurs : diamètre, 0m,80. Timbre, 5 k. Elle fait partie d'une batterie de sept chaudières semblables.	Le bouilleur inférieur s'est ouvert vers le bas à 0m,40 de la tête, suivant un triangle.	Chauffeur mort de ses blessures. Dégâts matériels insignifiants.	Corrosion de la tôle du bouilleur-réchauffeur en contact avec l'eau qui suintait de la jonction entre ce bouilleur et le manchon en fonte qui le termine et qui porte la communication avec l'autre bouilleur. L'épaisseur a été réduite à moins de 1mm et la virole s'est déchirée sous la pression ordinaire.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
19 septembre	Atelier de force motrice, rue Gambey, à Paris.	Chaudière cylindrique à deux bouilleurs. Corps cylindrique : diamètre, $1^m,00$; longueur, $6^m,05$. Bouilleurs : diamètre, $0^m,60$; longueur, $6^m,55$. Timbre, 6 atmosph.	Bouilleur de gauche fendu à peu près suivant sa génératrice inférieure sur $1^m,50$ à partir du tiers de la longueur de la grille.	Chauffeur mort de ses blessures. Dégâts matériels.	La cause préparatoire de l'accident est une altération du métal à la suite d'un ou de plusieurs coups de feu. On n'a pu se prononcer catégoriquement sur la cause directe et finale.
28 septembre	Mines de plomb de Chabrignac (Corrèze).	Chaudière cylindrique à fonds plats avec foyer intérieur et 24 tubes de retour. Cinq de ces tubes sont sécheurs. Les fonds du cylindre forment les plaques tubulaires ; à chacun d'eux correspond une boîte à fumée ; la cheminée est sur celle d'avant. Diamètre, $1^m,10$; longueur, $2^m,90$. Achetée d'occasion et éprouvée en avril 1875 pour la pression de 8 k.	La machine avait cessé de fonctionner à la fin de 1877 ; elle a été rallumée le 28 septembre, après remise en état. On venait de faire marcher au frein pendant un quart d'heure et on ouvrait la porte du foyer lorsque l'explosion a eu lieu. Le foyer intérieur a été écrasé en partie et déchiré ; la vapeur a projeté au loin la porte du foyer et les barreaux de la grille ; la plaque d'arrière de la boîte à fumée s'est détachée.	Le chauffeur et un ouvrier morts de leurs blessures ; trois autres personnes légèrement atteintes.	L'écrasement du foyer est la suite d'un coup de feu ; on ne saurait dire catégoriquement que le coup de feu n'est pas antérieur à l'explosion.
5 octobre..	Moulin à Saint-Philbert de Grandlieu (Loire-Inférieure).	Chaudière cylindrique de $2^m,10$ de longueur, avec foyer intérieur de $0^m,45$ de diamètre et $1^m,00$ de longueur, prolongé par 22 tubes en laiton. Ces tubes avaient été bagués du côté du foyer ; au contraire, du côté de la boîte à fumée, lors de la construction, en 1868, ils avaient été renflés par emboutissage à l'intérieur de la plaque et rabattus à l'extérieur pour former rivure. Timbre, 6 k.	La plaque tubulaire d'arrière s'est légèrement bombée en dehors, abandonnant tous les tubes, qui sont restés fixés à la plaque du foyer. L'eau et la vapeur se sont précipitées par les orifices ainsi laissés libres. Un instant avant l'accident, on s'était aperçu que la pompe alimentaire ne fonctionnait pas bien ; le feu était très vif, les soupapes soufflaient. On avait donné l'ordre de retirer le feu.	Trois hommes brûlés ou blessés, dont un légèrement. Grenier en partie détruit.	Etat de vétusté et défaut d'entretien de la chaudière. Les tubes avaient successivement perdu leurs bords rabattus en sorte que la plaque du fond, poussée par la pression intérieure, a abandonné les tubes.
7 octobre...	Atelier de construction mécanique à Chateaubriant (Loire-Inférieure).	Générateur composé d'un corps cylindrique de $0^m,80$ de diamètre et de $5^m,20$ de longueur et de deux bouilleurs de $0^m,75$ de diamètre et de $5^m,70$ de longueur. Timbre, 6 k. La pierre servant de flotteur au sifflet d'alarme était brisée ; la communication inférieure du tube de niveau avec la chaudière était fermée.	L'une des tôles du bouilleur de gauche s'est déchirée suivant une ligne de $1^m,70$ de longueur, voisine de la génératrice inférieure, puis suivant deux arcs de circonférences transversales. Aucune projection liquide.	Dégâts matériels.	Incurie du chauffeur, qui ne s'est pas aperçu que sa chaudière était arrivée à ne plus contenir d'eau ; les appareils indicateurs n'étaient pas en bon état.
15 octobre ..	Filature à Maguiel, commune de Générargues (Gard).	Cylindre vertical de 1^m de diamètre et $1^m,60$ de hauteur. Couvercle à charnière, légèrement bombé ; il est garni d'un anneau en fer, dans lequel est creusée une rainure de 20 millimètres de largeur qui reçoit une bande de caoutchouc s'appuyant sur la couronne en fer. Ce couvercle est fixé au cylindre par six serre-joints à vis.	A la seconde opération faite dans cet appareil et à une pression d'environ 3 k., une fuite se manifesta au joint du couvercle en face de la charnière. On voulut serrer une des vis, l'écrou se rompit, aussitôt quatre autres écrous se brisèrent et le couvercle faussé, à moitié soulevé, laissa échapper des torrents de vapeur.	Quatre personnes brûlées, dont une mortellement.	Trop grand écartement des serre-joints du couvercle. Une fuite s'étant produite, on a serré sous pression la vis d'un des serre-joints, qui alors s'est rompu.
16 octobre...	Bateau *Laurent Tertrais*, port du Palais, Belle-Isle.	Chaudière (système Oriolle) composée de deux caisses parallélipipédiques et verticales de $1^m,50$ de hauteur sur $1^m,20$ de largeur et $0^m,12$ d'épaisseur, réunies par 145 tubes en fer de $0^m,064$ de diamètre intérieur et 1^m20 de longueur, inclinés sur l'horizontale de 12 à 15 centimètres par mètre. Capacité, 990 litres ; surface de chauffe, 38 mètres carrés. Epreuve en 1877 pour le timbre de 8 atmosphères. Rééprouvée en 1878 sans fuite.	Le 4e tube de la deuxième rangée supérieure s'est rompu ; ce tube, comme ceux des quatre rangées supérieures, ne contient jamais d'eau ; il était réduit à l'épaisseur d'une feuille de papier sur toute sa longueur et présentait dans sa partie médiane deux déchirures, l'une de 10 centimètres, l'autre de 5 à 6 centimètres.	Mécanicien et chauffeur morts de leurs brûlures.	Epaisseur tellement faible d'un tube par rapport aux tubes voisins que l'on doit admettre qu'il était déjà beaucoup plus mince que les autres quand il a été posé.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE, forme et destination de l'appareil. — Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSÉQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
7 novembre.	Fabrique de sucre à Carvin (Pas-de-Calais).	Générateur composé d'un corps principal renfermant 5 tubes, de deux bouilleurs et d'un dôme. Corps cylindrique : longueur, 8m ; diamètre, 2m,10. Bouilleurs : longueur 8m,50 ; diamètre, 0m,70. Tubes : diamètre, 0m,30 ; surface de chauffe, 116 mètres carrés. Timbre, 4 k. Epaisseur du fond plat du corps cylindrique, 13mm,5 à 13mm,8. Les armatures du fond plat consistaient dans les cinq tubes et dans trois tirants ; l'un de ces tirants était central et avait remplacé un sixième tube qui avait primitivement existé ; les deux autres tirants étaient fixés, d'un côté au fond, de l'autre au corps cylindrique, au moyen d'oreilles doubles ; ces oreilles étaient fixées à la chaudière chacune par trois rivets, et le tirant était fixé à chaque paire d'oreilles par 2 clous de 20mm de diamètre. Plusieurs de ces armatures avaient des cassures anciennes et ne fonctionnaient plus. L'appareil marchait habituellement à une pression supérieure au timbre de 1/2 k. et même fréquemment de 1 1/2 k ; les soupapes étaient constamment surchargées.	Le fond plat d'avant s'est déchiré. Il a été arraché par le haut suivant la ligne des rivets qui le fixaient à la cornière ; par le bas, la déchirure a suivi le bord interne des cinq tubes intérieurs, et le bord interne de ces cinq tubes a été brisé suivant la ligne d'emboutissage. Tirant central cassé net contre le fonds plat ; tirants supérieurs arrachés de leurs oreilles. Le fond plat s'est tout d'abord détaché des tubes intérieurs et de la cornière du pourtour sur la gauche.	Neuf personnes tuées ou mortes des suites de leurs blessures. Dégâts matériels considérables. (Parmi les nombreuses victimes, un contre-maître était seul occupé auprès de la chaudière ; il a été tué. Les autres étaient sept personnes et un ouvrier qui stationnaient sur le générateur même pour se chauffer.	Construction vicieuse. (Emploi sur le fond antérieur d'une tôle trop mince et de mauvaise qualité pour une grande surface insuffisamment armée ; insuffisance des armatures de ce fond). Mauvais fonctionnement de l'appareil (Entretien insuffisant des tirants et des oreilles ; pression habituellement excessive)

(Voir une note sur cet accident dans le premier volume de 1879, page 313)

10 novembre	Teinturerie, quai National à Puteaux (Seine).	Double fond cylindrique vertical de 1m,85 de diamètre et 1m,115 de hauteur, fermé par un couvercle mobile assez fortement bombé. Ce couvercle est attaché au cylindre par 18 boulons à charnière de 20mm de diamètre. Il fonctionne depuis huit mois.	Vers la fin d'une opération, le couvercle en tôle de cuivre a été lancé à travers la toiture. — 12 boulons sur 18 étaient rompus.	Pas de blessé. Toiture défoncée.	Serrage excessif des boulons du couvercle. On y était conduit par l'écartement (0m,34) des 18 boulons, avec lequel il était difficile que le joint pût se maintenir étanche.
25 novembre	Sucrerie à Brienon (Yonne)	Bac en tôle destiné au lavage.	»	Une femme légèrement blessée à la tête. Toiture de l'atelier de lavage emportée.	Excès de pression dans le récipient, résultant de l'ouverture trop prolongée du robinet de prise de vapeur.
30 novembre	Blanchisserie à Evreux...	Chaudière cylindrique verticale de 2m,25 de diamètre et 1m,27 de hauteur. Fond et couvercle sphériques de 0m,35 de hauteur. Soupapes chargées, les unes pour la pression de 1/2 k., les autres pour 1 k. Diamètres, 30 et 39mm. Serre-joints trop faibles pour cette pression.	Les serre-joints se sont ouverts et le couvercle a été projeté en l'air avec la cuve intérieure et son contenu.	Deux ouvriers ont reçu des contusions ou des brûlures sans gravité. Toiture et fenêtre enlevées.	Solidité insuffisante pour la pression de 1 k.
6 décembre.	Papeterie à Estissac (Aube)	Cylindre sécheur en fonte de 1m,37 de longueur et 0m,95 de diamètre. Epaisseur de la fonte, 25mm. Ce cylindre, destiné à sécher le papier, recevait la vapeur au moyen d'un tube muni d'une soupape réglée à 3 atmosphères.	L'une des vis reliant le corps à l'un des fonds s'étant rompue, ce fond s'est détaché du corps cylindrique et a été projeté et brisé contre le mur de l'établissement, qu'il a presque entièrement traversé.	Dégâts matériels sans importance.	Vice de construction : les fonds du cylindre n'étaient reliés au corps cylindrique qu'au moyen de six vis taraudées.
17 décembre.	Fabrique de sucre de Saint-Simon (Aisne).	Bâche prismatique de 2m,35 de longueur, 1m,00 de largeur, 2m,00 de hauteur. Tôle de 3mm. Elle est remplie d'eau chaude provenant de la condensation et d'eau froide d'un réservoir. Cette eau est réchauffée par la vapeur de générateurs timbrés à 5 k.	On a tamponné l'orifice communiquant avec l'atmosphère et la bâche s'est déchirée sous la pression de la vapeur en inondant d'eau chaude l'atelier des presses. Le trop plein resté seul pour l'évacuation de la vapeur ne put pas suffire.	Un ouvrier mort de ses brûlures. Cinq ouvriers brûlés.	Pression acquise par la vapeur dans un appareil destiné à fonctionner à l'air libre. Imprudence commise en obstruant l'orifice principal.

RÉSUMÉ.

RÉPARTITION DES ACCIDENTS.

	NOMBRES.	TUÉS.	BLESSÉS.
1° Par nature d'établissements :			
Battage de blé	5	7	3
Filatures	4	3	6
Papeteries	3	4	1
Fabriques de sucre	3	10	6
Bateaux	3	6	»
Teintureries	2	»	2
Scieries	2	»	2
Mines	2	3	3
Moulin à farine	1	»	3
Fabrique de cadres	1	»	»
Pilerie de poivre	1	»	»
Usine d'essais chimiques	1	»	»
Fabrique d'engrais	1	2	»
Blanchisserie	1	»	2
Lavoir	1	1	»
Travaux de canalisation	1	»	2
Atelier de construction	1	»	»
Atelier de ferronnerie	1	»	1
Atelier de force motrice	1	1	»
Totaux	35	37	31
2° Par espèce d'appareils :			
CHAUDIÈRES. sans foyer intérieur : horizontales : ordinaires, avec ou sans bouilleurs	11	5	3
CHAUDIÈRES. sans foyer intérieur : horizontales : tubulaire, avec bouilleurs	1	9	»
CHAUDIÈRES. sans foyer intérieur : verticale non tubulaire	1	»	2
CHAUDIÈRES. sans foyer intérieur : à tubes bouilleurs	1	2	»
CHAUDIÈRES. avec foyer intérieur : horizontales tubulaires	9	12	11
CHAUDIÈRES. avec foyer intérieur : verticale tubulaire	1	1	»
RÉCIPIENTS	11	8	15
Totaux	35	37	31
3° D'après les causes : (★)			
Conditions défectueuses d'établissement :			
Construction, disposition, ou installation défectueuses		15	
Conditions défectueuses d'entretien :			
Usure. Amincissement du métal		3	
Corrosion extérieure		2	
Réparations non faites ou défectueuses		3	
Mauvais emploi des appareils :			
Manque d'eau		11	
Excès de pression		3	
Autres imprudences ou négligences		8	
Causes restées inconnues		3	

(★) Le nombre total des causes est supérieur à celui des accidents parceque le même accident a été quelquefois attribué à plusieurs causes réunies.

NOTE
SUR
LA MINE DE MERCURE DU SIELE
(TOSCANE)

Par M. PETITON, ingénieur,
ancien élève-externe de l'École des mines.

Avant-propos. — Chargé, en 1879, d'examiner la mine de mercure du Siele (Dicialetto) (Toscane), je devais rendre compte des conditions d'extraction et d'exploitation du minerai, des produits antérieurs et des perspectives de produits ultérieurs basées sur la richesse de la mine et sur une réorganisation de l'exploitation.

J'ai divisé mon travail en trois parties ;

Première partie. — Zone cinabrifère du Monte-Amiata. — Situation de la mine du Siele.

Deuxième partie. — Description de la mine du Siele. — Gisements. — Travaux. — Cube approximatif du minerai.

Troisième partie. — Traitement du minerai. — Fonderie. — Essais divers.

PREMIÈRE PARTIE.

Zone cinabrifère du Monte-Amiata.

Situation de la mine du Siele. — La mine de mercure du Siele, dite *mine du Dicialetto*, est située en Toscane (Italie), dans la province de Grossetto, sur les bords du torrent le Siele, qui prend sa naissance à 2 kilomètres de là, au pied d'un des contreforts de la Penna. Le Siele est un affluent de la Paglia, qui elle-même se jette dans le Tibre.

Le terrain occupé par la mine s'étend sur la commune de Santa-Fiora, section de Castel l'Azzara, au sud du Siele, et sur la commune de Pian Castagnajo au nord du Siele, qui dans cet endroit sépare les deux communes. Le village le plus rapproché de la mine est Castel-l'Azzara à 5 kilomètres environ, c'est là que demeure la plus grande partie des ouvriers.

Les travaux de la mine s'étendent au nord du Siele, la fonderie seule est au sud du torrent, elle est réunie à la mine par un petit pont.

Pour aller de Florence à la mine, il faut compter vingt-quatre heures dont :

6 heures de chemin de fer;
4 heures et demie de voiture;
11 heures de repos;
2 heures et demie de cheval.

On prend le chemin de fer :

De Florence à Empoli.	31 kilom.
D'Empoli à Asciano.	98 —
D'Asciano à Monte-Amiata.	34 —
Total.	163 kilom.

De la station de Monte-Amiata à Santa-Fiora, il faut 4^h 1/2 de voiture, et de Santa-Fiora à la mine 2^h 1/2 de cheval par un chemin carrossable.

La maison de la mine est à une altitude de 700 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, sur les bords du Siele. Malgré cette élévation, il y a la fièvre pendant les chaleurs de l'été, à cause de la nature argileuse du sol et de la disposition spéciale du terrain.

Formation géologique. — Le Monte-Amiata est une puissante montagne dont la cime s'élève à 1.732 mètres d'altitude. Elle est formée d'une éruption de trachyte qui s'étend jusqu'à 5 à 6 kilomètres de son point culminant.

L'éruption très moderne de ce trachyte doit avoir été une des causes de l'apparition du cinabre dans les gîtes de cette contrée.

Le gisement du Siele, le plus important des gisements de cinabre de cette partie de la Toscane, est situé au centre d'une zone métallifère de 20 kilomètres de longueur, s'étendant à l'est et au sud du Monte-Amiata, depuis Abbadia san Salvadore au nord, jusqu'à la mine de Selvena del Morone dans la vallée de la Fiora au sud.

Sur cette vaste étendue, le cinabre se rencontre dans des gisements complètement différents. Au nord, à l'Abbadia san Salvadore, il apparaît dans les roches trachytiques elles-mêmes sous forme d'imprégnations.

Il n'a pas été trouvé jusqu'ici en quantité exploitable, ni à l'Abbadia san Salvadore, ni à Pian Castagnajo, situé un peu au sud. On n'a fait du reste dans ces deux endroits que des recherches de peu d'importance.

A 4 kilomètres environ au sud de Pian Castagnajo, dans un terrain d'alluvion, on rencontre sur les bords de la Senna des travaux de recherches entrepris sur deux points:

1° A la Casa di Paolo à l'est, se trouve le puits Isaac, actuellement plein d'eau, profond de 80 mètres. Ce travail n'a donné aucun résultat pratique ; il a seulement montré des imprégnations de cinabre dans le calcaire gréseux. Ces recherches ont été faites par M. Péreire, de Paris.

2° A 500 mètres à l'ouest se trouve une recherche dans le terrain de M. Paradisi de Pian Castagnajo ; cette recherche, exécutée par MM. Lefèvre et Magniet et continuée actuellement par la société des *mines de la Senna*, n'a pas donné jusqu'ici de résultats.

Les travaux consistent en un puits de 67 mètres et en une galerie de 180 mètres de longueur dans le terrain d'alluvion. On a trouvé quelques petites mouches de cinabre dans la marne.

A 4 kilomètres au sud de ces gisements se trouve la mine du Siele dont nous parlerons plus loin en détail.

Mine de la Solfarata. — A 3 kilomètres à l'ouest du Siele est le gisement de la Solfarata exploité par M. le Dr Schwarzenberg (ingénieur M. Simon, habitant Santa-Fiora).

(Les mines de M. le Dr Schwarzenberg sont dans le comté de Santa-Fiora qui appartient au comte de Sforza).

Le gisement de la Solfarata est dans le même terrain que le gisement du Siele (terrain tertiaire probablement). Les recherches ont été commencées il y a quatre ans sur des indices d'anciens travaux. Elles consistent en une galerie de roulage (en direction), dirigée sensiblement sud-sud-est de 300 mètres de longueur, côtoyant la couche qui forme fond de bateau.

Le toit et le mur de la couche sont formés de schiste argileux et de calcaire. Le calcaire est souvent réticulé de calcaire spathique. Le gisement est en résumé une sorte d'*amas-couche*. Le minerai est presque toujours invisible. L'argile contient beaucoup de pyrite.

La production est de 110 bonbonnes de 54 kilog. par mois, soit 3.740 kilog. de mercure.

Ouvriers employés :

8 mineurs et 18 manœuvres à 1f,50 et 1f,30.

4 voituriers à 2 francs, trois boiseurs à 2 francs.

Il faut, pour les ouvriers du fond, ajouter 0f,20 pour l'huile des lampes.

La laverie emploie 25 femmes à 0f,60.

L'atelier se compose de 20 caisses longues, et de deux cribles à secousse.

Il y a en activité deux fours de 3 cornues chacun.

Mines de Selvena. — A 4 kilomètres environ au sud de la Solfarata se trouvent les recherches de la *Selvena* ou del Marone, dans la vallée de la Fiora. Ces recherches sont faites par M. le Dr Schwarzenberg, elles n'ont donné aucun résultat sérieux jusqu'ici.

Mines du Cornachino. — Sur les flancs de la montagne de la Penna se trouvent les mines du Cornachino. Le sommet de la Penna est formé de calcaire nummulitique et madréporique (V. Pl. II, *fig.* 4). Au-dessous se trouvent des couches siliceuses stratifiées de 10 cent. de puissance environ; la silice est souvent jaspée, rubannée, rouge ou noire, formant alors du quartz lydien. Ces couches sont imprégnées de cinabre. On commence à trouver une quantité suffisante de ce minerai pour construire un four.

La première mine du Cornachino est à 4 kilomètres environ à vol d'oiseau de la mine du Siele. On met 1h.1/2 à cheval pour y aller du Siele par un sentier de mulet, sur le flanc de la montagne, très glissante en temps de pluie à cause de la nature argileuse du sol. Cette mine appartient à M. le Dr Schwarzenberg qui a fait exécuter deux galeries de recherche.

La deuxième mine du Cornachino est 100 mètres plus bas en suivant le torrent, elle appartient à la *Compagnie des mines de la Senna.* Le terrain n'est plus le même que dans la mine supérieure; c'est du calcaire *Alberese.* On a fait une attaque à travers bancs par une galerie de 85 mètres de longueur, il y a quatre ou cinq galeries transversales dans des petits filons contenant un peu de minerai dans l'argile.

Les couches de calcaire *Alberese* sont bien stratifiées.

La *fig.* 3 (Pl. II) donne une idée de la disposition d'ensemble des gisements du Monte-Amiata.

DEUXIÈME PARTIE.

Description de la mine du Siele.

Gisements.—Travaux.— Cube approximatif du minerai. — Le plan qui est joint à cette note (Pl. II, *fig.* 1 et 2) a

été levé rapidement pendant ma visite. Je ne le considère que comme d'une exactitude approximative; quoi qu'il en soit, il nous servira pour la description rapide de la mine.

On descend dans les travaux par un escalier qui va d'abord sensiblement de l'ouest à l'est, puis du sud au nord jusqu'à l'étage que nous appellerons l'étage de 53 mèt. On rencontre, en descendant l'escalier, un premier petit filon (*a*) dirigé suivant la ligne 290°, et plongeant au nord-ouest de 35°. Ce filon est très net, le mur et le toit sont du calcaire *Alberese*.

On rencontre un peu plus bas un deuxième petit filon minéralisé de cinabre (*b*) avec filets de chaux carbonatée spathique, dirigé 335° incliné à l'est de 60° environ, et présentant une puissance de 30°.

On trouve un peu plus bas un troisième petit filon presque vertical (*c*), ayant comme direction 330°. On voit sur ce filon la trace d'anciens travaux.

Quelques mètres plus loin on rencontre de vieux travaux sur un quatrième petit filon (*d*).

On est à peu près au niveau de 40 mètres; en descendant encore une douzaine de mètres on arrive au niveau de 53 mètres, dans ce que j'appellerai *le filon couche n° 2*, qui se présente dirigé sensiblement est-ouest, plongeant au nord de 30° environ, c'est dans cette partie que le filon couche est minéralisé sur la plus grande étendue en direction. Nous avons trouvé une longueur de 36 mètres de filon couche minéralisé; à l'est, ce filon couche est nettement limité par une surface de glissement.

Le filon couche n° 2 se présente sous la forme d'une couche ou poche d'argile contenant du minerai compris dans du schiste argileux, et ayant comme toit et comme mur du calcaire *Alberese* plus ou moins marneux, la direction et le pendage sont celles du calcaire.

Au même niveau de 53 mètres, 10 mètres vers le sud on rencontre le filon couche n° 1.

A 15 mètres environ vers le nord on trouverait le filon couche n° 3.

Ces trois filons couches, n° 1, n° 2 et n° 3, constituent la richesse de la mine; ils plongent au nord et sont parallèles à la stratification du terrain.

On peut considérer que les petits filons (*a*), (*b*), (*c*), (*d*) ont été exploités par les anciens et par les modernes jusqu'au niveau de 53 mètres.

Ce sont de vrais filons, tandis que les n°s 1, 2 et 3 sont des *filons couches* ou *amas couchés* intercalés dans la stratification générale du terrain avec petites poches d'argile séparées, communiquant avec la masse totale par des petites fissures qui ont permis la minéralisation venant du centre d'action.

Filon couche n° 1. — Ce filon couche n'est guère visible qu'à ce niveau de 53 mètres, sur quelques mètres d'étendue, il montre en un point un peu de minerai, il a $0^{m},30$ de puissance. Il est bien parallèle à la stratification, il se termine en pointe à l'ouest et à l'est.

Il est impossible, vu le manque de travaux, d'assigner une valeur quelconque à ce filon couche n° 1.

Filon couche n° 2. — Le filon couche n° 2 se poursuit de l'étage de 53 mètres jusqu'au niveau de 75 mètres environ. Vers le niveau de 75 mètres, le filon couche n° 2 se réunit avec le filon couche n° 3, et forme un renflement qui se prolonge jusqu'au niveau de 96 mètres environ.

Filon couche n° 3. — Le filon couche n° 3 a été dépilé dans toute la partie située au-dessus du niveau de 75 mèt. Il ne reste qu'un petit lambeau au-dessus et au-dessous du niveau de 53 mètres. Ce que nous avons vu de ce filon couche est *d'une richesse exceptionnelle* qui explique suffisamment pour quelle raison les propriétaires de la mine ont exploité le susdit filon couche n° 3.

Les travaux ne sont prolongés au-dessous du niveau de 96 mètres que de quelques mètres.

Au fond de la dernière descenderie à 110 mètres environ, nous avons trouvé quelques plaquettes de minerai rouge dans l'argile. Il y a de nombreuses veinules de calcaire spathique avec un peu de minerai. Nous avons trouvé (point important à constater), deux nodules de minerai massif de 3 à 4 décimètres cubes de volume. On ne peut donc pas dire que ce soit la fin du gisement en profondeur. Du reste le puits neuf, qui est foncé dans l'aval-pendage des filons couches, a rencontré un peu de minerai à la profondeur approximative de 140 mètres environ, ce qui correspondrait, je crois, au niveau de 126 mètres, compté à partir de l'orifice du vieux puits.

C'est un fait très intéressant; il faudrait reconnaître immédiatement par une petite galerie de recherche l'allure et la richesse du minerai en ce point.

Puits vieux.—L'exploitation de la mine se fait au moyen du vieux puits des machines; ce puits a 53 mètres de profondeur et est muraillé.

Il faut donc remonter le minerai du niveau de 96 mètres à ce niveau de 53 mètres, ce qu'on fait avec un petit puits intérieur. Dans beaucoup de chantiers on remonte le minerai à jets de pelle de gradins en gradins, en allant de bas en haut ce qui est fort dispendieux. Il est inutile d'insister ici sur l'exploitation de la mine, faite *sans méthode* et *sans plan.*

Le vieux puits est muni d'une machine de dix chevaux, qui fait marcher les bennes pour l'extraction du minerai. Cette machine fait également mouvoir au jour les tambours d'un plan incliné d'une cinquantaine de mètres de longueur pour descendre les wagons chargés, de l'orifice du puits à la halle des fours.

La même machine met également en mouvement une pompe qui prend les eaux de la mine ramenées au niveau de 53 mètres.

Puits neuf. — 14 mètres au-dessus de l'orifice du vieux puits à 140 mètres environ vers le nord-ouest, sur l'aval pendage des couches, on fonce le puits neuf; ce puits a actuellement 140 mètres environ de profondeur.

Il est de forme ovale : le grand diamètre est de $3^m,10$; le petit diamètre est de $2^m,70$. Il est divisé en deux compartiments, l'un pour l'extraction, l'autre pour les échelles, il est muraillé.

Le service de ce puits se fait avec un treuil à engrenage mû par six hommes.

Les deux puits communiquent au niveau de 53 mètres par une galerie à travers bancs, traversant les diverses couches cinabrifères, qui paraissent concentrées dans cette zone. En effet ce travers-bancs, poussé au sud sur 100 mètres de longueur, n'aurait rencontré que des terrains stériles.

Au nord du puits neuf il n'aurait encore rien trouvé.

Au niveau de 110 mètres environ, une nouvelle galerie à travers bancs met les travaux en communication avec le puits neuf.

Composition des couches minérales. — Les couches cinabrifères sont composées d'argiles plus ou moins colorées comprises généralement entre des bancs calcaires.

Le cinabre y existe sous trois aspects différents :

1° Il est disséminé dans l'argile en cristaux isolés non discernables à la vue : par suite le poids seul de l'argile peut indiquer la présence du minerai, mis en évidence par des lavages prolongés de l'argile avec décantations consécutives.

Cette argile minéralisée a une teneur faible, mais est parfaitement exploitable.

2° Il est disséminé dans l'argile en petites agglomérations qui les teintent en rouge très vif et très net.

3° Il est en rognons souvent de volume considérable, quelquefois d'un mètre cube. Le minerai est compacte, d'aspect métallique, d'une richesse exceptionnelle (65 p. 100 de mercure). Nous avons rencontré de ces blocs, notam-

ment dans le lambeau à prendre dans la couche n° 3, au niveau de 53 mètres et dans la réunion des couches n°s 2 et 3.

Composition du toit. — Le toit est souvent moucheté et imprégné de cinabre. Il part souvent des couches, des ramifications minérales accompagnées de veinules de spath calcaire qui pénètrent dans la roche du toit.

Allure générale des filons couches, en profondeur (inclinaison) et en direction. — De l'ensemble des travaux vus, il résulte que nous n'avons pas là des gisements très réguliers; mais pour se prononcer d'une façon nette, il faudrait faire dresser un plan d'une exactitude complète, et faire exécuter des travaux de recherches logiquement menés, après l'étude intelligente et réfléchie des gisements (plan en main). Ce gisement, en résumé, est connu à partir du niveau de 53 mètres, sur une hauteur suivant l'inclinaison d'environ 100 mètres, et suivant la verticale de 60 mètres; sur une longueur en direction de 80 mètres au plus.

Il paraît assez beau pour valoir la peine qu'on fasse des travaux de recherches *logiques;* il serait déplorable d'agir autrement et de continuer à exploiter le minerai, sans préparer l'avenir. Celui qui écrit ces lignes croit pouvoir prendre sous sa responsabilité personnelle d'énoncer que la mine du Siele mérite de telles recherches. Bien que le cubage de son minerai soit une opération *très délicate* et qui ne peut être qu'*approximative*, nous avons, pour nous rendre compte, divisé la mine en dix-sept parties, que nous avons cubées, autant que faire se pouvait, en tâchant de *pressentir* dans beaucoup de cas *ce qu'il y avait de minerai derrière un garnissage absolu de planches ne laissant rien voir.*

TROISIÈME PARTIE.

Traitement du minerai.

Fonderie. — Essais divers. — Les ateliers pour le traitement du minerai sont situés principalement, comme nous l'avons dit, sur la rive droite du torrent le Siele, en face de la mine.

Ils se composent d'un long hangar, recouvrant quatre fours à cornue et un four continu avec les chambres de condensation, une petite laverie de dix caisses longues, un magasin pour le mercure, un dépôt de minerai, etc.

Les fours sont adossés deux à deux, ils contiennent chacun trois cornues en fonte.

Sur la rive gauche du torrent se trouve un grand four continu en construction, et un long magasin de bois à brûler et de charbon de bois pour les fours.

Eau pour la condensation du mercure. — L'eau nécessaire pour la condensation des vapeurs mercurielles vient en partie du Siele et en partie d'une source captée sur le flanc de la Penna à 1 kilomètre environ de la fonderie.

Depuis un an on commence à laver les argiles cinabrifères, pour les enrichir et à trier les calcaires cinabrifères du toit.

Les minerais pauvres sont traités au four continu. Les minerais qui paraissent riches sont traités aux fours à cornue.

Les fours à cornue produisent la plus grande partie du mercure. Le four continu n'est qu'un accessoire de la production. La charge de ce four est d'environ 200 à 250 kilog. de minerai cru et de 40 kilog. de chaux.

Actuellement, le minerai n'est ni séché ni pulvérisé, le mélange avec la chaux est par suite très imparfait, la réduction du minerai laisse par conséquent beaucoup à désirer.

Il se forme une grande quantité de sous-sulfure noir, qu'il faut séparer du produit à chaque opération et retraiter au four.

Le minerai contenant beaucoup d'eau, on doit altérer plus vite les cornues que si on traitait du minerai sec. En outre, comme cette quantité d'eau est variable, et qu'on ne fait aucun essai, on ne connaît *jamais* ni la quantité de matière sur laquelle on agit, ni la teneur de ce minerai. On ne sait jamais, par suite, la quantité de chaux qu'il conviendrait d'ajouter; on subit donc des pertes considérables et on produit des sous-sulfures en grande quantité.

Four continu. — Le four continu se compose d'un fourneau cylindrique de 1 mètre de diamètre et 8 mètres de haut. Il est fermé par un système de deux portes à sa partie supérieure. L'espace laissé entre les deux portes reçoit la charge de minerai.

La charge se compose de boulettes d'argiles faites à la main, de débris de calcaire provenant du toit des couches et imprégnés de cinabre, mêlés avec du charbon de bois.

Les produits de la combustion et les vapeurs mercurielles passent à leur sortie du four dans trois chambres de condensation où l'on fait arriver une pluie d'eau froide. De la troisième chambre, les vapeurs non condensées et les produits de la combustion passent par un long carneau dans une dernière chambre située en contre-bas.

Les charges sont de 120 kilog. environ de minerai et de 10 kilog. de bois. La charge se fait toutes les deux heures, ce qui représenterait une consommation de minerai de 43.200 kilog. par mois.

Le four continu produirait, dit-on, 30 bonbonnes par mois, en tenant compte du nettoyage du four, soit 1.200 kilog. de mercure par mois.

Les quatre fours à cornue produiraient, dit-on, 11.200 kilog. par mois.

ESSAIS AU LABORATOIRE ET A L'USINE.

Poids du minerai massif. — Poids d'un échantillon de minerai massif déterminé en pesant le volume d'eau déplacé par le morceau de minerai à étudier : cet essai a été fait *approximativement* sur un échantillon de 260 cent. cubes qui pesait 1.500 grammes d'où on a pu conclure que le poids du mètre cube de minerai massif est de 5.700 kilog.

Poids du minerai argileux moyen. — Une première expérience, faite sur deux briques de minerai argileux moyen, a donné pour le mètre cube 2.422 kilog.

On a opéré sur des briques ayant les dimensions suivantes :

	mét.
	0,08
	0,19
	0,365
	0,005548^{c3}

Une deuxième expérience a été faite sur 1 mètre cube de minerai argileux frais sorti la veille de la mine. On a bien damé ledit minerai dans une caisse cubique ayant 1 mètre de longueur d'arêtes, on a trouvé un poids de 2.417 kilog. En admettant que, malgré le damage, il y ait eu 1/10 de vide, on aurait à ajouter au poids 241 kilog. Je n'ajouterai que 83 kilog., soit le tiers de 241 kilog., pour tenir compte du poids considérable des gros blocs de minerai massif qui se trouvaient dans la masse de minerai argileux examiné. Nous avons ainsi 2.500 kilog.

Je crois donc qu'il convient d'adopter, comme poids du mètre cube du minerai argileux moyen riche, 2.500 kilog.

Essais faits dans les fours de la fonderie du Siele sur le minerai.

1er ESSAI. — 15 mai.

1° Détermination de l'eau.

Nous avons déterminé *approximativement* le poids de

l'eau, n'ayant pas de laboratoire, en faisant dessécher le minerai argileux sur les fours.

Le 15 mai un premier essai a donné :

Minerai humide	68 kilog.
Minerai desséché	60 —
Perte. (Eau et matières volatiles.)	8 —

Ce qui nous donne, en considérant la perte de poids comme représentant *uniquement* le poids de l'eau contenue dans la matière, eau : 11,76 p. 100.

Nous avons pris 179 kilog. de minerai desséché.

Nous l'avons mélangé avec 35 kilog. de chaux et traité au four à trois cornues.

Nous avons obtenu :

1° Mercure direct	24 kilog.
2° Mercure des crasses	5 —
Total	29 kilog.

Les crasses, composées de sous-sulfures de mercure noir venant d'une réduction insuffisante du sulfure de mercure, ont donné, mélangées avec des cendres chaudes, 5 kilog. de mercure, par la réaction des sels alcalins (carbonate de soude) à chaud sur le sous-sulfure noir, soit :

29 kilog. de mercure
ou 16 p. 100 du minerai desséché.

2e ESSAI. — 18 mai.

Minerai argileux cru	210 kilog.
a donné en minerai desséché pendant 12 heures	185 —
Perte par dessiccation	25 kilog.

soit 11k,90 p. 100 d'eau.

Ces 185 kil. de minerai desséché ont donné, mélangés avec de la chaux (45 kilog.) et traités au four :

Mercure total	29 kilog.

Soit 15,67 p. 100.

3e ESSAI. — 21 mai.

Minerai argileux cru	184 kilog.
Minerai desséché pendant 12 heures	158 —
Perte en eau	26 kilog.

soit eau contenue 14 p. 100.

Pris, pour essai au laboratoire, 2 kilog. de minerai. On n'a donc traité au four que 156 kilog.

	kilog.
Première cuvette de mercure obtenu directement	28,40
Tare de la cuvette	6,40
Mercure direct obtenu	22,00
Deuxième cuvette de mercure venant des crasses traitées par les cendres chaudes	kilog. 6,20
Tare de la cuvette	2,00
Mercure des crasses	4,20

Nous avons donc obtenu 26k,200 de mercure, soit 16 p. 100 du minerai sec.

Essais de laboratoire.

Échantillons A, *représentant la moyenne de la mine.* — Le 16 mai deux prises d'essai ont été faites à la mine du Siele.

La majeure partie du minerai de la mine est constituée par le filon couche n° 2, et par la réunion, dans la partie inférieure de la mine, des filons couches n° 2 et n° 3. Il fallait, pour avoir un échantillon représentant autant que possible la richesse moyenne de la mine, prendre sur des points nombreux des échantillons d'argile contenant du cinabre invisible à l'œil nu, d'argile contenant du cinabre reconnaissable à la vue, et enfin des noyaux de cinabre presque pur empâtés dans la masse d'argile.

On a pris de chacune de ces espèces une quantité pro-

portionnelle à la quantité supposée d'après la vue. On a pris plus de trente petits échantillons dans toutes les parties des deux couches précitées. On en a fait une prise d'essai pesant $4^k,660$.

On l'a desséchée pendant 24 heures à 50° et on a obtenu $4^k,080$, d'où perte (*eau et matières volatiles*) à 50° : *environ* $0^k,580$, ce qui représente en eau 12,44 p. 100; remarquons que c'est bien la quantité d'eau que nous avons toujours trouvée, égale à 12 p. 100 *environ*.

On a mélangé intimement la matière desséchée après l'avoir broyée. On l'a étendue sur une table et on l'a partagée comme un damier par des lignes longitudinales et transversales. On a pris 15 de ces petits prismes de $0^m,02$ environ de hauteur formant le quart environ de la quantité totale soit 1 kilog.

On a fait deux essais sur l'échantillon ainsi choisi.

On a mélangé le minerai en poudre avec de la chaux en excès dans un ballon en verre. On a chauffé et recueilli le mercure.

		MERCURE OBTENU.	
1er ESSAI.	— 25 grammes, *minerai*	$9^{gr},43$	soit 37,72 p. 100
—	25 — , *chaux*		
2e ESSAI.	— 25 grammes, *minerai*	$9^{gr},51$	soit 38,04 p. 100
—	25 — , *chaux*		
	La moyenne est donc de. . . .		37.89 p. 100

Échantillons B, *représentant ce qui reste en évidence du filon couche n° 3.* — Le filon couche n° 3, qui devait être probablement très riche, a été dépilé presqu'en entier jusqu'à la jonction des filons couches nos 2 et 3. Il en reste notamment un lambeau de 72 mètres exceptionnellement riche.

On a pris 1 kilog. de ce minerai, on l'a désséché pendant 12 heures; ce minerai était presque massif, il contenait très peu d'argile. A cause de sa richesse exceptionnelle on a mélangé le minerai avec un excès de chaux.

On a pris :

Minerai	25 gr.
Chaux.	35 —

On a obtenu :

Mercure.	$15^{gr},86$

Soit un rendement de 63,44 p. 100.

Il n'a pas été pris d'échantillon sur le filon couche n° 1. Ce filon n'a été ni exploité ni déterminé. Il est infiniment moins important que les autres; il était impossible de l'évaluer, n'ayant aucune donnée pour le faire.

Nous n'avons pu voir ce filon qu'au niveau de 53 mètres où on aperçoit en couronne un peu de minerai massif, le filon se perd 5 mètres plus loin vers l'ouest.

On peut donc dire qu'avec les échantillons A et les échantillons B, choisis comme il vient d'être dit, on a les éléments nécessaires et suffisants pour faire une évaluation approximative et rapide de la mine.

Détermination de la perte en mercure aux fours à cornue du Siele. — Le four à cornue avait reçu une charge de 156 kilog. de minerai séché, et avait donné en mercure $26^k,20$, soit un rendement de 16,83 p. 100 dans le 3e essai.

La prise d'essai sur le même minerai a donné au laboratoire 23,6 p. 100 en mercure.

La différence, 6,77 p. 100, représente la perte dans le traitement de l'usine.

Ce résultat doit être donné comme un minimum, pour deux raisons :

1° Parce que la distillation dans les fours du Siele a été plus soignée pendant ma présence qu'elle ne l'est à l'ordinaire.

2° Parce que le minerai pris pour l'essai au laboratoire, étant réduit en poudre fine, était très hygrométrique et a dû absorber beaucoup d'eau par les temps de pluie que nous avons eu à traverser avant l'essai au laboratoire.

On est donc sûr que la perte, dans le traitement par le four à cornues, atteint au minimum 28,68 p. 100 du mercure contenu dans le minerai.

Nous terminerons cet exposé en disant que, bien que nous ayons dû déduire de nos calculs, pour nous-même et pour la Compagnie de laquelle nous tenions notre mission, un aperçu de la richesse de ce gîte intéressant, des motifs de réserve faciles à comprendre nous empêchent d'en consigner ici les résultats. Je me contenterai de citer, en ce qui concerne l'état actuel de la production, les chiffres que je dois à l'obligeance de M. l'ingénieur du corps royal des mines Fabri, de Florence, chargé du service minéralogique de la mine du Siele. Les expéditions de bonbonnes de mercure relevées au chemins de fer, station de Monte-Amiata (tare de 15 p. 100 comprise), ont atteint les poids suivants :

Années.	kilog.
1875.	116.000
1876.	111.000
1877.	130.000
1878.	115.000

Ce qui ferait une moyenne de 100.000 kilog. par an de mercure, comme production nette moyenne de ces quatre dernières années.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

M. CHARLES COUCHE,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES.

Par MM. RÉSAL, ingénieur en chef, professeur à l'École des mines, Membre de l'Institut,
et VICAIRE, ingénieur, professeur à l'École des mines.

Le 24 juillet 1879 (*) s'est éteint, dans sa 65e année, un des membres les plus éminents du Corps des mines, M. Charles Couche, inspecteur général, professeur de construction et de chemins de fer à l'École nationale des mines.

Qu'il me soit permis de rendre hommage à la mémoire d'un homme considérable de notre siècle, qui a été successivement mon maître, mon collaborateur, mon ami et mon chef.

Né le 24 janvier 1815, M. Couche sort de l'École polytechnique en 1835 avec le titre d'élève-ingénieur des mines. A partir de 1839 il est chargé successivement des sous-arrondissements minéralogiques de Bordeaux et du Mans; puis il passe, sous les ordres de M. l'ingénieur en chef Fournel, au service de l'Algérie.

Le 13 octobre 1846, M. le sous-secrétaire d'État des travaux publics, l'illustre M. Legrand, qui savait si bien choisir les hommes, le charge de faire des conférences à l'École des mines sur l'exploitation des chemins de fer. Ces conférences sont transformées en 1848 en un cours régulier de *construction et d'exploitation des chemins de fer*, cours dont il a occupé la chaire jusqu'à sa mort.

(*) Notice de M. Résal.

Le 3 décembre 1849, M. Couche est nommé secrétaire de la Commission des *Annales des mines;* il donne une impulsion nouvelle à cette publication périodique, si utile aux savants, aux ingénieurs et aux industriels.

En 1852, il fait partie de la Commission des machines à vapeur du département de la Seine.

Le 8 mars de la même année, il est chargé, comme ingénieur ordinaire, d'une section du contrôle de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon.

Le 20 août 1855, il est nommé ingénieur en chef; après une interruption dans le service actif, tout en conservant ses fonctions de professeur, on le retrouve en 1857 chef du contrôle des chemins de fer de l'Est et des Ardennes.

Le 25 février 1868, il devient inspecteur général, et, le 5 mai de la même année, chef du contrôle des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.

A notre grande exposition de 1878, il est nommé, pour la classe 64 (matériel des chemins de fer), président du Jury, juste hommage rendu à une célébrité par des ingénieurs de premier ordre.

Le 1er janvier 1879, il arrive à la première classe de son grade.

La première production de M. Couche est une *Note sur l'emploi du coke dans les locomotives et sur les expériences faites en Autriche pour substituer au bois les houilles et les lignites de Bohême pour le service des chemins de fer* (*). L'auteur s'attache surtout, dans ce mémoire, à donner des conseils sur le mode de chargement des combustibles sur les grilles.

Dans le même volume, nous trouvons un travail intitulé : « *Sur la nouvelle locomotive Crampton* ». Cette note avait surtout un caractère d'actualité et il n'y a pas lieu d'insister sur ce sujet.

(*) *Annales des mines*, 4e série, t. XIX.

Le tome XX de la série ci-dessus désignée renferme un mémoire de M. Couche, ayant pour titre : « *Analyse et discussion des nouvelles expériences faites, principalement en Angleterre, sur la résistance de la fonte, du fer et de quelques autres matériaux* ». Ce qui résulte surtout de ce savant mémoire est une conception très ingénieuse servant à expliquer la fracture pyramidale de blocs parallélipipédiques. A ce sujet, l'auteur remet en vigueur une idée de Navier sur les ruptures par glissement, qui avait été complètement oubliée et qui est rentrée finalement dans le domaine de l'enseignement des écoles d'application.

Un mémoire intitulé : « *Des progrès des machines locomotives et de leur influence sur les conditions d'établissement des chemins de fer* », se trouve inséré au tome Ier de la 5e série des *Annales des mines.*

M. Couche a publié, dans le tome III de la 5e série des *Annales des mines*, une note « *sur les contre-poids appliqués aux roues motrices des locomotives et les limites qu'il convient de leur assigner* », travail dans lequel l'auteur fait nettement ressortir le danger que présente le mode arbitraire de décomposition des forces dans les systèmes articulés.

L'un des mémoires les plus remarquables de M. Couche, qui a produit une grande sensation parmi les ingénieurs, est une « *Étude sur les chemins de fer d'Allemagne* » (T. V, VII, XI de la 5e série des *Annales des mines*).

Il serait trop long (*) d'analyser en détail toutes les autres publications de M. Couche sur les chemins de fer; nous ne pouvons cependant passer sous silence un ensemble de travaux qui représente une part importante de son activité et non la moins considérable par les résultats. Nous voulons parler des nombreux rapports qu'il a eu à

(*) Notice de M. Vicaire.

présenter à l'Administration, soit en son nom personnel, soit au nom de diverses commissions : moyens d'empêcher les incendies causés par les locomotives, emploi de la houille crue et fumivorité, emploi de la tôle d'acier fondu dans les chaudières à vapeur, freins automoteurs, étude de locomotives nouvelles; tels sont les principaux sujets traités dans ceux de ces rapports que les *Annales des mines* ont recueillis, sans parler de ceux, en très grand nombre, qui n'ont pas été publiés.

Tous ces travaux sont venus se fondre dans le grand ouvrage que M. Couche a publié de 1867 à 1874 sous le titre de : *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, dont les trois volumes compactes résument trente années de son existence.

Dans ce vaste travail, M. Couche n'a point prétendu épuiser toutes les questions, même purement techniques, que présentent les chemins de fer. Jaloux d'aller toujours au fond des choses et de ne pas accepter les opinions toutes faites, il a laissé de côté, ainsi qu'il en fait lui-même la remarque, des questions importantes, comme celle des signaux et celle de la disposition des gares, questions de combinaisons qui, avec celle du tracé, également étrangère à son programme, constituent en quelque sorte la géométrie des chemins de fer. Il s'est attaché à ce qui concerne l'établissement de la voie, la construction et le fonctionnement des machines locomotives et du matériel roulant en général, toutes questions qui relèvent surtout de la mécanique. Sur ce terrain, où l'attiraient de préférence la destination spéciale des jeunes ingénieurs auxquels s'adressait son enseignement à l'École des mines et, semble-t-il, les tendances de son esprit, il sentait qu'il pouvait se mouvoir en maître et il a élevé, en effet, un édifice magistral.

En lisant ce traité, on ne sait ce qu'on doit le plus admirer, de l'habileté de l'auteur à soumettre au contrôle de

la théorie les sujets qui semblent le moins s'y prêter, du sens pratique avec lequel il analyse les conditions multiples de chaque problème et fait ressortir leur importance relative, de l'indépendance, de la sûreté et de la pénétration de sa critique, d'une part, et d'autre part, de l'abondance d'information qu'il révèle, non seulement sur ce qui a été écrit, mais chose plus rare, sur ce qui se fait en France et à l'étranger, surtout en Allemagne. Si ce dernier genre de mérite contribue dans une large mesure à l'utilité immédiate de l'ouvrage, notamment à raison des planches qui accompagnent celui-ci, et qui, ne représentant que des objets réellement exécutés, à l'échelle, avec les cotes et les détails d'exécution, fournissent à l'ingénieur une collection précieuse de modèles bien choisis, les autres qualités lui assurent une durée supérieure à celle qui est trop souvent réservée aux ouvrages relatifs à l'industrie. Longtemps après que les planches auront vieilli, que les types décrits par l'auteur auront fait place à d'autres, on ira chercher dans le livre de M. Couche l'exposé lumineux des principes à observer et le modèle d'une discussion à la fois savante et pratique.

Dès à présent, le public des ingénieurs a sanctionné par un accueil empressé le mérite de l'ouvrage, qui a été traduit en plusieurs langues, notamment en allemand et en anglais.

De nombreux voyages, une correspondance étendue et un labeur acharné, passionné, pourrait-on dire, mis au service d'une haute intelligence, ont seuls permis à M. Couche de mener à bonne fin cette œuvre immense, comme ils lui ont permis de traiter avec une égale supériorité les deux cours, bien distincts en réalité et, de fait, séparés après sa mort, dont il était chargé à l'École des mines, le cours de constructions industrielles et celui de chemins de fer.

Professeur non moins remarquable qu'habile écrivain,

M. Couche s'exprimait avec une rare facilité, et sa manière incisive, son talent d'exposition, les conceptions nouvelles dont il enrichissait successivement ses leçons, rendaient sympathique à ses élèves l'abord des questions les plus ardues.

Après l'achèvement de son grand ouvrage, il semblait que son activité dût manquer d'aliment. Sa nomination, le 23 novembre 1877, à la présidence de la Commission des inventions et règlements vint y pourvoir, surtout lorsque cette Commission, transformée en Comité de l'exploitation technique des chemins de fer, vit s'accroître le champ de son action. L'ardeur avec laquelle il se donna à ses nouvelles fonctions n'a peut-être pas été étrangère à sa fin subite et prématurée.

Cette même ardeur avec laquelle il se portait en toute circonstance à ce qui lui paraissait être conforme à la vérité et à l'intérêt public, la liberté de son franc parler et la vive allure de sa plume qui, dans ses écrits spéciaux, vient souvent animer d'une piquante saillie la discussion la plus technique, ont pu quelquefois causer des blessures à ceux dont les vues entraient en conflit avec les siennes. Chacun du moins rendait hommage à la droiture de ses intentions, à la loyauté de ses procédés, et, dans une occasion éclatante, il sut montrer que la considération de ses intérêts et le soin de ménager sa situation n'étaient pas ce qui le dirigeait.

D'ailleurs il acceptait volontiers la discussion de ses idées comme il savait reconnaître à l'occasion les écarts de son humeur. Chez lui, point de parti pris, point d'esprit de coterie, et bien des ingénieurs dont il s'est fait le patron sans les connaître autrement que par leurs œuvres lui gardent une profonde reconnaissance.

La mort de M. Couche a fait perdre en même temps à la France un ingénieur remarquable et un savant très distingué.

EXTRAITS DE GÉOLOGIE

POUR

LES ANNÉES 1877 ET 1878

Par MM. DELESSE et DE LAPPARENT.

Nous nous proposons de résumer les travaux de géologie publiés pendant les années 1877 et 1878.

Les ouvrages français ne sont souvent mentionnés que d'une manière sommaire, notre but étant surtout d'appeler l'attention sur les progrès de la géologie à l'étranger.

La classification qui a été suivie dans cette Revue est à peu près celle du *Manuel de géologie* de Mr J. D. Dana, et, comme les années précédentes, elle comprendra cinq parties:

I. PRÉLIMINAIRES ET GÉOLOGIE PHYSIOGRAPHIQUE.
Ouvrages de géologie. — Généralités sur le globe.

II. GÉOLOGIE LITHOLOGIQUE.
Roches et leur gisement. — Roches proprement dites et roches métallifères.

III. GÉOLOGIE HISTORIQUE.
Terrains au point de vue stratigraphique et paléontologique.— Lois de la distribution des espèces végétales et animales qui vivaient pendant la formation de ces terrains.

IV. GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.
Descriptions et Cartes géologiques. — Géologie agronomique.

V. GÉOLOGIE DYNAMIQUE.
Forces qui ont produit des changements géologiques; leur mode d'action. — Modifications des roches. — Stratigraphie systématique.

M. Delesse a spécialement traité la deuxième partie, comprenant les roches ou la géologie lithologique; il s'est occupé également de la géologie agronomique, ainsi que du métamorphisme et des modifications des roches.

M. de Lapparent s'est chargé de la troisième partie, comprenant les terrains ou la géologie historique; il s'est chargé en outre de la stratigraphie systématique.

Quant au reste du travail, il a été fait en commun.

PREMIÈRE PARTIE.

OUVRAGES GÉNÉRAUX.

Leymerie a publié une 3e édition de ses *Éléments de géologie* (1), Évitant de composer des descriptions idéales avec des traits empruntés à plusieurs terrains de même âge, situés dans des contrées différentes, Leymerie a choisi des types réels appartenant aux régions classiques, particulièrement à celles qu'il a pu étudier lui-même en France et surtout dans les Pyrénées. Il donne des détails spéciaux sur le terrain crétacé du midi de la France, et sur l'étage qu'il appelle garumnien. Dans le terrain tertiaire, il a cru devoir placer la limite de l'éocène au-dessus des sables de Fontainebleau, parce qu'ils complètent le bassin parisien et qu'ils ont la faune des faluns bleus des Landes, lesquels ont encore participé au soulèvement des Pyrénées, et que cet événement marque la séparation naturelle de l'éocène d'avec le miocène.

Indépendamment de coupes et de nombreuses figures de fossiles caractéristiques, on trouve à la fin de l'ouvrage un lexique paléontologique donnant les principaux caractères zoologiques de ces fossiles. Comme complément de son ouvrage, Leymerie a encore publié des *Éléments de minéralogie et de lithologie*.

— M. Albert de Selle (2), vient de commencer la publication de son *Cours de minéralogie et de géologie à l'École centrale*. Le premier volume paru est divisé en deux parties; l'une, la plus importante, est consacrée entièrement à la minéralogie, l'autre à l'étude des phénomènes actuels.

Dans la partie relative à la minéralogie, l'auteur donne dans les premiers chapitres, les propriétés générales des minéraux, leur classification et les descriptions des méthodes permettant de déterminer leurs propriétés physiques ou chimiques. Dans les chapitres suivants, il étudie successivement les différents minéraux, leur composition chimique, leurs formes, leurs caractères physiques et chimiques et, en même temps, il indique les roches et les localités où on les rencontre.

(1) G. Masson. Boulevard Saint-Germain, Paris.
(2) *Cours de minéralogie et de géologie*. Paris, 1878.

Dans la partie relative aux phénomènes actuels, le premier chapitre est consacré à la figure de la terre.

M. de Selle y passe en revue les procédés pour déterminer la longitude et la latitude d'un lieu, les hypothèses sur la constitution primitive du globe terrestre, les variations de température avec les profondeurs et les hypothèses sur la constitution du soleil.

Les chapitres venant ensuite comprennent l'étude de l'atmosphère, et le rôle, comme agents géologiques, des éléments qui y sont contenus, la formation de la terre végétale ainsi que les courants aériens.

Un chapitre spécial est réservé aux phénomènes qui s'accomplissent dans les mers, aux courants qui les traversent, aux êtres qui les peuplent et surtout aux polypes qui, malgré leur faible taille, jouent un si grand rôle dans les modifications du fond des mers.

Dans les trois chapitres suivants, M. de Selle étudie les fleuves et les glaciers, les volcans, leur mode de distribution à la surface du globe, les produits qu'ils rejettent, et les tremblements de terre. Enfin le dernier chapitre est consacré aux mouvements lents des plages, aux sources gazeuses et aux geysers.

A ce volume est joint un atlas, renfermant un certain nombre de figures correspondant à la partie consacrée aux phénomènes actuels ; en outre, et c'est la partie la plus importante, on y trouve les dessins des formes cristallines de la plupart des minéraux avec les valeurs de leurs différents angles.

— Une traduction française des *Éléments de géologie* de M. H. Credner, faite par M. Moniez, vient d'être publiée par la librairie Savy.

— Dans un travail extrait du Dictionnaire encyclopédique des Sciences médicales, M. V. Raulin a donné, sous une forme très-condensée, un *Aperçu sur l'orographie, la géologie et l'hydrographie de la France*.

Parmi les ouvrages destinés à l'enseignement de la géologie, mentionnons le *Cours élémentaire d'histoire naturelle* de Paul Gervais, dont la 2e édition a été publiée en 1877.

Mentionnons encore un livre très élémentaire, destiné à faire pénétrer des notions de géologie dans les écoles primaires. Il est dû à Tombeck (1), qui s'y occupe particulièrement de l'arrondissement de Vassy, dans la Haute-Marne.

(1) *Leçons élémentaires de géologie à l'usage des écoles primaires*. Vassy, 1878.

— A l'étranger, indiquons un ouvrage spécialement consacré à la *Géologie de l'Italie*. Dans la première partie M. Gaetano Negri, décrit le terrain composant le sol de ce pays; la deuxième partie, due à M. Antonio Stoppani, donne la description des terrains glaciaires et de leurs équivalents; enfin, dans la troisième partie, M. Giuseppe Meralli étudie les volcans et les phénomènes volcaniques de l'Italie.

— M. Bigsby, à qui la science est déjà redevable du répertoire paléontologique connu sous le nom de *Thesaurus Siluricus*, a fait paraître un nouveau volume, *Thesaurus Devonico-Carboniferus*, consacré à la flore et à la faune des périodes dévonienne et carbonifère. Les genres et les espèces y sont classés dans des tableaux qui font connaître leurs horizons, leurs récurrences et les localités où on les rencontre.

— M. Richard Owen vient de publier ses recherches sur les mammifères éteints d'Australie. Cet ouvrage est accompagné d'une notice sur les marsupiaux qui ont autrefois habité l'Angleterre.

M. R. Owen a également réuni, en les complétant, les différents mémoires qu'il a publiés depuis 1838 sur les ossements fossiles des oiseaux aptères de la Nouvelle-Zélande. Les descriptions sont accompagnées de figures représentant les fossiles trouvés ainsi que les animaux restaurés. A l'ouvrage est joint la carte géologique de la Nouvelle-Zélande, par le Dr Hector, sur laquelle on a marqué les gisements d'où proviennent les fossiles.

— Dans son ouvrage : *Le monde des plantes avant l'apparition de l'homme*, M. de Saporta (1) a cherché à vulgariser les notions de paléontologie végétale, tout en donnant cependant des détails scientifiques. La première partie de l'ouvrage est spécialement consacrée à la théorie de l'évolution; mais il est à remarquer que l'auteur, malgré le titre de son livre, s'appuie de préférence sur les faits observés dans le monde des animaux et emprunte à la zoologie la plupart des exemples à l'appui de cette hypothèse.

Dans l'un et l'autre règne, les organismes les plus anciens sont des organismes marins, et l'organisation déjà complexe des premières plantes terrestres connues fait présumer l'existence d'une période, restée inconnue, de végétaux beaucoup plus simples, ayant vécu dans une atmosphère brumeuse, qui aurait aidé les plantes, d'abord exclusivement aquatiques, à s'établir peu à peu sur le sol émergé.

(1) Extrait par M. R. Zeiller, ingénieur des mines.

L'auteur reconnaît que « le fait même d'une filiation directe et « immédiate échappe à l'analyse; mais l'impossibilité de la saisir « n'a rien de surprenant, puisque le phénomène embrasse un « temps d'une durée incalculable et qu'il s'applique à des êtres « *demeurés le plus souvent obscurs ou inconnus au moment même* « *où il serait le plus intéressant de les observer.* »

Quant à l'argument tiré, contre les théories transformistes, de la perfection des cryptogames et des gymnospermes à l'époque houillère, M. de Saporta fait observer que cette perfection est la conséquence de l'absence de concurrence de la part des types supérieurs, qui ne se sont montrés que beaucoup plus tard, et devant lesquels ceux qui les avaient précédé ont perdu peu à peu de leur importance. C'est surtout, du reste, à l'époque tertiaire, comme M. Gaudry, et particulièrement dans le miocène, qu'il trouve des types paraissant se lier, par une suite non interrompue de modifications, aux genres et aux espèces actuels. Certaines de ces modifications, portant sur le développement des parties foliacées, peuvent être attribuées à des changements dans la température et dans le degré d'humidité de l'atmosphère. D'autres seraient uniquement le résultat d'une action spontanée de l'organisme, qui a pu produire, à un moment donné, des particularités entièrement nouvelles, fixées ensuite par l'hérédité.

Cette idée d'une transformation subite par l'apparition brusque de caractères nouveaux et imprévus est indiquée à diverses reprises par M. de Saporta, et il est intéressant de la noter comme impliquant l'abandon au moins partiel de l'hypothèse, mise presque exclusivement en avant jusqu'ici, de transformation lente par degrés insensibles.

Il y a lieu de remarquer aussi, pour une bonne partie des espèces miocènes citées et figurées par le savant paléontologiste d'Aix comme ayant donné naissance, par voie de transformation, aux espèces actuelles, qu'elles ne diffèrent de celles-ci que d'une manière à peine sensible, et qu'on pourrait souvent, parmi les diverses formes que présente une espèce vivante, en trouver d'identiques à la forme considérée comme éteinte. Au contraire, il y a presque toujours une différence importante entre l'espèce miocène et l'espèce éocène, dont elle est supposée descendre. On pourrait donc interpréter différemment les mêmes faits et invoquer comme arguments à l'appui de la fixité des caractères celles de nos espèces vivantes qu'on voit remonter, sans variation pour ainsi dire, jusqu'au milieu de l'époque tertiaire.

Un chapitre spécial traite ensuite l'étude des anciens climats.

Recherchant la cause de leur égalité d'abord, puis de leur différenciation de plus en plus nette, M. de Saporta est porté à les expliquer par l'hypothèse de la condensation graduelle de l'astre central, le déplacement des zones climatériques correspondant à la diminution graduelle du diamètre apparent du soleil.

La seconde partie de l'ouvrage est consacrée à la description succincte des flores des différentes périodes géologiques, les divisions basées sur l'étude des plantes coïncidant d'ailleurs avec les groupes stratigraphiques, à cette différence près que les étages supérieurs de la craie, à partir du cénomanien, se rattachent beaucoup plus étroitement par leur flore à l'époque tertiaire qu'à l'époque secondaire. M. de Saporta donne surtout des détails sur les flores tertiaires, et particulièrement sur celles de Gelinden, de Sézanne, d'Aix, de Manosque, de Meximieux et des cinérites du Cantal, cherchant pour chacune d'elles à faire la part, dans la variation des espèces, des conditions climatériques résultant de l'altitude, de l'exposition, de la configuration particulière des localités. Il s'attache à montrer les formes successives des types auxquels se rapportent les genres et les espèces qui peuplent aujourd'hui nos régions, et signale plusieurs de ces espèces qui semblent n'avoir subi aucun changement depuis l'époque miocène, mais ont seulement abandonné une partie des pays qu'elles habitaient. Il arrive, en ce qui touche l'Europe, à des conclusions intéressantes sur les groupes qu'on peut distinguer dans l'ensemble de la flore tertiaire :

1° Une catégorie de types autochtones qui n'ont jamais quitté la région, comme le laurier, la vigne, le lierre, divers érables, etc.;

2° Une catégorie de types autochtones encore, mais d'affinité tropicale, et spéciaux à l'Europe tertiaire, tels que les genres Rhizocaulon, Palæocarya, etc.;

3° Une catégorie de plantes cosmopolites, d'affinité tropicale, qui ont quitté aujourd'hui l'Europe, mais se retrouvent aux Indes, dans le sud de la Chine, au Japon;

4° Une catégorie de plantes indigènes, perdues aujourd'hui pour l'Europe, mais se retrouvant dans les massifs forestiers de la zone tempérée chaude, et chassées comme celles de la catégorie précédente par le refroidissement du climat;

5° Une catégorie de types qui n'existent plus en Europe, mais ont persisté en Afrique, comme les Phœnix, Dracœna, Callitris, Encephalartos, etc.;

6° Une catégorie représentée aujourd'hui par des végétaux nord-américains, notamment diverses formes de pins et de chênes;

7° Enfin une série de plantes provenant des régions polaires et qui sont descendues peu à peu dans l'ancien et le nouveau continent, où elles ne se sont pas toutes maintenues.

Ces groupes sont diversement mélangés aux différentes époques de la période tertiaire, les quatre premiers existant seuls au début de l'éocène, puis le cinquième s'y adjoignant, et le septième ne commençant à paraître que dans le pliocène, alors que le deuxième et le troisième ont déjà émigré sans retour, et que le quatrième, et surtout le cinquième et le sixième groupes, diminuent de plus en plus rapidement, annonçant ainsi leur disparition prochaine.

— M. Daubrée a commencé la publication de ses *Études synthétiques de géologie expérimentale*.

« Dans le volume qui vient de paraître, M. Daubrée montre les résultats d'expériences destinées à expliquer divers phénomènes géologiques, les uns chimiques et physiques, les autres mécaniques. Les premiers se rattachent à l'histoire des dépôts métallifères, à celle des roches cristallines, métamorphiques et éruptives, ainsi qu'au mécanisme des volcans. Dans les phénomènes de la seconde catégorie figurent la formation des galets, du sable et du limon, ainsi que d'autres effets de trituration et de transport; le mécanisme des déformations et des cassures terrestres, telles que les failles et les joints congénères; l'origine de la schistosité des roches, les déformations des fossiles et certains traits de la structure des chaînes de montagnes associés à la schistosité; enfin la chaleur qui a dû se dégager dans les roches par les actions mécaniques. »

DEUXIÈME PARTIE.

LITHOLOGIE.

La lithologie ou l'étude des roches est, chaque année, l'objet d'un grand nombre de travaux qui intéressent toutes les personnes s'occupant de géologie. Nous allons présenter un résumé sommaire de ces travaux, en nous attachant plus particulièrement à ceux qui fournissent des données nouvelles sur la composition minéralogique et chimique des roches ou sur leur structure microscopique.

Lorsqu'on voudra comparer les analyses nouvelles avec celles qui ont été faites précédemment, il conviendra d'ailleurs de consulter quelques ouvrages spéciaux, notamment ceux de MM. Justus Roth, Kenngott, Rammelsberg, G. Bischof, Tschermak, ainsi que le *Neues Jahrbuch*, *le Jahresbericht der Chemie*, et les quinze volumes déjà publiés de la *Revue de géologie*.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES ROCHES.

Densité.

Diverses roches des environs de Paris, classiques en géologie, ont été recueillies par M. Delesse, qui a déterminé leurs densités, dans le but de les utiliser pour une description géologique du Département de la Seine. Ces roches ont été groupées par familles, dans chacune desquelles on a suivi, autant que possible, leur ordre d'ancienneté, et voici les résultats qui ont été obtenus :

Roches gypseuses.

Gypse grenu de la butte Chaumont	2,483
Gypse parfaitement blanc et à grands cristaux, dit albâtre, du Montmesly (Créteil)	2,315
Banc de gypse de 0m,50, dit les Pavés, à Antony	2,300
Gypse blanc-jaunâtre, grenu, de la Butte Chaumont	2,294
Banc de gypse de 0m,15, dit la Calle, très blanc et d'excellente qualité, à Antony	2,289
Banc dit des Fleurs, de Clamart	2,276
Gypse blanc-jaunâtre, grenu, de la haute masse, à Pantin	2,267
Moyenne	2,320

Roches calcaires.

Craie prise dans la basse masse, aux Moulineaux	2,531
Craie prise dans la basse masse, à Issy	2,491
Craie prise dans la haute masse, à Issy	2,413
Craie à tubulures, blanc-jaunâtre, de la partie supérieure de la craie des Moulineaux	2,617
Calcaire pisolithique, très-fossilifère, de Vigny	2,643
Calcaire pisolithique, jaunâtre, à grains fins, de la carrière des Moulineaux	2,538
Banc royal avec miliolites, de Bagneux	2,624
Banc vert du calcaire grossier, de Gentilly	2,659
Banc vert du calcaire grossier, pris sous l'Observatoire (Paris)	2,765
Banc vert dur et compact, de la rue des Lyonnais (Paris)	2,669
Banc de roche du calcaire grossier supérieur (Paris)	2,605
Banc de roche du calcaire grossier, de la rue Méchin (Paris)	2,652
Banc de roche du calcaire grossier, de la rue Biron (Paris)	2,644
Banc de roche du calcaire grossier, de la rue Jean-Bart (Paris)	2,638
Banc de roche du calcaire grossier, de la rue de l'Ouest (Paris)	2,626
Calcaire crayeux, dit Tripoli, du calcaire grossier supérieur de Nanterre	2,577
Caillasse des marnes du calcaire grossier, du collége Rollin (Paris)	2,679
Calcaire blanc-jaunâtre, pulvérulent, rude au toucher, au-dessus des glaises vertes, Villejuif	2,564

Marnes.

Marne verte argileuse, formant des veines intercalées dans les marnes crayeuses des Moulineaux	2,352
Marne calcaire, glauconieuse et sableuse, du calcaire grossier inférieur de Paris	2,686
Marne blanc-jaunâtre, pulvérulente, des caillasses recouvrant le calcaire grossier de Paris	2,628
Marne blanche des caillasses recouvrant le calcaire grossier de Clamart	2,478
Marne magnésienne, argileuse, brune, feuilletée, des caillasses superposées au calcaire grossier	2,293
Marne magnésienne, gris-blanchâtre, s'effeuillant comme du papier, des marnes gypseuses de Rosny	2,185
Marne magnésienne contenant des rognons de ménilites (Paris)	2,000
Magnésite avec nombreuses paludines, du calcaire lacustre de Saint-Ouen	2,048
Marne blanc-jaunâtre, veinée de jaune, des marnes gypseuses de la Butte Chaumont	2,657
Marne argileuse jaunâtre, avec nodules de gypse niviforme (Paris)	2,641
Marne dite à détacher, blanchâtre et marbrée de gris, de Pantin	2,636
Marne jaune, supérieure au gypse de Pantin	2,496
Marne dite de faïence, prise à 1 mètre au-dessus de la haute masse du gypse, à Rosny	2,475
Marne jaune à cyrènes, au-dessous des glaises vertes d'Herblay	2,502
Marne blanche à lymnées, supérieure au gypse, servant à fabriquer la chaux hydraulique, de Pantin	2,528
Marne blanche, pouvant donner de la chaux hydraulique, de Rosny	2,546
Marne hydraulique de la Butte Chaumont	2,447
Marne hydraulique de la Butte Chaumont	2,339
Loess recouvrant le terrain diluvien de la Seine, à la Gare-d'Ivry	2,595
Loess brun-jaunâtre, de 3 mètres d'épaisseur, recouvrant le terrain diluvien de la Bièvre, à Gentilly	2,594
Loess, dit terre franche, pris à Clamart	2,554
Loess pris à Châtillon	2,482
Loess brunâtre, reposant sur les marnes du calcaire grossier d'Arcueil	2,544
Marne sableuse, plastique, jaune-verdâtre, du terrain diluvien supérieur de la Seine, prise sur la rive droite de Paris	2,631
Marne du terrain diluvien supérieur de la Seine, prise dans une fouille du Palais de Justice, à Paris	2,592
Marne sableuse, coquillère, du terrain diluvien de la Bièvre, à Gentilly	2,586

Roches siliceuses.

Ménilite de Villejuif	2,163

Sables et grès.

Sable quartzeux, gris, de la partie supérieure de l'argile plastique, Chatou	2,616
Sable gris-verdâtre avec géodes de grès des sables moyens, avenue des Champs-Élysées	2,692
Sable vert argileux des sables moyens, employé comme terre à four, Paris	2,659
Sable vert avec rognons et plaques de grès, des sables moyens, Paris	2,658
Sable vert des sables moyens, Raincy	2,644
Sable vert-jaunâtre, des sables moyens, Paris	2,631

Sable vert-jaunâtre, des sables moyens rencontrés dans une fouille de la rue de la Harpe, Paris. 2,575
Sable supérieur ou de Fontainebleau, pris à Sèvres. 2,638
Sable de Fontainebleau, pris à Clamart. 2,618
Sable de Fontainebleau, pris à Fontenay-aux-Roses. 2,591
Sable jaunâtre du terrain de transport supérieur de la Seine, Ivry 2,612
Sable marneux, verdâtre, du terrain de transport supérieur de la Seine, pris dans un égout près de la fontaine Saint-Michel, Paris. 2,576
Grès calcarifère, avec Avicula fragilis, des sables moyens, Paris. 2,752
Grès des sables moyens, formant un sphéroïde qui a 0m,50 de diamètre, de la rue Taitbout. Paris. 2,667
Grès en rognons dans les sables moyens, docks Napoléon, Paris. 2,659

Roches argileuses.

Argile plastique, d'un sondage fait à la Boulangerie centrale des Hospices, Paris. 2,529
Argile plastique, noire, ligniteuse, Puteaux. 2,443
Argile plastique, Boulangerie centrale des Hospices, Paris. 2,054
Glaise verte, de Pantin. 2,481
Glaise verte, de Montmartre. 2,253
Argile grise enveloppant les meulières supérieures du plateau de Meudon. . 2,269
Argile brun-rouge, du terrain diluvien rouge d'Ivry. 2,201

Terres végétales.

Terre végétale de Chatillon. 2,592
Terre végétale de Fontenay-aux-Roses. 2,587
Terre végétale du Bois de Vincennes. 2,584
Terre végétale de Vanves. 2,559
Terre végétale de Meudon. 2,548
Terre végétale de Suresnes. 2,548
Terre végétale de Pierrefitte. 2,525
Terre végétale de la plaine des Vertus, Aubervilliers. 2,527
Terre végétale de Clamart. 2,475
Terre végétale argileuse d'Arcueil. 2,457
Terre végétale de Bagneux. 2,454

Résistance des roches à l'écrasement.

A l'occasion de l'Exposition universelle de 1878, M. l'ingénieur en chef Michelot a fait, avec le concours de M. Brun, conducteur des ponts et chaussées, de nombreuses expériences ayant pour but de déterminer la résistance à l'écrasement des principaux matériaux de construction de la France. Elles ont eu lieu sur des cubes de quelques centimètres de côté que l'on écrasait avec une machine construite par M. Michelot. Avant cette opération, on avait d'ailleurs eu soin de rechercher, pour chaque pierre, le poids de son mètre cube. Nous donnons ici sous forme de tableau, le résumé de ces expériences, qui fournissent des données utiles sur les matériaux de construction de notre pays.

DÉSIGNATION DE LA ROCHE.	DÉPARTEMENTS.	POIDS du mètre cube.	CHARGE d'écrasement par cent. carré.
		kilog.	kilog.
Gypse albâtre, du trias de Saint-Jean-de-Maurienne.	Savoie.	2.265	260
Calcaire tuffacé de Cuisance, dépôt moderne des sources.	Doubs.	1.480 à 1.580	48 à 52
Calcaire de Caen, dit d'*Allemagne*, du Fullers earth.	Calvados	1.900 à 2.000	160 à 200
Calcaire de Marquise, de la grande oolithe.	Pas-de-Calais. . .	2.150 à 2.300	260 à 400
Roche de Laversine, du calcaire grossier supérieur (éocène).	Aisne.	2.300 à 2.350	300 à 450
Calcaire d'Euville, du terrain corallien de la carrière de la Sablière.	Meuse.	2.200 à 2.430	280 à 430
Calcaire d'Euville, du terrain corallien de la grande carrière	Meuse.	2.260 à 2.350	270 à 340
Calcaire de Lérouville, du terrain corallien de la carrière de Lavanoc.	Meuse.	2.290	255
Calcaire de Belvoye, dit de *Damparis*, du terrain séquanien.	Jura	2.590 à 2.680	755 à 870
Calcaire de l'Abbaye, du terrain séquanien	Jura	2.660	850
Calcaire de Comblanchien, de la partie supérieure de la grande oolithe jurassique. .	Côte-d'Or	2.680 à 2.720	900 à 1.040
Calcaire de Lézinnes, dit *Liais de Tonnerre*, du terrain oxfordien supérieur.	Yonne	2.430 à 2.450	690 à 760
Calcaire blanc et rose de l'Echaillon, du terrain corallien	Isère.	2.450 à 2.530	560 à 780
Calcaire, marbre de Lignet, du terrain néocomien	Isère.	2.700	850
Calcaire de Montpaon, du terrain miocène.	Bouches-du-Rhône.	1.900 à 2.060	120 à 130
Id. de Fontvieille, du terrain miocène.	Bouches-du-Rhone.	1.680 à 1.700	40 à 50
Id. de Cassis, du terrain néocomien.	Bouches-du-Rhône.	2.730	1.100
Calcaire de Saint-Savinien, de la craie glauconieuse	Charente-Inférre.	1.820 à 1.850	70 à 90
Calcaire de Saint-Macaire, du miocène inférieur.	Gironde	2.400	350
Calcaire de Bruniquel, de l'oolithe inférieure.	Tarn-et-Garonne.	2.400 à 2.500	750 à 900
Moyenne.	. . . . .	2.305,16	483,87
Marbre de Marbaix, du terrain carbonifère.	Nord.	2.730	995
Id. du Haut-Banc, du terrain carbonifère.	Pas-de-Calais. . .	2.790 à 2.740	1.000 à 1.090
Brèche de Baïxas, dite de *Portugal*, du terrain néocomien	Pyrénées-Orientes	2.750	660
Marbre blanc de Saint-Béat, du terrain carbonifère.	Haute-Garonne. .	2.720 à 2.760	740 à 750
Pierre marbre d'Arudy, du crétacé inférieur.	Basses-Pyrénées.	2.730	1.055
Moyenne.	. . . . .	2.732,85	612,85
Grès de Domfront, du terrain silurien. . . .	Orne.	2.630	1.900
Id. de Pouvrai, du terrain miocène. . . .	Orne.	2.540 à 2.560	985 à 1.050
Grès de Saint-Denis-d'Authon, de la craie glauconieuse.	Eure-et-Loir. . . .	2.400 à 2.540	700 à 1.
Grès de Provenchères, du grès infraliasique.	Haute-Marne. . .	2.060	550
Id. bigarré de Merviller.	Meurthe-et-Moselle.	2.420 à 2.480	400 à
Id. bigarré de Chatillon.	Vosges.	2.050	29
Id. bigarré de Lerrain.	Vosges.	2.010	37
Id. vosgien de Saint-Dié.	Vosges.	2.110	36
Id. de Belval, du terrain du grès rouge. .	Vosges.	2.340	58
Id. d'Epinal, du terrain du grès vosgien. .	Vosges.	2.110	23
Id. bigarré d'Epinal	Vosges.	2.010	24

DÉSIGNATION DE LA ROCHE.	DÉPARTEMENTS.	POIDS du mètre cube.	CHARGE d'écrasement par cent. carré.
		kilog.	kilog.
Grès bigarré de Luxeuil	Haute-Saône	2.050 à 2.070	250 à 290
Id. bigarré de Saint-Germain	Haute-Saône	2.115 à 2.160	480 à 510
Id. bigarré de Frédéric-Fontaine	Haute-Saône	2.170	390
Id. bigarré de Sénargent	Haute-Saône	2.050	350
Grès de Saint-Germain, du terrain du grès rouge	Belfort	2.360 à 2.390	560 à 630
Grès bigarré d'Offemont	Belfort	2.300 à 2·230	355 à 425
Grès de Coulandon, du terrain des marnes irisées	Allier	1.900 à 1.960	65 à 90
Grès de Montvicq	Allier	2.100	150
Grès tendre de Gramont, du terrain du grès bigarré	Corrèze	2.080	165
Grès de Collonges, du terrain du grès bigarré	Corrèze	2.140	340
Grès de Ravel	Puy-de-Dôme	2.180 à 2.270	420 à 460
Id. de Saint-Etienne, du terrain houiller	Loire	2.050 à 2.150	190 à 280
Id. de Blavozy, du terrain éocène	Haute-Loire	2.300	600
Id. de Lodève, du terrain du grès bigarré	Hérault	2.060 à 2.140	240 à 335
Id. de Salles, du terrain du grès bigarré	Tarn	2.400	770
Id. tendre de Lombers, du terrain miocène	Tarn	2.400	430
Id. tendre de Castres, du terrain miocène	Tarn	2.180	280
Grès dur de Gudas, du terrain éocène supérieur	Ariège	2.620 à 2.680	470 à 520
Grès d'Arrodoy, du terrain du grès bigarré	Basses-Pyrénées	2.620	880
Moyenne		2.232,97	479.64
Jaspe bréchiforme du trias de Saint-Gervais	Haute-Savoie	2.720	1.840
Granite de Vire	Calvados	2.720	940 à 1.110
Id. de Sainte-Honorine	Orne	2.750	1.020
Id. d'Alençon	Orne	2.585	820
Id. de Saint-Baudelle	Maine-et-Loire	2.725	1.145
Id. de Sacé	Maine-et-Loire	2.680	960 à 1.040
Id. de Fermanville	Manche	2.634 à 2.694	645 à 750
Id. de Diélette	Manche	2.700 à 2.760	945 à 1.010
Id. de Chausey	Manche	2.745	875
Id. de Laber	Finistère	2.690	920
Id. de Lacronan	Finistère	2.600	650
Id. du Blavet	Morbihan	2.600 à 2.670	1.090 à 1.200
Id. de Lavau	Loire-Inférieure	2.680	970
Id. de la Boissière	Vendée	2.660	960
Id. de Mortagne	Vendée	2.670	820
Id. des Lucs	Vendée	2.600	800
Id. d'Avrillé	Vendée	2.660	1.050
Id. de Bressuire	Deux-Sèvres	2 645	1.025
Id. de Gérardmer	Vosges	2.740	725
Id. gris de Remiremont	Vosges	2.675	750 à 815
Id. brun de Remiremont	Vosges	2.700	710 à 790
Id. corail	Vosges	2.730	800 à 855
Id. feuille morte	Vosges	2.690	775
Id. du Bonjean	Côte-d'Or	2.555	785
Id. d'Avallon	Yonne	2.685	1.040
Id. de Lormes	Nièvre	2.630	670
Id. du Repère	Haute-Vienne	2 580	600
Id. de Silor	Haute-Vienne	2.640	650
Id. du Dorat	Haute-Vienne	2.730	920
Id. d'Isle	Haute-Vienne	2.615	1.400
Id. d'Ussel	Corrèze	2.700	900
Id. de Rebeyrotte	Corrèze	2.500	600 à 615

DÉSIGNATION DE LA ROCHE.	DÉPARTEMENTS.	POIDS du mètre cube.	CHARGE d'écrasement par cent. carré.
		kilog.	kilog.
Granite de Saint-Rémy	Puy-de-Dôme	2.550	800
Id. de Monistrol	Haute-Loire	2.620	1.020
Id. de Llagonac	Pyrénées-Orientes	2.480 à 2.560	420 à 560
Id. d'Augignac	Dordogne	2 600	940
Id. du Sidobre	Tarn	2.650	980
Protogine d'Epierre	Savoie	2.670	1.170
Moyenne		2.596,04	875,21
Kersanton	Finistère	2.810	1.100
Mélaphyre vert de Belonchamp	Haute-Saône	2.845	1.360
— vert-noirâtre de Belfahy	Haute-Saône	2.820	1.120
— vert de Saint-Barthélemy	Haute-Saône	2.780	900
Moyenne		2.815	1.226,66
Trachyte du Mont-Dore	Puy-de-Dôme	2.300	590
Id. de la Pradette	Haute-Loire	2 400	880
Id. d'Angoules	Cantal	2 400	400
Id. de Molèdes	Cantal	2.150	300
Id. de Faillitou	Cantal	2.190	360
Moyenne		2.328	506
Basalte du volcan d'Agde	Hérault	2.360 à 2.380	400 à 560
Lave de Volvic	Puy-de-Dôme	2.000 à 2.300	300 à 400
— de Bouzentès	Cantal	2.680	550
Moyenne		2 326,66	416,66

Séparation mécanique des éléments minéralogiques contenus dans les roches.

M. J. Thoulet a donné deux méthodes pour opérer cette séparation :

La première est basée sur la différence de densité des minéraux élémentaires des roches. A cet effet, on prépare une liqueur en faisant dissoudre jusqu'à refus de l'iodure de mercure cristallisé (HgI) dans de l'eau saturée d'iodure de potassium. Cette liqueur, de densité égale à 2,8 environ, jouit de cette propriété, qu'étendue d'eau, elle ne se contracte pas sensiblement et qu'elle peut en outre, par évaporation, être ensuite concentrée à nouveau et indéfiniment. On emploie un appareil spécial en verre où l'on dépose les minéraux pulvérisés au sein de la liqueur d'iodure, tandis que par des additions d'eau mathématiquement graduées, grâce à cette

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, février 1878, et *Bulletin de la Société minéralogique de France*, années 1878 et 1879.

non contraction de la liqueur, on fait tomber et on recueille successivement et séparément chacun des minéraux composant la roche.

La seconde méthode de M. Thoulet tire parti d'un courant d'eau qui distribue les minéraux, préalablement réduits en poudre de finesse uniforme, dans la longueur d'un tube en verre vertical et suivant un ordre fonction de leur densité et de leur forme. L'appareil consiste en deux tubes concentriques dont le plus gros est muni d'un tube latéral pour amener l'eau ou la faire se déverser et d'un robinet inférieur servant à évacuer les minéraux triés. L'eau descend dans le gros tube, s'introduit, par le bas, dans le tube plus fin, remonte en soulevant les parcelles minérales et au bout d'un certain temps la poudre est classée. L'opération s'exécute automatiquement, après un simple réglage de la vitesse du courant.

Variations de la composition minéralogique d'un même dépôt avec la grosseur de son grain.

En procédant à un triage minéralogique du gravier appartenant au diluvium inférieur de Rüdersdorf près Berlin, M. Laufer (1) a reconnu qu'il était composé de la manière suivante :

Granite et gneiss	16,7	Silex	16,8
Feldspath	15,8	Indéterminable	6,5
Quartz	24,1		
Grunstein?	4,4	Somme	99,7
Calcaire	15,4		

Mais, dans ce même diluvium, la teneur en quartz du dépôt augmente à mesure que le grain diminue. Car, dans l'échantillon précédent où le grain était supérieur à 3 millimètres, il y avait environ 24 p. 100 de quartz, tandis qu'il y en a près de 30, lorsque le grain est de 2 millimètres et on en trouve jusqu'à 61 p. 100 lorsque le grain se réduit en moyenne à 0,2.

Quant à la teneur en chaux carbonatée, elle varie en sens inverse de celle du quartz et même elle fait défaut dans le sable le plus fin.

A Rohrbeck, par exemple, dans un gravier d'alluvion contenant 7,2 de carbonate de chaux, on en trouve seulement 5,8 dans le petit gravier ayant plus de 2 millimètres, 2,6 dans le sable dont le grain est compris entre 2 millimètres et $0^{mm},05$; et il n'y en a plus que des traces dans celui dont le grain est inférieur à 0,05 millimètres.

(1) Berendt. *Abhandlungen zur geol. Special Karte von Preussen*, II, 41.

Ces résultats sont analogues à ceux qui déjà ont été obtenus dans l'examen des dépôts lacustres et marins; ils s'expliquent facilement en observant qu'un minéral dur comme le quartz s'use naturellement beaucoup moins qu'un minéral tendre comme la chaux carbonatée (1).

Substances en petite quantité dans les roches : Thallium.

M. De Kobell (2), qui avait déjà signalé le thallium dans des blendes du Brisgau et de la Westphalie, a constaté, au moyen du spectroscope, la présence du lithium ainsi que du thallium dans des minerais de zinc de Raibel en Carinthie.

Didyme, cérium, lanthane.

Suivant M. Cossa (3) l'analyse spectrale permet de constater l'existence du didyme dans diverses schéelites et dans les apatites.

Lorsque l'analyse spectrale ne révèle plus sa présence, M. Cossa a reconnu qu'en opérant sur de grandes quantités, il est possible d'obtenir par les méthodes ordinaires une petite quantité d'oxalate de didyme ainsi que du cérium et du lanthane. Ainsi, il croit avoir trouvé ces trois métaux dans le marbre de Carrare et dans un calcaire coquillier.

M. Cossa pense, en définitive, que le cérium, le lanthane et le didyme sont à un grand état de diffusion dans la nature et qu'ils existent même jusque dans les os des animaux et dans les cendres des plantes.

Métaux divers.

Dès 1877, M. F. Sandberger (4) a constaté que le péridot, l'hornblende, l'augite et aussi les micas de couleur foncée, qui entrent dans la constitution des roches cristallines des diverses périodes géologiques, contiennent des traces faibles de métaux, en particulier du cuivre, du plomb, du cobalt, du nickel, du bismuth, de l'argent, ainsi que de l'antimoine et de l'arsenic.

Quant à l'étain, il n'avait été indiqué qu'une seule fois, en 1833, par Berzelius, dans un péridot de météorite; mais il a été trouvé par M. Sandberger dans les micas à lithine des granites et de quelques autres roches feldspathiques, en particulier dans les lépidolithes de Paris (État du Maine), de Rozena (Moravie) de Pénig

(1) Delesse. *Lithologie du fond des mers.*
(2) *Sitzungsberichte der K. B. Akademie*, 1878, IV, 552.
(3) Extrait d'une lettre à M. Sella.
(4) *Sitzungsberichte der K. B. Akademie der Wissenchaften zu München*, 1878, 136.

(Saxe) et d'Uto (Suède). Il manque d'ailleurs dans les micas de couleur foncée.

M. F. Sandberger observe que l'existence de l'étain dans les micas n'est pas moins intéressante à signaler au point de vue géologique qu'au point de vue chimique. Il se demande même, si la cassitérite ne proviendrait pas d'une décomposition de ces micas qui lui sont associés? En tous cas, le pseudomorphisme de l'orthose en cassitérite ne peut s'expliquer qu'en admettant une décomposition de l'orthose et une introduction simultanée de l'étain.

Enfin, comme, dans les micas, l'acide stannique peut se substituer à la silice, ainsi qu'on l'a reconnu depuis longtemps pour l'acide titanique, M. Sandberger pense pouvoir prédire qu'on découvrira vraisemblablement un jour de la silice cristallisée dans la forme de ces deux acides, c'est-à-dire dans le système quadratique.

Acide borique.

M. Dieulafait (1) a reconnu que l'acide borique se trouve dans toutes les eaux marines, et ne se concentre que dans les dernières eaux mères des marais salants; après évaporation complète, cet acide borique se dépose à l'état de borate de magnésie, au milieu du chlorure de magnésium et au-dessus de la carnallite. Or c'est dans des conditions identiques que se rencontre l'acide borique à Stassfurt. L'auteur en conclut que ce gisement célèbre, ainsi que tous les gisements analogues, n'a pas une origine volcanique, mais qu'il est exclusivement d'origine sédimentaire.

M. Dieulafait admet même que l'acide borique des terrains sédimentaires provient uniquement de l'évaporation des mers des époques correspondantes.

Selon M. Dieulafait, l'acide borique des suffioni de la Toscane existait à l'état de borate et probablement de borate de magnésie dans une couche tertiaire. Le rôle des phénomènes volcaniques auxquels on attribue la formation de cet acide est purement mécanique et se bornerait à fournir de la chaleur qui volatilise l'eau imprégnant le terrain. Le chlorure de magnésium et l'eau sont en partie décomposés, il se forme de l'acide chlorhydrique et l'acide borique devenant libre est entraîné par la vapeur d'eau.

(1) *Annales de chimie et de physique*, 5e série, XII, 1877.

Étude microscopique des roches.

Inclusions liquides.

M. W.-N. Hartley (1) a étudié la nature des inclusions liquides dans plusieurs minéraux, dans le quartz notamment, en déterminant le *point critique*, c'est-à-dire la température à laquelle disparaît le liquide de l'inclusion. A cet effet, il plonge la préparation dans de l'eau chauffée à des températures connues, puis la porte rapidement sous le microscope. Les inclusions d'acide carbonique se reconnaissent à leur point critique de 31°. Pour certaines inclusions du saphir et de la topaze, le point critique s'abaisse de 2° à 3°; d'après les expériences de M. Andrews, cet abaissement serait dû à un mélange d'acide carbonique et d'un gaz très difficilement condensable, l'azote probablement. Dans le quartz, au contraire, M. Hartley a trouvé que le point critique s'élevait à 34°; il attribue cette élévation à un mélange d'acide carbonique et d'acide chlorhydrique; il n'admet pas comme possible un mélange d'acide carbonique et d'eau, l'eau ayant, à des températures peu élevées, une tension très faible qui n'est pas à comparer avec les grandes tensions de l'acide carbonique.

Étude microscopique des calcaires.

Le fondateur de la lithologie microscopique, M. Henry Clifton Sorby (2), poursuit depuis une trentaine d'années l'étude spéciale de la structure et de l'origine du calcaire appartenant aux divers terrains.

Comme point de départ à cette étude, il a entrepris, ainsi que G. Rose avait commencé à le faire, une très longue série de recherches sur la nature minérale et aussi sur la structure microscopique des coquilles.

On sait que dans les coquilles le carbonate de chaux est tantôt à l'état de calcite et tantôt à l'état d'aragonite. Tandis que la calcite n'a qu'un seul axe optique, l'aragonite en a deux : la calcite a une densité moyenne de 2,72 et l'aragonite de 2,93; en outre l'aragonite est notablement plus dure que la calcite, car elle raie le spath d'Islande suivant la petite diagonale d'une des faces du rhomboèdre.

Il est rare que la structure cristalline des coquilles soit assez

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876, 1215.
(2) *Quat. Journ. Geological Society*, XXXV, 56.

uniforme pour montrer le système d'anneaux colorés dans le polariscope. Cependant certaines variétés de perles donnent le double système caractéristique de l'aragonite, et des baguettes d'oursins, coupées transversalement, montrent bien le système unique caractéristique de la calcite.

M. H. C. Sorby pense que la détermination de la densité fournit la meilleure indication sur la nature minérale d'un organisme calcaire. La présence de la matière organique tend, il est vrai, à diminuer la densité moyenne; mais la densité de la matière organique est à peu près 1,5, et l'on peut en connaître la proportion par un grillage, en ayant soin de traiter ensuite le résidu par du carbonate d'ammoniaque, de manière à carbonater de nouveau le carbonate de chaux, qui aurait pû être décomposé. Il sera donc facile de calculer la densité de la matière calcaire, à l'état sous lequel elle existe dans la coquille.

Lorsque, comme dans les bivalves et les gastéropodes, la coquille est entièrement formée soit de calcite, soit d'aragonite, la dureté permet bien de reconnaître sa constitution minérale; toutefois, dans divers organismes, la calcite se trouve mélangée avec un peu d'aragonite ou avec du phosphate de chaux et alors l'essai de la dureté ne donne pas de renseignements précis sur l'état du carbonate de chaux dans la coquille.

M. Sorby a appliqué la méthode précédente à l'étude des coquilles fournies par les principales familles d'êtres actuellement vivants, qui ont contribué à fournir du carbonate de chaux dans les terrains; et voici les résultats qu'il a obtenus.

Crustacés. — Le têt du crabe contient une forte proportion de matière organique, mais en l'éliminant, on trouve que la densité de la matière terreuse est 2,77; par conséquent il est formé de calcite. C'est d'ailleurs ce que confirme aussi la dureté qui est probablement augmentée par un peu de phosphate de chaux.

Céphalopodes. — La coquille du nautile présente une densité qui, corrigée de la matière organique, s'élève à 2,95; elle consiste en aragonite qui contient en outre un peu de phosphate. La coquille interne de sœpia donne une densité de 2,91, en sorte qu'elle appartient à l'aragonite.

Gastéropodes. — Les gastéropodes ont pour la plupart une densité de 2,90, et sont entièrement formés d'aragonite; cependant dans un certain nombre, comme les patelles, les fuseaux, les littorines, la croûte extérieure, qui, sous le microscope montre une structure anormale, offre une densité de 2,70 et appartient à la calcite.

Bivalves. — Beaucoup de bivalves ont une densité de 2,90 et sont entièrement formés d'aragonite; d'un autre côté, les huîtres, les peignes sont complètement composés de calcite et ne rayent pas le spath d'Islande. Dans certains bivalves, comme les pinna, les mytilus, les spondyles, la couche intérieure consiste en aragonite, d'une densité 2,90, tandis que la couche extérieure, d'une densité 2,70, appartient à la calcite.

Brachiopodes. — Leur coquille ne raie pas le spath d'Islande et sa densité, corrigée, se réduit à 2,70; elle est donc formée de calcite.

Annélides. — Ils sécrètent probablement de la calcite; mais leur têt enveloppe beaucoup de fragments étrangers.

Cirrhipèdes. — Les balanes ont une densité de 2,77, et cependant rayent facilement le spath d'Islande; leur têt doit être formé de calcite durcie par un peu d'aragonite ou de phosphate.

Échinodermes. — A l'exception d'un enduit très mince recouvrant les piquants, leur têt est formé de calcite et ne raie pas le spath d'Islande.

Bryozoaires. — De même que les coquilles de divers mollusques, les bryozoaires calcaires sont composés de calcite et d'aragonite en proportions variables; d'un autre côté, les deux minéraux ne sont pas en couches bien séparées, mais au contraire mélangés l'un avec l'autre d'une manière très intime. Ainsi, l'Eschara a une densité de 2,84 et les deux minéraux sont en proportion à peu près égales; d'un autre côté, le Retepora a une densité de 2,78 et la proportion d'aragonite reste très petite.

Alcyonaires. — Les alcyonaires calcaires sont formés de calcite ayant une densité de 2,75, ce qui indique, aussi bien que leur dureté, qu'ils sont mélangés d'un peu d'aragonite ou de phosphate de chaux.

Hydroïdes. — Leur densité, 2,95, montre qu'ils sont essentiellement composés d'aragonite, probablement avec une petite proportion de phosphate.

Coralliaires. — Les coraux solides ont une densité de 2,94 et doivent être presque entièrement de l'aragonite. Toutefois dans les coraux poreux, il semble qu'il y ait aussi de la calcite.

Foraminifères. — La structure des foraminifères rend la détermination de leur densité difficile; cependant ils sont essentiellement formés de calcite. D'un autre côté, la densité et la dureté indiquent qu'un certain nombre contiennent de l'aragonite et de la chaux phosphatée, soit en mélange intime, soit en couches minces.

Corallines. — La dureté et la densité des corallines (maerl)

prouvent qu'elles sont essentiellement formées de calcite, quoiqu'elles puissent ne pas l'être entièrement.

— Après ces premières recherches, M. H. C. Sorby procède encore à une étude microscopique bien détaillée de la structure présentée par les êtres appartenant aux différentes familles qui viennent d'être passées en revue.

Il observe que les organismes constitués par la calcite se conservent beaucoup mieux que ceux appartenant à l'aragonite, parce que ce dernier minéral offre le carbonate de chaux dans un état d'équilibre instable.

Ensuite passant en revue les calcaires, qui se trouvent dans les divers terrains, M. H. Clifton Sorby constate qu'ils présentent des différences remarquables et véritablement caractéristiques. Ces différences tiennent à la nature des êtres qui vivaient à chaque période géologique, ainsi qu'aux conditions mécaniques et chimiques des eaux dans lesquelles ils se développaient.

Si l'on se borne aux calcaires des Iles Britanniques, voici comment M. Sorby résume les caractères spéciaux que chacun d'eux montre sous le microscope :

Caractères des calcaires des divers terrains, dans les Iles Britanniques.

TERRAIN	
Actuel.	Boue calcaire de l'Atlantique : Foraminifères, Cendres volcaniques, Coccolithes, Organismes siliceux. Dépôt des Bermudes : Corallines, Coraux, Mollusques, Foraminifères.
Tertiaire. . . .	Mollusques d'eau douce avec aragonite ; Chara.
Crétacé.	Craie : Prismes provenant de coquilles, Foraminifères, Coccolithes. Kentish Rag : Échinodermes, Bryozoaires, Calcite et Aragonite, Mollusques, Annelides.
Wealdien. . . .	Mollusques d'eau douce avec aragonite, Entomostracés.
Jurassique. . . .	Dépôts chimiques, Mollusques et Coraux avec aragonite, Brachiopodes, Echinodermes, Prismes provenant de coquilles.
Permien.	Structure originaire détruite par la dolomisation.
Carbonifère. . .	Encrinites, Brachiopodes, Foraminifères, Coraux et Bryozoaires.
Dévonien. . . .	Encrinites, Coraux.
Silurien.	Encrinites, Coraux et Bryozoaires, Brachiopodes, Trilobites.
Métamorphique.	Structure originaire détruite par une recristallisation complète.

Les calcaires *métamorphiques* des Highlands, ont été soumis à une cristallisation postérieure à leur dépôt et ne montrent plus aucune trace d'origine organique. Les impuretés qui s'y trouvaient mélangées ont formé des concrétions ou bien même ont cristallisé en donnant du quartz, du mica, du grenat et d'autres silicates.

Les calcaires *siluriens* des Iles Britanniques sont surtout caractérisés par la présence des trilobites dont les fragments se montrent tellement nombreux qu'ils en constituent une partie importante ; les foraminifères font au contraire à peu près défaut.

L'absence, sinon absolue, du moins relative, des trilobites et des foraminifères est un caractère spécial des calcaires *dévoniens* des Iles Britanniques, tandis que les calcaires *carbonifères* se distinguent par une grande abondance de foraminifères.

Quoique présentant des différences dans les détails, tous ces calcaires paléozoïques sont caractérisés par une grande proportion de fragments d'encrinites et de coraux et par une faible proportion d'organismes à l'état d'aragonite.

Les calcaires *jurassiques* sont surtout caractérisés par l'abondance de mollusques et de coraux avec aragonite et par des grains d'oolithe résultant d'un dépôt chimique.

Dans le *wealdien*, le changement est bien marqué par la présence presque exclusive de fragments d'aragonite provenant de mollusques d'eau douce.

Le Kentish rag ressemble beaucoup plus au calcaire jurassique qu'à la craie.

Quant à la *craie* elle-même, elle diffère des autres dépôts calcaires par la présence de petits prismes provenant de la trituration de coquilles et par des foraminifères, ainsi que par un petit nombre d'autres fragments.

Les calcaires *tertiaires* marins ne sont pas bien développés dans les îles Britanniques.

Quant au calcaire marin *actuel*, tantôt il est à l'état de vase, comme dans l'Atlantique ; tantôt il forme un dépôt consolidé, comme aux îles Bermudes et à Bahama.

Ajoutons que 36 figures, dessinées, avec beaucoup de soin, au microscope par M. Sorby, et même lithographiées par lui, font bien voir les différences qu'offrent entre eux les principaux calcaires des Iles Britanniques, qui viennent d'être énumérés.

Étude microscopique des minéraux des roches.

Les caractères microscopiques des minéraux, qui jouent le rôle le plus important dans la constitution des roches, ont été résumés sous forme de tableaux par le Dr Doelter (1).

(1) *Die Bestimmung der Mineralien durch das Microscop.* (Extrait par MM. Chauveau et Richard.)

Dans ces tableaux, les chiffres romains se trouvant en tête correspondent aux désignations suivantes :

I. Nom du minéral.
II. Couleur du minéral.
III. Forme des sections.
IV. Propriétés optiques les plus importantes.
V. Propriétés caractéristiques du minéral.
VI. Roches dans lesquelles il se rencontre.

ISOTROPES.

Substances amorphes ou appartenant au système cubique

Ne donnent aucune couleur d'interférence, quelle que soit la position de l'analyseur.

I	II	III	IV	V	VI
Substances amorphes.					
Opale. . . .	Brun sale; blanc laiteux; incolore.	. . . . .	. . . . .	Produit d'infiltrations; inclusions fréquentes de quartz, de tridymite, d'hématite.	Trachyte, andésite.
Matière vitreuse.	Brune, jaune, grise incolore.	. . . . .	. . . . .	Unit les divers éléments des roches comme un ciment ou une matière sporadique, ou forme comme des lits sur lesquels ces éléments sont étendus; contient fréquemment des microlites, trichytes, etc.	Dans la plupart des roches éruptives et récentes ou d'âge moyen.
Substances appartenant au système cubique.					
Almandin. . Spessartine. .	Rouge pâle, rouge sang.	Quadratique, hexagonale, triangulaire, octogonale, arrondie.	. . . . .	Fissures irrégulières, inclusions fréquentes d'autres minéraux, souvent enveloppé d'une zone de hornblende.	Éclogite. — Granulite, gneiss, granite. Schistes cristallins et métamorphiques. Andésite.
Pyrope. . . .	Idem.	Arrondie.	. . . . .	Fissures irrégulières, souvent entouré d'une zone de chrysotile,	Serpentine, péridotite.
Mélanite. .	Brun jaune, brun jaune.	Hexagonale, quadratique.	. . . . .	Structure testacée.	Roches à amphigène, néphéline et sanidine; basalte amphigénique.
Haüyne . . Noscane. .	Bleuâtre, verdâtre, rougeâtre.	Quadratique, hexagonale, souvent déchirée.	. . . . .	Beaucoup d'inclusions.	Basalte amphigénique; basalte à néphéline; amphigène et sanidine; phonolite, trachyte.
Sodalite. . .	Jaunâtre, incolore.	Quadratique, hexagonale.	. . . . .	Riche en inclusions; fissures parallèles à μ, contient du chlore.	Comme ci-dessus.
Picotite . . .	Brun sombre. .	Quadratique, arrondie.	. . . . .	Peu translucide.	Péridotite, diallagite, dans le péridot des basaltes, granite, sanidinite.

NOTA. — La sodalite se trouve encore en nodules ou en masses clivables bleuâtres ou incolores dans la syénite zirconienne, la Foyaite, la miascite la ditrofte.

ANISOTROPES A UN AXE OPTIQUE

[Système quadratique, hexagonal ou rhomboédrique].

Il y a des sections qui restent obscures dans toutes les positions (les Nicols croisés) et d'autres qui donnent des couleurs d'interférence en ne s'éteignant que quatre fois quand on fait tourner la préparation d'un tour complet.

I	II	III	IV	V	VI
		MINÉRAUX INCOLORES.			
Les sections qui restent obscures entre les Nicols croisés sont hexagonales (système rhomboédrique ou hexagonal).					
Apatite. . . .	. . . . .	Rectangles allongés, hexagonale.	Absorption énergique. .	Contient de l'acide phosphorique.	Dans presque toutes les roches.
Néphéline. .	. . . . .	Rectangles courts, hexagonale.	Faibles couleurs d'interférence.	Riche en inclusions.	Phonolite, basalte néphélinique, roche à amphigène, néphéline et sanidine.
Quartz. . . .	. . . . .	Hexagonale, rhombique.	Couleurs d'interférence très vives.	Très limpide; dans les roches récentes, contient des inclusions vitreuses; dans les roches anciennes, des inclusions liquides.	Granite, porphyre, trachyte, andésite.
Tridymite. .	. . . . .	Hexagonale, arrondie? .	D'après Lasaulx, action sur la lumière polarisée du système triclinique.	Aggrégats imbriqués caractéristiques.	Trachyte, andésite.
Les sections qui restent obscures entre les Nicols croisés sont quadratiques ou octogonales (système quadratique).					
Amphigène .	. . . . .	Octogonale, souvent arrondie.	Très faibles couleurs d'interférence.	Présente souvent des mâcles multiples, nombreuses inclusions (inclusions vitreuses et microlites) disposées en zones.	Basalte et trachyte amphigéniques, roches à amphigène, néphéline et sanidine.
Meïonite. . .	. . . . .	Allongée, rectangulaire, quadratique.	. . . . .	Fissures parallèles, presque pas d'inclusions.	Trachyte.
Cousérannite.	. . . . .	Octogonale, quadratique, rectangulaire.	Vives couleurs d'interférence.	Nombreuses inclusions de matières charbonneuses qui donnent à la masse une couleur	Schistes et calcaires métamorphiques.

Les sections qui restent obscures entre les Nicols croisés sont arrondies ou de forme quelconque.					
Calcite. . . .	. . . . .	Arrondie.	Double réfraction énergique.	Mâcles multiples, stries fines déterminées par les clivages; dans quelques cas ne peut se reconnaître que par l'acide chlorhydrique.	Comme produit secondaire dans beaucoup de roches massives ou schisteuses.
Néphéline. .	. . . . .	Irrégulière.	Faibles couleurs d'interférence.	Riche en microlites d'hornblende.	Syénite zirconienne, miascite, ditroïte, foyaïte.
		MINÉRAUX COLORÉS.			
		Dichroïques.			
Biotite. . . .	Brune, jaune, verte.	Hexagonale, irrégulière, en bandelettes allongées.	Les premières sections ne présentent aucun dichroïsme; les secondes le sont très énergiquement.	Les bandelettes présentent des stries parallèles, très fines.	Dans un grand nombre de roches eruptives et de schistes cristallins.
Chlorite. . .	Verte.	Arrondie, irrégulière. . .	Faible dichroïsme, couleurs d'interférence faibles.	Le plus souvent en aggrégats fibreux ou écailleux.	Schistes cristallins, diabase, porphyre, mélaphyre.
Tourmaline.	Noire, verte, brune.	Polygonale allongée. . .	Les secondes sections offrent un dichroïsme bien marqué et une forte absorption.	Pas d'inclusions.	Granite, schistes chloriteux, tourmalinite, schistes tourmalinifères.
Zircon. . . .	Brune.	Arrondie, quadratique. .	Dichroïsme faible. . . .	Comme ci-dessus.	Syénite zirconienne, syénite, miascite, gneiss, éklogite, basalte.
		Non dichroïques.			
Mélilite . . .	Jaune vineux, jaune brun.	Quadratique, rectangulaire, arrondie, irrégulière.	Vives couleurs d'interférence.	Montre le plus souvent un système de stries parallèles.	Basalte amphigénique, basalte à néphéline.
Oligiste . . .	Rouge cochenille, rouge jaune.	Hexagonale, arrondie. .	. . . . .	. . . . .	Porphyre quartzifère, trachyte, andésite.

MINÉRAUX A DEUX AXES OPTIQUES.

Toutes les sections donnent des couleurs d'interférence entre les Nicols croisés et ne deviennent obscures que quatre fois pour un tour complet de la préparation.

I	II	III	IV	V	VI
MINÉRAUX INCOLORES.					
Les sections montrent des mâcles multiples.					
Anorthose. .	. . . . .	Hexagonale allongée, rectangulaire, en bandelettes étroites, arrondie, irrégulière.	Vives couleurs d'interférence.	Souvent accompagné de sanidine. Nombreuses inclusions fréquemment disposées en zones.	Dans la plupart des roches éruptives; dans beaucoup de schistes cristallins et métamorphiques.
Les sections ne présentent pas de mâcles multiples.					
Orthose vitreux.	. . . . .	Comme ci-dessus.	Vives couleurs d'interférence.	Souvent un peu trouble; nombreuses inclusions; mâcles fréquentes.	Dans les schistes et les roches éruptives les plus anciennes.
Sanidine. . .	. . . . .	Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus.	Très limpide: nombreuses inclusions vitreuses disposées en zones; mâcles fréquentes.	Dans les roches éruptives les plus récentes.
Andalousite.	. . . . .	Rhombique, rectangulaire, quadratique. Aggrégats.	Forte absorption. Vives couleurs d'interférence.	Les aggrégats sont souvent fibreux, très peu d'inclusions.	Schistes cristallins et métamorphiques.
Cordiérite. .	. . . . .	Rectangulaire, arrondie.	Absorption très énergique.	Le plus souvent trouble et altérée. Riche en inclusions.	Granite, gneiss, diorite, trachyte, andésite, calschistes.
Disthène. . .	. . . . .	Bandelettes allongées, rhombique arrondie.	Couleurs d'interférence assez vives.	Deux systèmes de lignes de clivage obliques l'un sur l'autre. Peu d'inclusions.	Gneiss, schistes cristallins, granulite, granite.
MINÉRAUX COLORÉS.					
Polychroïsme et absorption énergiques.					
Épidote . . .	Vert jaunâtre. .	Allongée, irrégulière. . .	. . . . .	Inclusions rares; montre çà et là des stries parallèles.	Épidotite, comme élément accessoire dans un grand nombre de schistes et de roches éruptives.
Polychroïsme et absorption faibles.					
Muscovite. .	Verdâtre, jaune pâle.	Hexagonale, irrégulière, allongée, bandelettes.	Vives couleurs d'interférence.	Peu d'inclusions; les sections allongées sont finement striées.	Dans les anciennes roches éruptives; et dans les schistes anciens.
Staurotide. .	Jaune, brune. .	Hexagonale, rhombique, rectangulaire, bandelettes.	Polychroïsme faible. . .	Mâcles fréquentes; riches en inclusions, notamment de quartz; stries parallèles.	Schistes cristallins et métamorphiques.
Hypersthène	Rouge, brun-rouge.	Allongée et irrégulière. .	Absorption très faible. .	Eclat chatoyant sur la face de clivage le plus facile; inclusions de magnétite.	Hypersthénite, Gabbro, andésite.
Andalousite.	Rouge, verte. .	Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus.
Disthène. . .	Bleue.	Comme ci-dessus.	Couleur bleue, inégalement répandue.	Comme ci-dessus.	Comme ci-dessus.
Actinote. . .	Verte, vert pâle.	Comme ci-dessus.	Faible absorption.	Inclusions rares; les stries parallèles de l'hornblende sont rares.	Schistes cristallins.
Ouralite. . .	Verte.	Irrégulière.	. . . . .	Fibreuse à fibres parallèles, renferme souvent un noyau d'augite.	Porphyre à Ouralite; mélaphyre; diorite.
Sphène. . . .	Jaune rougeâtre, brun-rouge.	Rhombes allongés, hexagonale, octogonale.	. . . . .	Mâcles fréquentes; inclusions rares.	Schistes cristallins, granite, gneiss, syénite, diorite, phonolite.
Non polychroïques.					
Péridot. . . .	Jaune pâle, vert pâle, verte.	Hexagonale, octogonale, arrondie, irrégulière.	. . . . .	Surface chagrinée très caractéristique. Fissures irrégulières, nombreuses inclusions, produits d'altération sur son contour on dans ses fissures.	Péridolite, Gabbro, mélaphyre, basalte.
Talc	Vert pâle.	Aggrégats écailleux. . .	. . . . .	Fibreux, radié.	Protogine, schistes talqueux.
Augite	Jaune pâle, vert pâle, jaune vineux.	Octogonale, hexagonale, rhombique, irrégulière.	. . . . .	Mâcles fréquentes; fentes irrégulières; nombreuses inclusions (microlitiques, vitreuses); inclusions de magnétite.	Dans la plupart des roches éruptives, surtout dans les roches basiques.
Diallage . . .	Vert pâle, jaune pâle.	Bandelettes allongées, irrégulières.	. . . . .	Stries fines parallèles; riche en inclusions; rarement mâclé.	Gabbro, Serpentine, mélaphyre, andésite.

AGGRÉGATS HOMOGÈNES.

I	II	III	IV	V	VI
Delessite. . .	Verte.	. . . . .	Transparente.	Produit d'altération, radiée. . . .	Mélaphyre.
Sericite. . .	Grise, verdâtre.	. . . . .	Faible polychroïsme. . .	Écailles libreuses.	Schiste à séricite.
Serpentine .	Verdâtre - brun - jaune.	. . . . .	Couleurs d'interférence.	Structure à mailles caractéristiques ; dans les mailles se trouve souvent du péridot.	Serpentine.
Kaolin. . .	Blanche	. . . . .	En partie isotrope, en partie anisotrope.	Aggrégat feuilleté ; assez mal caractérisé sous le microscope.	Produits de décomposition du feldspath.
Minéraux opaques.					
Les sections du minéral ont un contour géométrique.					
Chromite . .	. . . . .	Quadratique.	Souvent petits cristaux alignés. .	Facilement soluble dans l'acide chlorhydrique.	Serpentine.
Oligiste . . .	. . . . .	Hexagonale.	Facilement soluble dans l'acide chlorhydrique.	Difficilement soluble dans l'acide chlorhydrique.	Granite ; gneiss ; porphyrite.
Fer titané. .	. . . . .	Comme ci-dessus. . . .	. . . . .	Comme ci-dessus.	Gabbro, palatinite, tachylite.
Pyrite. . . .	. . . . .	Quadratique.	. . . . .	. . . . .	Dans un grand nombre de schistes et de roches éruptives.
Magnétite . .	. . . . .	Comme ci-dessus. . . .	. . . . .	Souvent en traînées ; mâcles fréquentes ; à la lumière réfléchie éclat métallique bleuâtre ; facilement soluble dans l'acide chlorhydrique.	Abondant surtout dans les roches éruptives.
Le minéral se présente en lamelles ou en écailles.					
Graphite. . .	. . . . .	Arrondie, irrégulière. . .	. . . . .	Souvent disséminé en poussière fine dans les minéraux auxquels il donne une couleur brune ou bleuâtre, insoluble dans les acides.	Gneiss ; schistes cristallins et calcaires métamorphiques.
Le minéral se présente en granules.					
Magnétite et fer oligiste, facilement solubles dans l'acide chlorhydrique. Les autres sont difficilement solubles. Les premiers ne paraissent en grains. Le fer chromé se reconnaît par la présence du chrome ; le graphite par son aspect feuilleté écailleux.					

CLASSIFICATION DES ROCHES.

M. Rosenbusch (1) a publié une classification des roches dans laquelle il a tenu compte des découvertes que l'emploi du microscope a permis de réaliser dans les études pétrographiques.

L'auteur se base tout d'abord sur le mode de formation, et, suivant les idées autrefois émises par Élie de Beaumont, il partage les roches en deux grandes classes : les roches filoniennes, éruptives ou massives, et les roches sédimentaires. Il laisse de côté les secondes pour s'occuper uniquement des premières.

Les roches massives sont divisées en deux catégories, d'après leur âge : les roches dites anciennes, qui s'arrêtent à l'époque tertiaire, et les roches modernes ou tertiaires. Suivant M. Rosenbusch, dans l'une et l'autre de ces séries, les roches deviennent de moins en moins acides à mesure qu'elles avancent en âge : nos roches actuelles correspondraient à peu près, dans la série moderne, à celles de la période permienne.

Les roches anciennes sont, en général, plus acides que les roches modernes correspondantes; elles sont plus cristallines; mais, par contre, ces dernières présentent habituellement les phénomènes de fluidalité d'une façon beaucoup plus marquée. Certains types anciens manquent absolument dans la série moderne : c'est ainsi que les granites se trouvent actuellement remplacés par les granulites; la néphéline, très rare autrefois, est aujourd'hui fréquente dans les phonolites, dans les néphélinites et dans certains basaltes; il en est de même de l'amphigène.

Relativement au caractère de l'âge sur lequel se base M. Rosenbusch, il convient de remarquer que ce savant admet une récurrence régulière des mêmes types de roches, à peu près à chaque époque géologique, tant au point de vue des roches acides qu'à celui des roches basiques.

Le second caractère sur lequel s'appuie M. Rosenbusch est celui de la composition minéralogique; l'auteur s'en sert pour tout le reste de sa classification, n'admettant qu'en dernier lieu des sous-divisions basées sur la structure intime, granitoïde, porphyroïde et vitreuse, et même certains autres caractères secondaires, tels que la présence ou l'absence du quartz, de l'olivine, etc.

Observons enfin que M. le professeur Rosenbusch est parti-

(1) *Mikroskopische Physiographie der petrographisch wicthtigen Mineralien. Ein Hülfs buch bei mikrokopischen Gesteinstudien.* (Extrait par M. Julien Thoulet.)

san de l'existence du feldspath triclinique ou anorthose, à l'état d'espèce unique, constitué par un mélange en proportions quelconques d'albite 1:3:12 et d'anorthite 1:3:4.

Chacun des deux grands groupes de roches anciennes et modernes comprend les divisions suivantes :

R. à feldspath monoclinique.	contenant orthose.
	— orthose et néphéline.
R. à feldspath triclinique.	contenant anorthose et mica.
	— anorthose et hornblende,
	— anorthose et augite.
	— anorthose et diallage.
	— anorthose et néphéline ou amphigène.
R. à néphéline.	»
R. à amphigène.	»
R. à péridot ou péridotites.	contenant péridot et augite.
	— péridot et diallage.
	— péridot et enstatite.
	— péridot, diallage et enstatite.

— D'un autre côté, dans un important travail sur les roches, M. J.-D. Dana discute la valeur relative des caractères auxquels on a recours pour établir leur classification; et les conclusions auxquelles il arrive diffèrent beaucoup des précédentes.

L'étude de la géologie, dit M. Dana, impose l'obligation de diviser les roches en *espèces;* mais ces *espèces* doivent surtout être basées sur la différence qu'elles présentent dans leur constitution chimique et minéralogique. Lorsque cette différence existe, la géologie exige que les roches soient considérées comme des *espèces* spéciales et qu'elles reçoivent par suite des noms distincts. Lorsqu'au contraire cela n'a pas lieu, les roches sont de simples *variétés.*

Cependant, lorsque des roches de même composition chimique et minéralogique, comme le trachyte et le felsite, conservent des caractères persistants sur de grandes étendues, des noms distincts doivent encore leur être attribués par le géologue.

D'après les considérations qui précèdent, des différences dans la texture ne pourront servir de base aux *espèces;* toutefois, elles seront utilisées pour établir des *variétés.* La texture peut d'ailleurs être grossière, ou fine, ou aphanitique; porphyrique ou non porphyrique; pierreuse, ou bien, au contraire, montrant des portions non individualisées au milieu de grains pierreux; elle présente aussi des inclusions microscopiques. En somme, M. Dana n'accorde pas plus d'importance à la texture, lorsqu'elle est porphyrique, que lorsqu'elle est grossière ou finement grenue.

Il pense aussi qu'il n'existe pas de changements marqués dans la constitution des produits rejetés du sein de la terre vers le commencement de la période tertiaire; en conséquence, il ne divise pas, dans les roches éruptives, celles qui sont anciennes et celles qui sont récentes. Leur composition chimique est la même et leurs principaux minéraux constituants sont aussi les mêmes; leurs différences portent seulement sur la texture et sur des points de faible importance; elles ne peuvent servir qu'à établir des variétés, et elles tiennent surtout à la prédominance des éruptions subaériennes pendant la dernière période géologique.

Observant que le mot *plagioclase* ou *anorthose* comprend des minéraux de composition très différente, et non seulement des feldspaths à base de soude, mais aussi des feldspaths à base de potasse, comme le microcline, M. Dana pense que, pour tous ces minéraux, aussi bien que pour l'orthose, il est préférable d'employer le terme général de *feldspath.*

Des roches peuvent différer minéralogiquement et non chimiquement; c'est le cas pour celles qui sont à base d'hornblende et d'augite, ces minéraux étant dimorphes. Toutefois, leur séparation géologique est bien nette sur une grande étendue, et, par conséquent, on se trouve réellement en présence de roches qui sont parfaitement distinctes.

Le quartz étant le plus commun, et par suite le moins caractéristique des minéraux des roches, M. Dana pense qu'il est juste de lui accorder seulement une importance secondaire pour distinguer les roches. Ainsi, les noms *diorite-quartzifère, trachyte-quartzifère* et même *syénite-quartzifère* ne lui paraissent pas acceptables.

M. Dana fait encore observer que, dans les études de lithologie, l'emploi du microscope a besoin du secours de l'analyse chimique. De plus, les études dans le laboratoire doivent surtout être complétées par des recherches géologiques entreprises sur le terrain; car ces dernières permettent de suivre les passages successifs des roches, et elles montrent bien leurs relations mutuelles.

Laissant de côté les roches calcaires et quartzeuses, M. Dana s'est plus spécialement occupé de la classification des roches silicatées.

L'amphigène étant un silicate d'alumine et de potasse, comme l'orthose et le microcline, il est naturel de réunir les roches qui en sont formées dans le même groupe que celles ayant pour base des feldspaths potassiques; tandis que la néphéline, la sodalite, la saussurite étant essentiellement des espèces sodiques, il convient

de les associer avec les feldspaths sodiques, comprenant depuis l'anorthite jusqu'à l'albite. A l'appui de ce rapprochement, il faut remarquer d'ailleurs que les rapports d'oxygène entre les alcalis, l'alumine et la silice, sont 1:3:8 pour l'amphigène aussi bien que pour l'andésite; 1:3:4 pour la néphéline et la sodalite, comme pour l'anorthite. Dans cette manière de voir, le terme *feldspath potassique* comprend l'orthose, le microcline et l'amphigène; tandis que la désignation *feldspath sodico-calcique* réunit l'anorthose, depuis l'anorthite jusqu'à l'albite, ainsi que la néphéline, la sodalite et les saussurites.

En définitive, M. J.-D. Dana groupe les roches en séries, comme nous le montre le tableau suivant :

I. *Séries à feldspath potassique avec mica :* Granite, Granulite, Gneiss, Protogine, Micaschiste, etc.; Felsite, Trachyte, etc.; Amphigénite du Wyoming.

II. *Séries à feldspath sodico-calcique avec mica :* Kersantite, Kinzigite; espèces contenant de la néphéline, comme Miascite, Ditroïte, Phonolithe, etc. (Ces espèces néphéliniques appartiennent aussi bien aux séries précédentes).

III. *Séries à feldspath potassique avec hornblende :* Syénite, Syénite quartzifère, Syénite gneissique, Schiste hornblendé, Amphibolite, Unakyte qui renferme de l'épidote remplaçant de l'hornblende; espèces néphéliniques, comme Syénite zirconienne, Foyaïte.

IV. *Séries à feldspath sodico-calcique avec hornblende :* Diorite, Propylite, Andésite, Diorite labradorique (Labradiorite), etc., Euphotide et Roche à Saussurite.

V. *Séries à feldspath potassique avec pyroxène :* Amphigénite.

VI. *Séries à feldspath sodico-calcique avec pyroxène :* Andésite augitée, Norite (Hypersthénite et gabbro en partie), Hypersthénite, Dolérite (comprenant Basalte et Diabase), Néphélinite, etc.

VII. *Roches à pyroxène, grenat, épidote et chrysolite, ne contenant que peu ou point de feldspath :* Pyroxénite, Lherzolite, grenatite, Éclogite, Épidotite, Chrysolite ou Dunite, etc.

VIII. *Roches hydratées magnésiennes et alumineuses, ne contenant que peu ou point de feldspath :* Schiste chlorité, schiste talqueux, Serpentine, Ophiolite, Schiste à pyrophyllite, etc.

ROCHES.

Passons maintenant à la description détaillée des différentes espèces de roches en insistant particulièrement sur leur composition minéralogique et chimique, sur leur structure microscopique, ainsi que sur leur gisement.

Roches carbonées.

Gaz carbonés.

CHATILLON. — A Châtillon (Haute-Savoie) et dans les environs, le sol laisse dégager en beaucoup d'endroits, de l'hydrogène carboné, que plusieurs habitants utilisent même pour l'éclairage. Il suffit souvent de percer un simple trou de 1 mètre de profondeur pour obtenir un gaz très abondant, brûlant pendant 5 heures, avec une flamme de 2 à 3 mètres de haut.

Un sondage de 10 mètres, exécuté à Prèle, a donné un dégagement violent de gaz qui a brûlé pendant 15 jours. Au moment où l'on débouchait le trou de sonde, on entendait un bruit sourd, suivi bientôt d'un dégagement du gaz.

On a constaté aussi à l'est de Châtillon, la présence de pétrole dans le fond d'un puits mesurant 30 mètres de profondeur.

Voici, d'après M. Lheureux, la composition du gaz de Châtillon :

C^2H^4	C^4H^4	CO^2	O	H, Az, CO	HS	Somme.
83,00	4,00	4,00	4,00	3,00	traces.	100,00

M. Mermillod (1) a reconnu dans une expérience, que ce gaz avait à sa sortie, une température inférieure de 3° à celle de l'air ambiant; s'il vient d'une grande profondeur, il s'est donc emmagasiné près de la surface. Il n'est pas impossible qu'il résulte du métamorphisme des couches de houille de la Savoie, qui ont été changées en anthracite; toutefois il se serait accumulé dans des terrains supérieurs au terrain houiller, notamment dans le trias.

Ce gaz de Châtillon nuit à la culture des terres dans les parties où il s'échappe spontanément du sol; en revanche, il pourrait

(1) Lettre à M. Delesse, du 25 août 1878.

être utilisé, non-seulement pour l'éclairage, mais encore comme moteur pour les machines Lenoir et même pour le chauffage.

On sait que les dégagements de gaz combustibles sont souvent utilisés en Chine et dans l'Amérique du Nord où ils se produisent sur une très grande échelle.

Harvey. — Différents gaz carbonés de Pensylvanie ont été analysés par MM. S. Lawrence Smith (1) et S. P. Salder qui donnent la composition suivante pour l'un de ces gaz provenant de Harvey.

Gaz des marais.	Gaz oléfiant.	H	CO^2	Somme.
80,11	5,72	13,50	0,66	99,99

Gaz fournis par les combustibles.

M. Thomas (2) a déterminé la composition des gaz qui sont retirés des diverses espèces de combustibles, lorsqu'on les soumet à l'influence combinée du vide et d'une température de 100° :

A, A', A'' Houille bitumineuse. | B Houille semi-bitumineuse.
C, C', C'' Houille de chaudière. | D, D' Anthracite.

	NOMBRE de centimètres cubes dégagés à 100° dans le vide par 100 gram.	GAZ des marais.	Az	O	CO^2
A	61,2	0,40	80,11	2,72	16,77
A'	55,1	63,76	29,75	1,05	5,44
A''	21,0	2,68	69,07	6,09	22,16
B	73,6	72,51	14,51	0,64	12,34
C	194,8	87,30	7,33	0,33	5,04
C'	147,4	67,47	12,61	1,02	18,90
C''	149,3	73,47	14,62	0,56	11,35
D	555,5	93,13	4,25	—	2,62
D'	600,6	84,18	1,10	—	14,72

Il importe d'observer qu'il n'existe aucune relation directe entre la composition chimique de ces gaz et celle des soufflards ou des gaz que dégagent spontanément les gîtes de ces combustibles.

En outre, pour une même espèce de combustible, la composition du gaz retiré varie dans des limites très étendues. Toutefois, la proportion totale de ce gaz, et notamment celle du gaz des marais, est d'autant plus grande que les combustibles perdent moins

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1876, 1293.
(2) Rapport de M. Haton de la Goupillière à la commission d'études sur les moyens propres à provenir les explosions de grisou. — *Journal of the chemical Society*, XIII.

de matières volatiles par la calcination. En particulier, c'est l'anthracite qui a donné le *maximum* de gaz des marais, et aussi le *minimum* d'oxygène.

D'un autre côté, la proportion d'azote paraît augmenter avec les matières volatiles des combustibles.

Pétrole.

Amérique du Nord. — M. H. Höfer (1) a résumé les connaissances relatives au gisement du pétrole dans l'Amérique du Nord. Tous les gîtes de pétrole appartiendraient exclusivement à la partie inférieure du groupe paléozoïque et spécialement au silurien et au dévonien. Les plus profonds se rencontrent dans l'étage de Trenton (île Manitouline, Canada) ; les gîtes de Gaspé sont compris dans le Lower Helderberg et l'Oriskany. Le calcaire cornifère du dévonien renferme le gîte d'Enniskillen (Canada), le plus profond des gisements de pétrole utilement exploitables; puis viennent, dans l'étage d'Hamilton, les schistes noirs de Genesee, avec 15 p. 100 de bitume, qui sont le réservoir principal des *sources de gaz* de la Pensylvanie du Nord et de l'Ohio, mais ne contiennent pas de pétrole en quantités appréciables.

C'est dans l'étage de Chemung que s'exploitent aujourd'hui les principales sources d'huile minérale de la Pensylvanie.

Tantôt l'huile paraît liée à certains horizons géologiques (Pensylvanie, Canada) ; tantôt elle occupe des fentes (Ohio, Virginie).

Dans le premier cas, on la rencontre toujours dans des roches poreuses, conglomérats, grès grossiers, calcaires caverneux.

Dans le Canada, l'Ohio, la Virginie occidentale, il n'est pas douteux que le pétrole ne se soit accumulé surtout sous les plis anticlinaux ; en outre, les plis doucement ondulés donnent de l'huile en quantité considérable, tandis qu'on en trouve peu dans ceux qui sont trop brusques.

En général, d'après M. Höfer, le gisement du pétrole en Amérique rappelle les filons couches et l'huile a dû venir après coup, aussi bien dans les fentes que dans les sables pétrolifères. Quant à son origine première, l'auteur paraît disposé à accepter la manière de voir de ceux qui font dériver le pétrole de la distillation des restes animaux contenus dans des couches plus profondes, hypothèse qui, dans ce cas, nous semble peu probable.

(1) Bericht der Œster. Commission in Philadelphia. — *Neues Jahrb.*, 1878, 87.

Bitume.

Des bitumes, susceptibles d'être utilisés pour les constructions, ont été essayés au laboratoire de l'École des mines :

A Bitume intercalé entre les couches de lignite de l'île Suderoë (Feroë).
B Bitume intercalé entre les couches de lignite de l'île de la Trinité.

	Matières volatiles.	Carbone fixe.	Cendres.	Somme.
A	49,80	49.60	0,60	100,00
B	77,00	14,00	9,00	100,00

Dysodil.

ROTT. — M. A. H. Church (1) a analysé la matière organique du dysodil de Rott, près Bonn.

C	H	S	Az	O	Somme.
69,01	10,04	2,35	1,70	16,90	100,00

Combustibles.

Parmi les combustibles analysés, sous la direction de M. Carnot, au bureau d'essais de l'École des mines, mentionnons :

A Lignite brun de Symerols (Dordogne).
B Lignite de l'île Suderoé (Danemark).
C Lignite passant à la houille, de l'île de la Trinité.
D Houille prise à 10 mètres de profondeur dans la mine de Martha (détroit de Magellan).

	Matières volatiles.	Carbone fixe.	Cendres.	Somme.
A	53,00	36,60	10,40	100,00
B	46,10	32,10	21,80	100,00
C	52,00	46,60	1,40	100,00
D	35,00	62,00	3,00	100,00

SAVOIE. — Divers combustibles de la Savoie ont été essayés par M. Lheureux, et d'après M. Léon Lévy, nous donnons ici quelques indications sur leurs gisements :

A est un lignite de Crempigny (Haute-Savoie), qui est en couche de $0^m,30$ à $0^m,40$, et qui se trouve dans la mollasse d'eau douce.

B est une couche de lignite exploitée à Entrevernes, près du lac d'Annecy. Elle est intercalée dans les marnes nummulitiques et son épaisseur moyenne est de $0^m,80$. Les épontes de la couche de combustible sont très riches en fossiles d'eau douce (mélanies, lymnées, cythérées).

C est une couche de charbon appartenant au terrain kimméridgien de Daubon (Haute-Savoie). D'après M. de Mortillet, sur 1 mètre d'épaisseur, elle donne seulement $0^m,18$ de charbon de bonne qualité.

D est une houille du terrain carbonifère de Taninges (Haute-Savoie). Elle présente seulement deux couches, l'une de $0^m,40$, l'autre de $0^m,80$ près des affleurements. Jusqu'à présent, on a fait seulement un petit nombre de recherches sur ce gite.

E est une anthracite de la Tarentaise ; elle appartient au bassin anthracifère de cette région qui est le prolongement du bassin de la Maurienne.

F est une anthracite de la Maurienne ; elle forme plusieurs couches dont les plus importantes sont exploitées à Saint-Michel, dans la vallée de l'Arc.

	A	B	C	D	E	F
Carbone fixe	32.50	42.00	54.30	49.30	75.40	73.50
Cendres	23.00	21.00	8.00	15.70	19.00	20.50
Matières volatiles	44.50	37.00	37.70	35.00	5.60	6.00
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Plomb avec litharge	18.95	21.00	24.70	19.30	27.30	26.40
Carbone equivalent	55.70	»	72.64	»	80.20	77.60
Capacité calorifique	»	4827	5677	4436	6272	6067

PERRECY-LES-FORGES. — D'après M. l'ingénieur Delafond (1), la Société charbonnière du Centre a rencontré dans un puits de recherche exécuté à Perrecy-les-Forges (Saône-et-Loire), pour atteindre le terrain houiller, une couche de houille qui est intercalée dans le terrain permien. Cette dernière formation est bien caractérisée par la présence de schistes rouges et de grès avec schistes légèrement calcaires ; et la houille permienne rencontrée parait former un gîte assez important.

CALABRES. — Le laboratoire de l'Institut technique de Reggio a fait l'analyse du lignite de Melito, dans les Calabres (2).

Densité.	Carbone.	Matières volatiles.	Cendres.	Somme.	Calories.
1,20	46,69	50,50	2.81	100.00	6098

Ce combustible, qui appartient à l'époque miocène, présente des caractères assez remarquables ; car les matières bitumineuses entrent environ pour moitié dans sa composition. C'est une sorte de *jayet* qui est brillant, dur et brûle facilement.

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1876, 1273.

(1) Lettre à M. Delesse, 24 février 1879.
(2) *Comitato geologico d'Italia. Boll.* 1877 ; 277. (Extrait par M. de Cossigny.)

ABRUZZES. — M. de Giorgi (1) a reconnu que les calcaires turoniens à hippurites constituent, presque à eux seuls, la chaîne qui, sous le nom de *Gran-Sasso*, se détache de l'Apennin au nord d'Aquila dans les Abruzzes, et c'est à ce terrain qu'appartiennent les lignites ainsi que les schistes calcaires bitumineux de Monte-Sferruccio.

L'ensemble des couches qui constituent les gisements n'a pas moins de 800 mètres de puissance. Certaines strates sont formées d'un véritable lignite dans lequel le microscope permet de distinguer les cellules végétales, et qui rend à la distillation, jusqu'à 66 p. 100 d'hydrocarbures liquides. Les lits de lignite ne constituent qu'un vingtième environ de l'épaisseur totale des assises entre lesquelles ils sont compris; le reste consiste en calcaires, plus ou moins argileux et schisteux, imprégnés de matières bitumineuses. Beaucoup de ces schistes sont assez riches pour être exploitables et peuvent être utilisés, soit pour la distillation, soit directement comme combustibles.

COLOMBIE BRITANNIQUE. — M. G. Dawson (2) a donné la composition de combustibles appartenant à divers terrains de la Colombie Britannique:

A Charbon bitumineux de la vallée Nicolas; il est de bonne qualité et appartient au terrain tertiaire.

B Lignite tertiaire du territoire Washington. Il est d'aussi bonne qualité que celui des plaines à l'ouest des montagnes Rocheuses.

C et D Charbons du terrain crétacé de l'île Vancouver; le second seul se transforme à peu près en coke par la calcination.

E Anthracite se trouvant à la base du crétacé dans l'île de la Reine-Charlotte; elle est comparable pour la qualité à l'anthracite du terrain houiller de Pennsylvanie.

	A	B	C	D	E
Eau	36,07	11.60	1.47	1.47	1.89
Matières volatiles		35.49	32.69	28.19	4.77
Carbone	61.29	45.97	59.55	64.05	85.76
Soufre	»	»	»	»	0.89
Cendres	2.64	6.44	6.29	6.29	6.69
	100.00	99,50	100.00	100.00	100.00

On voit que ces combustibles sont pour la plupart beaucoup plus riches en carbone que cela n'a lieu généralement dans les terrains crétacés ou tertiaires. En particulier, il est assez remarquable de trouver un combustible du terrain crétacé à l'état d'anthracite.

(1) *Bull. del R. Comit. Geolog. d'Italia*, 1872; 272. (Extrait par M. de Cossigny.)
(2) *General Note of the Mines and Minerals of British Columbia*; 18, 22, 23, 25.

Graphite.

SIBÉRIE. — M. S. Kern (1) a analysé deux échantillons du graphite provenant de la mine Stepanowsky en Sibérie:

C	SiO^2	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO, MgO	Matières volatiles.	S	Somme.
36,06	37.72	4,02	17,80	1,20	3,20	traces	100,00
33,20	43,20	3,05	15,42	1,06	4,03	0,04	100,00

Terres végétales.

MONT SAINT-MICHEL. — M. Roussille (2) a déterminé la composition de la terre du polder des Quatre-Salines dans la baie du Mont Saint-Michel.

Résidu inattaquable.	CO^2	PhO^5	SO^3	Cl	CaO	MgO	Al^2O^3	Fe^2O^3	KO	NaO	Az	Matière organique.
52,130	17,797	0,051	0,024	0,003	22,881	0,304	0,930	2,010	0,145	0,220	0,079	2,760

La terre végétale de ce polder est de qualité supérieure, lorsqu'elle a été dessalée, et celle dont l'analyse vient d'être donnée avait déjà porté 25 récoltes sans recevoir aucun engrais.

AUBE. — Voici encore la composition de plusieurs terres végétales provenant de gisements connus; elles ont été recueillies par M. de Cossigny dans le département de l'Aube, et analysées par M. L. Durand Claye:

A Terre prise sur la pente d'une colline crayeuse, entre Crouzy et Vailly. Le sol est une alluvion crayeuse maigre; le fond appartient à la craie sénonienne inférieure.

B Terre prise vers le sommet d'une colline crayeuse située entre Assencières et Vailly. Le sol, qui appartient aux alluvions crayeuses, est très maigre et plus propre aux plantations de pins qu'à la culture.

C Terre peu fertile de Villechétif, superposée à la craie cénomanienne.

D Terre des environs de Pincy, qui est située sur l'argile du gault.

E Terre d'une lande inculte, dont le sol appartient au terrain aptien.

F Terre d'un champ dépendant de la ferme de Maison-Rouge et reposant sur le portlandien.

G Terre de Merrey dont le sol appartient au kimméridgien.

H Terre exploitée près de Landreville pour le terrage des vignes; elle repose sur le terrain jurassique.

(1) *Jahresbericht für Chemie, für* 1875; 1193.
(2) P.-P. Dehérain, *Annales agronomiques*; III, 431.

	1° PRODUITS VOLATILS ou combustibles.			2° CENDRES.							
	HO	Az	Autres produits	Résidu insoluble dans les acides.	Al^2O^3 et Fe^2O^3.	CaO	MgO	KO	PhO^5	CO^2 et produits non dosés.	Somme.
A	0,75	0,12	2,70	5,88	1,79	50,24	0.48	0.02	0,13	37,89	100,00
B	0,50	0,10	2,73	5,12	1,37	51,91	0.39	0,02	0.18	37,68	100,00
C	2,00	0,21	5.06	5,19	1,49	49,61	0,28	0,03	0,09	36,04	100,00
D	3.50	0.14	4,29	6,08	1,75	49.07	0,28	0.03	0,09	34.77	100.00
E	1,85	0,11	3,84	36 36	8.88	32.12	0.28	0.02	0.16	16,38	100,00
F	2,70	0,14	6,06	47,10	7,98	23,05	0.36	0.03	0,12	12.46	100,00
G	2,40	0,11	6,79	28,75	7.69	31.56	0,81	0,06	0,11	21,72	100,00
H	4,90	0,17	8,23	60,26	13,54	5,90	0,95	0,04	0,10	5,91	100,00

LANDROFF. — Une terre végétale reposant sur le trias de Landroff, ancien département de la Moselle, a été analysée au laboratoire de l'École des mines :

Sable.	Argile	Fe^2O^3	CaO, CO^2	MgO, CO^2	CaO, SO^3	CaO, PhO^5	HO et matières organiques.	Somme.
63,00	24,70	1,80	2,20	0,25	0,18	traces	7,60	99,73

ÉGYPTE. — M. Neucourt (1) a donné la composition de deux terres, provenant de Coum-el-Akdar, à 45 kilomètres au-dessus d'Alexandrie.

	Sable quartzeux.	Argile.	Al^2O^3	CaO, CO^2	Fe^2O^3	KO	PhO^5	Matières organiques.	Az	Nitrate.	Somme.	Cl	SO^3
A	60,00	23,55	4,51	4,00	1,52	0,79	0.13	4.00	0.40	1,00	99,90	0,14	0, 01
B	68,75	9,97	6,25	8,00	3,70	0,23	traces	3,00	0,10	1,00	101,00	0,57	0,27

La terre A est riche en argile : on conçoit donc qu'elle conserve une certaine fraîcheur; qu'elle soit bien pourvue d'acide phosphorique, de potasse, d'azote, de matières organiques et qu'elle soit en définitive, très fertile.

La terre B, qui contient peu d'argile, doit au contraire être classée parmi les terres pauvres de la vallée du Nil.

— D'autres terres de la vallée du Nil, rapportées d'Égypte par M. Jules Gay Lussac, ont été analysées, sous la direction de M. Carnot, au bureau d'essais de l'École des mines :

A Terre cultivée de Mattaï; — B Limon feuilleté de Rodat; — C Terre sableuse de Hoaba.

(1) *Société d'agriculture de l'arrondissement de Verdun*, 1878, p. 199.

	Résidu argileux.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Chlorures.	Phosphates.	KO	Matières organiques.	HO, CO^2	AzH^3	Somme.
A	62,40	12.60	9,00	2,20	0,50	traces	traces	0,04	0,20	13,00	0,0008	99,94
B	69,00	10,80	5.60	1,50	0,40	id.	id.	0.02	0,16	12,30	0,0005	99,78
C	76,00	9.30	6,80	1,25	0,60	id.	id.	traces	0,07	6,00	0,0002	100,02

Il est à remarquer, que dans ces terres végétales d'Égypte, les substances minérales utiles ne se montrent qu'en très petites proportions; en particulier on n'y a trouvé ni sulfates, ni nitrates et seulement des traces de phosphates.

Terre tourbeuse.

REIMS. — Une terre végétale tourbeuse, prise en aval de Reims, dans les prés marécageux de la Vesle, rivière qui coule entre des coteaux formés de craie, a été analysée au Laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

HO	Az	Autres produits volatils.	Résidu insoluble dans les acides.	CaO	PhO^5	Produits non dosés.	Somme.
47,41	0,73	15,05	5,69	18,06	0,97	18,99	106,00

BERLIN. — Voici d'après M. Berendt (1), la composition d'une marne provenant des prés marécageux de Markau, au nord-ouest de Berlin.

CaO, CO^2	Humus.	Argile.	Quartz, Feldspath et autres silicates (*).
20,11	28,2	8,8	42,9

(*) Dosés par différence.

Cette marne des marais (*Moormergel*), a une couleur qui varie du noir au brun. Malgré une assez grande abondance de coquilles, provenant surtout de Valvata, de Bythinia et de Planorbis, le mélange de l'humus avec le calcaire y est généralement si intime, qu'il faut un essai avec un acide pour déceler la présence du calcaire.

Terre végétale salée.

NAUEN. — Le Dr. Wahnschaffe (2) a donné l'analyse des sels solubles qui imprègnent une terre de pré, située au nord de Nauen. En traitant 100 parties de cette terre par l'eau, il a obtenu :

(1) *Abhandlungen zur geologischen special Karte von Preussen*, 1877, 50.
(2) G. Berendt : *Abhandlungen zur geologischen special Karte von Preussen*, 1877, III, 52.

NaCl	KCl	MgCl	CaCl	$CaOSO^3$	Humate de chaux.	Somme.
4,664	0,098	0,152	0,073	0,027	0,020	5,034

Cette forte teneur en sels doit être attribuée à l'émergence de sources salées, dont les eaux s'évaporent à la surface du sol, surtout pendant l'été. Aussi la proportion des sels diminue-t-elle très rapidement dans la profondeur : en effet, tandis que dans le sable humifère, la proportion des matières solubles dans l'eau s'est élevée à 4.40 à une profondeur de $0^m,05$, elle se réduit à 0,53 à la profondeur de $0^m,20$; et dans le sable non-humifère, elle n'est même que de 0,21 à la profondeur de $0^m,21$.

Roches diverses.

Eaux.

Voici les analyses de quelques eaux potables faites par M. L. Durand-Claye à l'École des ponts et chaussées et pour chacune d'elles, nous indiquons les terrains desquels elle provient :

A Source de Lochrist, sur le terrain granitique. Elle donne une eau très pure qui marque seulement 4° à l'hydrotimètre.

B Eau de bonne qualité, prise sur l'étage du gault, pour alimenter le village de Laheycourt (Meuse).

C Puits percé dans le terrain dévonien de Laval.

D Eau prise dans la rivière du Verdon (Bouches-du-Rhône), au printemps de 1877.

E Puits profond, de la vallée de l'OEuf, près Pithiviers, dans la Beauce, qui donne, comme l'on pouvait s'y attendre, une eau très calcaire. Pour un puits de la ville de Pithiviers, le résidu, laissé par l'évaporation d'un litre d'eau, s'est même élevé jusqu'à $1^g,85$.

	SO^3	Cl	SiO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO	Matières organiques.	Alcalis et produits non dosés.	CO^2 et produits non dosés.	Résidu insoluble	Résidu de l'évaporation par litre.
A	»	»	»	0,003	0,604	0.004	0,011	0,051	»	0,018	$0^{gr},091$
B	»	»	0,015	0,007	0,063	0,007	0,024	»	0,059	»	0 ,175
C	0,006	0,026	0,022	0,016	0,041	0,023	0,015	0,077	»	»	0 ,256
D	0,011	0,035	0,004	0,001	0,083	0,010	0,018	0,064	0,024	»	0 ,270
E	»	»	0,015	0,007	0,199	0,031	0,167	0,379		»	0 ,798

Dans ce tableau, qui donne la composition du résidu de l'évaporation d'un litre de l'eau examinée, il est facile de constater l'influence de la nature géologique du terrain. Ainsi, l'eau est très pure sur le terrain granitique, comme à Lochrist; tandis qu'elle est très chargée de sels calcaires dans les puits profonds percés sur un plateau calcaire et très cultivé, comme celui de la Beauce.

D'autres eaux, provenant de gisements géologiques connus, ont encore été analysées au laboratoire de l'École des ponts et chaussées. Les résultats obtenus sont toujours rapportés à un litre :

A Source dans le terrain tertiaire supérieur de Saint-Sever, dans le Calvados.

B Puits dans le calcaire lacustre moyen, du village du Bourget (Seine-et-Oise).

	SiO^2	SO^3	Cl	Fe^2O^3, Al^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	Matières combustibles.	CO^2 et produits non dosés.	Résidu total.
A	$0^{gr},012$	0,021	0,011	0,003	0,005	0,003	0,033	0,004	0,011	$0^{gr},103$
B	0 139 (*)	0,404	»	0,005	0,433	0,076	»	0,415	0,103	1 ,575

(*) Résidu insoluble.

On voit que l'eau du puits du Bourget est encore beaucoup plus chargée que celle du puits de la Beauce.

Ourcq. — L'eau du canal de l'Ourcq, prise au mois de juillet 1876, à 6 kilomètres de Paris, en amont du pont de la Folie, à Bobigny, a été analysée par M. L. Durand-Claye. Le résidu de la filtration d'un litre a donné $0^g,0116$; quant au résidu de l'évaporation, il s'est élevé à $0^g,4363$, résultat qui s'explique en observant que l'Ourcq prend sa source dans des terrains tourbeux et argilo-pyriteux de l'argile plastique.

SiO^2	Cl	SO^3	Fe^2O^3, Al^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	Matières organiques et eau combinée	CO^2 et produits non dosés.	Résidu de l'évaporation.
0,0073	0,0101	0,1020	0,0023	0,1470	0,0340	0,0189	0,0593	0,0554	0,4363

Annecy. — M. Lheureux a analysé l'eau puisée dans le lac d'Annecy, pendant le mois de mai :

Le résidu obtenu par l'évaporation d'un litre pèse $0^g,138$ à 100° et $0^g,129$ après calcination; sa composition est la suivante :

SiO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	Chlorures alcalins.	MgCl	CaO, CO^2	CaO, SO^3	KO, CO^2; MgO, CO^2	Matières organiques.	Somme.
0,006	0,009	0,0015	0,001	0,097	0,007	0,003	traces	0,1245

Cette eau, qui marque seulement 13°,5 à l'hydrotimètre, contient peu de matières minérales en dissolution; elle est d'ailleurs moins favorable au développement des poissons que celle du lac du Bourget.

Nitre.

Kouban. — M. Abich (1) a observé que du salpêtre se montre, en efflorescences, dans un grès jurassique du nord du Caucase; c'est, en particulier, ce qu'il a constaté dans la vallée de Kouban. Une terre provenant d'une caverne existant dans ce même grès a été analysée par M. le professeur C. Schmidt. Sa richesse en salpêtre était tout à fait exceptionnelle; car elle ne contenait pas moins de 9,40 p. 100 de sels solubles dans l'eau, dont 5,65 étaient du salpêtre. Le reste était formé de 27,36 de quartz sableux et de 60,90 d'une substance argileuse. Il est à remarquer de plus que cette dernière substance renfermait du rubidium et que les sels solubles dans l'eau dosaient jusqu'à 0,15 p. 100 de nitrate de rubidium. M. Abich pense que le salpêtre du grès jurassique du nord du Caucase est contemporain du dépôt de ce grès et qu'il ne provient pas de la nitrification de matières animales, comme cela arrive souvent dans les cavernes à ossements. Il ajoute d'ailleurs que ce grès jurassique contient des empreintes de plantes, qui ont été soumises à M. Goeppert, et qu'il paraît appartenir à la base de l'oolithe inférieure (*Dogger*).

Nitrate de soude.

Bolivie. — Voici d'après M. L'Olivier (2) deux analyses du nitrate de soude qui s'exploite en Bolivie :

NaO,AzO^5	NaO,SO^3	NaCl	KCl	MgCl	CaO,CO^2	SiO^2,Fe^2O^3	Résidu insoluble	Somme
51,50	8,99	21,08	8,55	0,43	0,12	0,90	6,00	97,57
18,60	16,60	33,80	2,44	1,62	0,09	3,00	20,10	96,25

Borax.

Thibet. — M. de Schlagintweit a donné le résultat de ses recherches sur les gîtes de borax du Thibet; c'est surtout dans l'est du pays que ces gîtes sont abondants, mais on en trouve aussi dans l'ouest, et il a visité notamment ceux de la vallée de Puga.

Les eaux thermales, qui produisent les dépôts de borax de Puga, émergent à une altitude d'environ 5.000 mètres; elles ont une température variable qui toutefois reste inférieure à 73°. Dans cette région, M. de Schlagintweit n'a pas observé de *suffioni* ou de fumerolles, comme en Toscane, et il n'y a pas rencontré non plus de roches basaltiques ou volcaniques. Certaines parties de la vallée de

(1) *Bulletin de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg*, XXII, p. 148.
(2) *Jahresbericht der Chemie für* 1876, 1266.

Puga présentent des cônes très surbaissés de borax, dont quelques-uns peuvent avoir jusqu'à 6 mètres de hauteur. En outre des couches de borax se sont formées à la surface du sol, sur une épaisseur qui est en moyenne de 1 mètre; tantôt cette épaisseur devient très petite; tantôt au contraire elle atteint 2 mètres. Ces masses coniques de borax contiennent du tuf calcaire et de l'argile ferrugineuse qui leur sont mélangés et ont été déposés en même temps par les sources thermales. Il y en a bien aussi dans les couches de borax, mais en moindre quantité. La masse cohérente du borax présente une longueur dépassant 3.000 mètres et une largeur égale à celle de la vallée, qui n'est pas inférieure à 450 mètres.

M. H. de Schlagintweit y signale, en mélange, du soufre et de l'acide borique, qui s'y montrent en assez grande quantité et sont d'ailleurs très inégalement répartis; il y a également, mais en moindre quantité, du sel marin, du chlorhydrate d'ammoniaque, du sulfate de magnésie et de l'alun. En outre les sources thermales, qui déposent le borax, dégagent une odeur très forte d'hydrogène sulfuré.

La surface supérieure de la masse du borax est rugueuse, par suite de l'action de la neige, de la pluie et des altérations de l'atmosphère; pendant l'été, des vents violents y transportent des poussières; d'un autre côté, vers la surface inférieure, le borax est nécessairement mélangé avec les roches formant le sous-sol. Aussi le borax le plus pur, le plus compacte et par suite le plus recherché est-il celui des couches moyennes.

Phosphorite.

Var. — M. Panescorse a signalé la chaux phosphatée dans divers terrains du département du Var. Ainsi, elle se montre en nodules à la partie supérieure du grès houiller, au nord-est de Fréjus. Plus haut, elle se trouve dans les argiles rougeâtres du terrain permien, notamment à Auriasque, près de Bozon, à Puget. Dans le trias, des nodules, paraissant être des coprolithes, se rencontrent aussi dans le grès bigarré argileux rougeâtre. M. Panescorse en indique aussi dans une argile blanche smectique du gypse saliférien de Draguignan. On sait d'ailleurs qu'il existe de la chaux phosphatée dans l'étage rhétien qui contient le *bone-bed*. Dans des argiles de Thoronel, appartenant au groupe oolithique, M. Panescorse mentionne également des nodules. Comme on devait s'y attendre, les nodules se retrouvent encore dans le grès vert du Var, dans lequel leur épaisseur est environ de $0^m,40$.

SOMBRERO, NAVASSA. — M. Reid (1) a donné la composition de phosphorites provenant de l'altération atmosphérique de guanos déposés sur l'île Sombrero A, A' et sur l'île Navassa, B, B'. Ces phosphorites sont exploitées pour l'agriculture et le tableau suivant fait connaître les limites entre lesquelles varie leur composition :

	CaO,PhO^5	$CaO\ CO^2$	Fe^2O^3,Al^2O^3	CaFl	Résidu siliceux insoluble.
A	69	2	7	1,5	1
A'	76	4	10	1,8	2
B	55	4	23	4	4
B'	70	6	28	2	5

Gypse.

SAVOIE. — A Saint-Jean-de-Maurienne, dans la Savoie, on exploite du gypse triasique qui est recherché pour les constructions. Il est saccharoïde, translucide, d'une belle couleur blanche et son analyse, faite à l'École des ponts et chaussées, a montré qu'il contient très peu de fer et seulement 0,15 d'argile.

Gypse carbonaté.

VILLEJUIF. — Le gypse parisien contient fréquemment du carbonate de chaux et de plus un peu de carbonate de magnésie; mais il y a surtout beaucoup de carbonates dans le gypse de la carrière de Monsivry, près de Villejuif. D'après des essais exécutés à l'École des Ponts, il y en a environ 19 p. 100 dans le *gros banc*; 25 p. 100 dans les *ferrants* et jusqu'à 31 p. 100 dans les *marneux*. D'un autre côté, il y a aussi de l'argile dont la proportion est seulement de quelques centièmes.

Ces gypses fortement carbonatés de Villejuif ont dû se déposer dans d'autres conditions que les gypses s'étendant au nord de Paris.

Sables et grès gypseux.

SOUF. — Le sol du Souf est constitué par un sable gypseux, passant par places à un grès formé de grains de sable siliceux qui sont cimentés par du gypse. On appelle *pierre du Souf* des cristaux de gypse empâtant des grains de quartz, comme la calcite de Fontainebleau; M. H. Le Chatelier a analysé cette pierre (A); et il a analysé également des sables gypseux cultivés (B, C), provenant de la même région.

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876, 1261.

	Sable siliceux.	CaO,SO^3	CaO,CO^2	Eau et matières organiques.	Total.
A	50	38	0	12	100
B	85	2	10	3	100
C	23	4	56	17	100

On voit que le carbonate de chaux peut manquer entièrement dans la Pierre du Souf; tandis qu'il entre en proportions variables dans le sable gypseux formant la terre cultivée; et, comme cette dernière est arrosée par des irrigations, on conçoit que le sulfate de chaux tende à y diminuer beaucoup.

Roches calcaires.

A l'occasion de l'Exposition universelle de 1878, un grand nombre de pierres calcaires de la France, utilisées comme matériaux de construction, ont été analysées au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, sous la direction de M. L. Durand-Claye (1). Nous donnerons ici la composition et le gisement de celles qui sont les plus renommées, soit comme matériaux de construction, soit comme marbres, et nous y joindrons les autres recherches faites sur les calcaires de divers pays.

Calcaire tuffacé.

Les tufs déposés par les sources émergeant de roches calcaires fournissent des pierres de construction tendres, mais durcissant à l'air, qui sont caverneuses, très légères et fort recherchées.

I De Creissels, carrières des Cascades (Aveyron).
II De Saint-Jeoue, carrières de la Tour-Noire (Haute-Savoie).

NUMÉROS d'ordre.	RÉSIDU INSOLUBLE dans les acides. Parties sableuses.	Parties argileuses.	MATIÈRES SOLUBLES dans les acides. Al^2O^3 Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu, etc.	Somme.
I	0,10	0,65	0,20	54,00	0,80	44,25	100,00
II	1,40	2,50	0,40	52,20	0,30	43,20	100,00

Calcaire des prés.

BERLIN. — M. Berendt (2) donne la composition de calcaires des

(1) Catalogue des échantillons de matériaux de construction réunis par les soins du Ministère des travaux publics.
(2) *Abhandlungen zur geologischen special Karte von Preussen*, 1877; II, 49.

prés (*Wiesenkalke*), provenant de plusieurs localités sises au nord-ouest de Berlin : A, de Marwitz; B, de Nauen; C, de Hemigsdorf.

	Calcaire.	Sable.	Poussière impalpable.
A	32,1	52,4	14,7
B	53,6	46,4	
C	86,1	13,9	

Ce calcaire des prés varie dans sa couleur du gris bleuâtre clair au blanc grisâtre; mais, quand il est sec, il devient blanc. Il contient habituellement des débris de mollusques lacustres. Sa teneur en carbonate de chaux peut dépasser 90 p. 100.

Calcaire concrétionné.

TECALI. — M. A. Damour (1) a fait connaître la composition du calcaire concrétionné de Tecali, au Mexique, qui donne un très beau marbre translucide, ayant une couleur blanche, jaunâtre ou verdâtre, lequel est habituellement désigné sous le nom impropre d'*onyx*.

Densité.	SiO^2	CaO,CO^2	MgO,CO^2	FeO,CO^2	MnO,CO^2	HO	Somme.
2,77	traces	89,46	2,92	6,60	0,36	0.60	99,94

Ce marbre est identique à celui de l'Algérie, qui a été déposé par des sources minérales. Il ne contient pas de silice, mais plusieurs centièmes de carbonate de fer et de manganèse. La présence du carbonate de fer peut expliquer sa couleur verte, qu'on retrouve aussi dans le sphérosidérite des roches trappéennes, dont la structure est d'ailleurs analogue.

Calcaire lacustre.

FRANCE. — Les calcaires lacustres du terrain miocène fournissent de belles pierres de construction et peuvent même être employés comme marbres :

I Calcaire lacustre de Pontlevoy (Loir-et-Cher); il est homogène, dur, blanc jaunâtre.

II Calcaire de Châteaulandon (Seine-et-Marne); il est très dur, blanchâtre et susceptible de poli.

III Marbre jaune de Castera-Verduzan (Gers); il est dur, blanchâtre, quelquefois un peu moux.

(1) *Comptes rendus*, LXXXII, 1085.

NUMÉROS d'ordre.	RÉSIDU INSOLUBLE dans les acides. Parties sableuses	Parties argileuses.	MATIÈRES SOLUBLES dans les acides. Al^2O^3 Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu, etc.	Somme.
I	0,10	1,15	0,65	54.30	0,25	43.55	100,00
II	0,05	0,05	0,35	55,35	»	44,20	100,00
III	0,30	3,25	1,85	51,85	0,10	42,65	100,00

Pélagosite.

En divers points du littoral de la Méditerranée et de la mer Adriatique, certains calcaires magnésiens sont recouverts d'une enveloppe très adhérente, à surface mamelonnée, verdâtre ou noirâtre, et d'aspect vernissé. M. S. Cloëz (1) pense que ce dépôt a pour origine le carbonate de chaux dissous dans l'eau de mer au moyen de l'acide carbonique : l'eau de mer, projetée par les vagues sur les rochers de la côte, y abandonne, par suite de l'évaporation de l'acide carbonique, du carbonate de chaux en même temps qu'une petite quantité de matière organique. Voici du reste, d'après M. S. Cloëz, la composition du dépôt trouvé au cap Ferrat :

CO^2,CaO	CO^2,MgO	Oxyde de fer.	SiO^2	ClNa	Matières organiques.	Eau.	Somme.
91 80	0,90	0,25	1 22	0,49	0,71	4,56	99,93

Le Dr Moser, à Trieste, a recueilli ce dépôt sur des dolomies de la côte de l'île Pelagosa, dans la mer Adriatique, et il lui attribue le nom de *pélagosite* (2).

MM. Des Cloizeaux et Vélain ont d'ailleurs constaté l'existence d'un dépôt analogue sur des roches feldspathiques et quartzeuses de l'île d'Elbe et des environs d'Alger ainsi que sur les laves basaltiques de l'île de la Réunion, où le carbonate de chaux contenu dans l'eau de mer peut devenir plus abondant à cause des récifs madréporiques qui sont situés en face de la côte.

Craie.

MOULINEAUX. — La craie humide des Moulineaux, près Paris, pesant 1.250 kilog. au mètre cube, a été essayée au laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

Résidu insoluble.	Fe^2O^3 et Al^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu.	Somme.
1,61	0.76	44,85	0,42	53,33	100,00

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], 86.
(2) Tschermak : *Min. Mittheill* 1878.

Tuffeau.

TOURAINE. — Voici la composition des tuffeaux bien connus de la Touraine; ils appartiennent à la craie marneuse et fournissent de belles pierres de construction, homogènes, d'un grain fin, qui sont éminemment propres à la sculpture et ont été très employées pour les châteaux des bords de la Loire :

I De Loches, carrières de Mauvières (Indre-et-Loire).
II De Bourré (Loir-et-Cher).

NUMÉROS d'ordre.	RÉSIDU INSOLUBLE dans les acides. Parties sableuses.	Parties argileuses.	MATIÈRES SOLUBLES dans les acides. Al^2O^2 Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu, etc.	Somme.
I	7,75	16,00	1,10	40,85	»	34,30	100,00
II	19,00	20,10	1 40	31,60	traces	27,90	100 00

Calcaire.

FRANCE. — Parmi les pierres calcaires les plus renommées de France, mentionnons spécialement les suivantes, qui sont classées d'après les terrains auxquels elles appartiennent :

A Pierre de Bruniquel, carrière de Nivausel (Tarn-et-Garonne), du terrain oolithique inférieur; dolomie compacte, argileuse et gris de cendre.

B Pierre dite d'Allemagne, exploitée près de Caen (Calvados), dans l'étage jurassique du fullers earth. C'est un calcaire tendre, blanc légèrement jaunâtre, à grains fins, homogène et propre à la sculpture.

C Pierre de Marquise, carrière de Warennes (Pas-de-Calais), du terrain jurassique, grande oolithe. Calcaire oolithique à grains irréguliers, assez dur, blanchâtre, noircissant un peu à l'air.

D Pierre de Comblanchien (Côte-d'Or), de la partie supérieure de la grande oolithe; calcaire compacte, très dur, blanchâtre, à pâte fine et susceptible de poli.

E Pierre de Lézinnes, dite Liais de Tonnerre (Yonne), du terrain oxfordien supérieur. Calcaire compacte, très fin, de teinte claire, grise ou jaunâtre, propre au dallage.

F Pierre d'Euville, carrières de la Sablière (Meuse), du terrain corallien. Calcaire à entroques, dur, blanchâtre, formé presque entièrement de débris d'encrines, inaltérable à la gelée et aux intempéries.

G Pierre d'Euville, grande carrière (Meuse), du terrain corallien. Calcaire analogue au précédent.

H Pierre de Lérouville, carrière de Laveau (Meuse), du terrain corallien. Calcaire à entroques, dur, blanc ou un peu grisâtre, analogue à la pierre d'Euville.

I Pierre de l'Échaillon-blanc, commune de Saint-Quentin-sur-Isère (Isère), du terrain séquanien. Calcaire assez dur, très fin, demi-cristallin, blanc, propre à la sculpture, se laissant travailler au tour et au rabot.

J Pierre de l'Échaillon rose, commune de Saint-Quentin-sur-Isère (Isère), du terrain séquanien. Calcaire assez dur, très fin, demi-cristallin, blanc, propre à la sculpture comme le précédent.

K Pierre de Bellevoye, commune de Damparis (Jura), du terrain séquanien. Calcaire compacte très dur, blanchâtre, nuancé de lie de vin, susceptible de poli et de sculpture fine.

L Pierre de l'Abbaye, commune de Damparis (Jura), du terrain séquanien. Calcaire compacte, très dur, de nuance variant du blanc au rose, et prenant bien le poli.

M Pierre-marbre de Lignet (Échaillon-jaune), commune de Rivière (Isère), du terrain néocomien. Calcaire compacte, cristallin, très dur, variant du blanc-jaunâtre au blanc-brocatelle, avec veines blanches, susceptible de poli, qui se taille et se tourne très bien.

N Pierre de Cassis (Bouches-du-Rhône), du terrain néocomien. Calcaire compacte, très dur, blanchâtre, à pâte très fine et susceptible de poli.

O Pierre de Saint-Savinien (Charente-Inférieure), provenant de la craie glauconieuse. Calcaire crayeux, demi-dur, blanchâtre ou roux, un peu celluleux, à grains moyens.

P Roche de Laversine (Aisne), du terrain éocène. Calcaire coquillier, dur, à grains fins et d'un gris très pâle.

Q Pierre de Montpaon (Bouches-du-Rhône), du terrain miocène. Calcaire demi-dur, blanc, à grains fins, propre à la sculpture et à l'ornement.

R Pierre de Fontvieille (Bouches-du-Rhône), du terrain miocène. Calcaire tendre, blanc-grisâtre, à grains fins.

S Pierre de Saint-Macaire (Gironde), du terrain miocène inférieur. Calcaire gréseux, celluleux, un peu coquillier, assez dur, blanc jaunâtre, à grains irréguliers.

	RÉSIDU INSOLUBLE dans les acides. Parties sableuses.	Parties argileuses.	MATIÈRES SOLUBLES dans les acides. Al^2O^3 Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu et produits non dosés.	Somme.
A	0,05	3,70	1,70	30,25	18,30	46,00	100,00
B	0,80	12,55	0.50	46,85	0,50	38.80	100,00
C	0,30	0,45	0.50	54,55	0,30	43,90	100,00
D	traces	0,05	0,40	55.00	0,45	43,50	100,00
E	2,50	9,30	0,75	47.60	0,50	39,35	100,00
F	0,10	0,20	0,25	54,90	0,30	44,25	100,00
G	0,45	0,05	0,40	54,75	0 30	44,05	100,00
H	0,35	0,05	0,45	54,85	0,40	43,90	100,00
I	0,05	0,15	0,30	55,45	0,15	43,90	100,00
J	»	0,10	0.65	52,70	2,40	44,15	100,00
K	0,25	1,10	0.35	54,35	0,20	43,75	100,00
L	0,20	1,15	0,50	54,30	0,30	43,55	100,00
M	0,10	0,25	0,10	55,50	0,15	43,60	100,00
N	0,15	0,10	0,30	55.45	0,45	43,55	100,00
O	2,25	0,15	0,25	54,30	0,10	42,95	100,00
P	5.50	0.90	0.45	50,85	0,50	41,80	100,00
Q	0,20	0,35	0,40	54,70	0,35	44,00	100,00
R	0.20	1,25	0,90	53,90	0,30	43,45	100,00
S	7,50	3,20	1,70	48,40	0,30	38,90	100,00

On peut observer que ces pierres calcaires de choix ne donnent

généralement qu'un faible résidu insoluble dans les acides. Il faut en excepter toutefois la pierre de Caen, qui représente le fuller's earth, et le liais de Tonnerre, qui est oxfordien. De même que le tuffeau de la Touraine, ces calcaires argileux compactes sont très propres à la sculpture et au dallage.

La pierre de Bruniquel appartient seule à la dolomie ; et l'on voit que les calcaires recherchés comme pierres de construction contiennent très peu de magnésie. Du reste, toutes choses égales, la dolomie se dégrade plus rapidement que la chaux carbonatée.

Auneuil. — Deux échantillons de craie marneuse d'Auneuil ont été essayés au laboratoire de l'École des ponts et chaussées. L'un, A, a été pris sur la route de Gisors, au lieu dit Bon-Secours; l'autre, B, provient d'une carrière exploitée pour marne :

	A	B
Résidu insoluble dans les acides	5,90	4,70
Alumine et peroxyde de fer	1,50	0,80
Chaux	50,40	51,50
Magnésie	0,50	0,35
Perte au feu et produits non dosés	41,70	42,65
Somme	100,00	100,00

Hongrie. — Une terre calcaire de Neograd, en Hongrie, est, paraît-il, mangée dans les moments de disette. D'après une analyse qui en a été faite par M. Brix (1), c'est un calcaire contenant seulement 2,45 d'argile :

CaO	MgO	Al^2O^3	Fe^2O^3	CO^2	Matières volatiles.
51,49	0,11	2,27	0 16	40,36	5,55

Comme nous l'avons remarqué précédemment, les terres comestibles peuvent avoir une composition minéralogique extrêmement variée (2).

Columbia. — M. P. Schweitzer (3) a donné la composition du calcaire carbonifère de Columbia, dans le Missouri. Ce calcaire est souvent uniquement formé de débris de crinoïdes :

SiO^2	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	NaO	PhO^5	CO^2	Cl	Somme.
0,31	0,10	0,09	55,30	0,40	0,002	0,002	43,45	0,004	99,638

(1) *Jahresbericht f. Chemie für* 1875, 1240.
(2) *Revue de géol.*, XII, 41 ; XV, 38.
(3) *Jahresbericht f. Chemie für* 1875, 1304.

Calcaire argileux.

Poligny. — Des rognons calcaires, pris par M. Parandier, à la partie supérieure des marnes oxfordiennes de l'arrondissement de Poligny, ont été analysés au laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

CaO	MgO	Al^2O^3 Fe^2O^3	Résidu insoluble.	Perte au feu, etc.	Somme.
16,40	0,40	2,20	11,90	39,10	100,00

Mazenay. — Le calcaire à gryphées arquées de Mazenay (Saône-et-Loire), qui recouvre le minerai de fer exploité dans cette commune par le Creusot, est employé comme castine, en sorte qu'il est utile de connaître sa composition :

CaO	MgO	MnO	FeO Fe^2O^3	Al^2O^3	CO^2	2	SO^3	PhO^5	HO
0,5	0,5	0,1	2 — 3	1,5 — 2	40	3,5	0,5	0,20	1 — 2

Savoie. — Divers calcaires argileux de la Savoie, pouvant être utilisés pour la fabrication de la chaux hydraulique et du ciment, ont été analysés par M. Lheureux.

A, A', A'' Sont des échantillons de calcaire argileux du Lias, pris au Montgilbert, près d'Aiguebelle.

B, B' Proviennent du calcaire argileux de l'étage tithonique de Talloires, au bord du lac d'Annecy, et servent à fabriquer du ciment.

C Est un calcaire argileux nummulitique provenant de Menthon, près du lac d'Annecy.

	CaO	MgO	Al^2O^3	Fe^2O^3	CO^2	SO^3	Résidu insoluble.	HO	Somme.
A	47,50	1,35	3,30	0,70	39,26	traces	7,65	0,74	100,50
A'	41,25	0,45	6,45	1,05	33,51	—	15,00	3,50	101,21
A''	46,00	0,65	3,37	0,63	37,25	—	12,00	1,25	101,15
B	44,50	0,45	1,50		35,46	—	18,10	—	100,01
B'	38,50	0 45	3,00		30,60	—	26,60	—	99,15
C	38,60	traces	traces	traces	30,40	—	26,00	5,00 (*)	100,00

(*) Eau et perte.

Calcaire bitumineux.

Belley. — Quelques calcaires bitumineux de l'arrondissement de Belley (Ain), ont été analysés au bureau d'essais de l'École des mines : A et B proviennent de Saint-Germain-les-Paroisses ; C de Saint-Champ.

	Bitume.	Argile.	Fe^2O^3	CaO	MgO	CO^2	Somme.
A	5,60	1,00	1,00	48,00	3,00	41,30	99,90
B	8,60	1,80	0,60	46,00	3,00	39,80	99,80
C	8,40	2,80	0,60	45,60	2,60	39,00	99,00

Ces calcaires sont employés comme amendements et en même temps comme insecticides.

SEYSSEL. — D'après MM. de la Loyère et Müntz (1), certains calcaires bitumineux, contenant du sulfate de chaux et de la pyrite, donnent par la distillation des huiles sulfurées extrêmement fétides et pouvant servir d'insecticide, notamment contre le phylloxera. Tel est le cas pour un calcaire bitumineux des environs de Seyssel, dans lequel on trouve 1 à 2 p. 100 de pyrite : ce calcaire contient d'ailleurs beaucoup d'ostrea virgula et appartient à la base du Kimmeridgien.

SAVOIE. — Les calcaires de la Savoie qui sont imprégnés de bitume appartiennent, soit à l'urgonien du néocomien supérieur, soit à la mollasse du tertiaire moyen. On en exploite sur les bords du Rhône, et dans le val du Fier (Haute-Savoie).

Dans cette dernière localité, on trouve des calcaires néocomiens, dont la teneur moyenne en bitume, constatée sur les produits extraits des mines de Lovagny, est seulement de 4 à 5 p. 100.

Dans la vallée du Rhône, le bitume a imprégné des calcaires néocomiens et des mollasses. L'analyse de trois échantillons de mollasses, provenant des environs d'Éloise, a donné une teneur en bitume, variant de 5 à 4,20 p. 100; mais les calcaires néocomiens bitumineux des bords du Rhône ont une teneur moyenne de 7 p. 100 et sont bien préférables. Près de Volant, il n'y a pas moins de sept couches d'asphalte, de bonne qualité, dans l'étage urgonien.

Tangue.

CARENTAN. — Une tangue de Carentan, pesant environ 1.300 kil. au mètre cube, a été analysée par M. L. Durand Claye : Bien que n'étant pas très riche en chaux, elle contient une proportion notable d'acide phosphorique, qui suffirait pour la faire rechercher en agriculture.

HO	Azote.	Autres produits.	Produits volatils.	Résidu insoluble.	CaO	Acide phosphorique.	Sels solubles, CO^2 et perte.	Matières minérales.	Somme.
13,35	0,008	1,722	15,02	61,625	12,25	0,149	10,896	84,92	100,00

Calcaire à corallines.

MORLAIX. — On sait que les corallines ou Nullipores ou maerl ne

(1) *Comptes rendus*, mai 1878.

sont que des incrustations calcaires formées sur certaines algues marines. En analysant un échantillon provenant de la baie de Morlaix, M. L. Périer (1) y a trouvé une forte proportion de carbonate de magnésie ainsi que l'avait déjà reconnu M. Damour :

$CaOCO^2$	MgO,CO^2	Al^2O^3	Argile inattaquable.	Matière organique végétale.	Charbon	HO à 120°	Somme.
77,80	11,23	0,50	5,50	3,50	0,05	1,50	100,08

M. L. Périer partage l'opinion exprimée par M. Delesse (2), que les sels calcaires de la mer peuvent alors avoir été précipités par les alcalis provenant de la destruction des roches feldspathiques ou granitiques voisines; et il observe à ce sujet que les coquilles et même les débris de roches accompagnant les nullipores de la baie de Morlaix présentent fréquemment un encroûtement calcaire.

Mollasse.

Les mollasses du terrain miocène sont souvent employées pour les constructions, et les deux analyses qui suivent montrent que leur composition peut être extrêmement variable, suivant qu'elles sont calcaires ou sableuses.

I Mollasse de Saint-Just, commune de Saint-Paul-Trois-Châteaux (Drôme). Elle est tendre, gris-blanchâtre, à grains assez fins; propre à la sculpture.
II Mollasse de Cornin, à Aix-les-Bains (Savoie). Elle est demi-dure, gris-verdâtre, à grains très fins, et elle durcit à l'air.

	Résidu insoluble dans les acides.		Matières solubles dans les acides.			Perte au feu, etc.	Somme.
	Parties sableuses.	Parties argileuses.	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO		
I	0,05	1,80	0,85	52,45	0,45	44,40	100,00
II	71,45	0,25	1,25	12,55	1,30	13,50	100,30

Marbre.

Diverses pierres calcaires de France qui sont renommées, et utilisées comme marbres, ont été analysées par M. Durand-Claye à l'École des ponts et chaussées, et l'on peut voir qu'elles sont composées de carbonate de chaux, ne contenant en mélange qu'une proportion très faible de matières étrangères. Quelquefois elles ont pris une couleur blanche, une structure saccharoïde et elles ont été soumises à un métamorphisme énergique.

(1) *Les fonds de la mer*, t. III, 1879, p. 223.
(2) *Lithologie du fond des mers*, I, 267.

A Pierre-marbre de Marbaix (Nord), appartenant au terrain carbonifère. est dure, d'un noir intense, quelquefois veiné de blanc.

B Pierre du Haut-Banc, commune de Ferques (Pas-de-Calais), du terrain carbonifère. Elle est très dure et susceptible de poli.

C Pierre-marbre de Guillestre, à Combe-Chauve (Hautes-Alpes) du terrain jurassique moyen. Elle est très dure, nuancée de gris, de jaune, de violet, et elle prend très bien le poli.

D Marbre statuaire de la Grande-Combe, commune de Molines en Champ-Saur (Hautes-Alpes), du terrain jurassique. Il est d'un beau blanc, propre à la statuaire.

E Brèche de Baïxas, dite de *Portugal* (Pyrénées-Orientales), du terrain néocomien. C'est une brèche calcaire cristalline dure, susceptible de poli et employée comme marbre.

F Pierre-marbre de Corte (Corse), du terrain crétacé supérieur. C'est un calcaire métamorphique cristallin, saccharoïde, dur, gris-bleuâtre veiné, qui est employé comme marbre.

G Pierre-marbre de Serragio, carrière de Razzio-Bianco (Corse), du terrain crétacé supérieur modifié. C'est un calcaire cristallin, saccharoïde, assez dur, employé comme marbre bleu turquin.

H Marbre blanc de Saint-Béat (Haute-Garonne), du terrain carbonifère. Il est compacte, très dur, susceptible de poli, très estimé pour la sculpture.

I Pierre-marbre d'Arudy (Basses-Pyrénées), ayant une couleur noirâtre, tâchetée de blanc et de gris foncé.

	RÉSIDU INSOLUBLE dans les acides.		MATIÈRES SOLUBLES dans les acides.			Perte au feu, etc.	Somme.
	Parties sableuses.	Parties argileuses.	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO		
A	0,80	1,55	0,25	53,10	0,95	43,35	100,00
B	0,10	0,55	0,20	54,60	0,65	43,90	100,00
C	0,45	2,45	0,75	53,60	0,30	42,45	100,00
D	0,60	0,20	0,35	54,60	0,35	43,90	100,00
E	2,75	5,35	1,00	50,25	0,30	40,35	100,00
F	»	0,10	0,25	55,45	0,35	45,85	100,00
G	0,50	0,45	0,25	54,70	0,60	43,50	100,00
H	»	0,85	0,35	54,80	0,30	43,70	100,00
I	0,10	0,15	0,25	54,25	1,20	44,05	100,00

Roches siliceuses.

Tripoli.

BERLIN. — Les analyses de deux terres à infusoires, des prairies de la Sprée et du Havelt, ont été faites par le Dr Wahnschaffe (1) : A provient de Tiefwerder et B de Spandau :

(1) Berendt : *Abhandlungen zur geologischen special Karte von Preussen*, 1877, II, 55.

	SiO^2	SiO^2 soluble.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO, MgO, alcalis (différence).	Perte au feu (HO)	Humus.	Somme.
A	28,97	34,39	4,92	14,71	3,30	13,71	traces	100
B	73,73	15,07	3,34	1,84	3,15		2,87	100

La silice soluble est fournie par les carapaces de diatomées; toutefois une partie de la silice se trouve à l'état de poussière ou de sable fin et l'autre à l'état de silicate.

Quartz pulvérulent.

VILLEVEYRAC. — De la silice amorphe et insoluble dans la potasse a été analysée au bureau d'essais de l'École des mines. Elle provenait de Villeveyrac dans l'Hérault où elle accompagne une Bauxite jaunâtre, compacte, très légère, contenant 75 p. 100 d'alumine et moins de 1 p. 100 de peroxyde de fer :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu.	Somme.
96,00	traces	0,30	1,00	0,40	1,60	99,30

ISTRIE. — M. Taramelli signale, dans la partie méridionale de l'Istrie, des masses quartzeuses, finement grenues, presque pulvérulentes, qui forment des rognons irréguliers et parfois volumineux dans les calcaires de la contrée. On les désigne dans le pays sous le nom de *saldame* (soudure) et on s'en sert à Venise pour la préparation du verre. Ces masses sont composées de très petits cristaux de quartz bipyramidé, qui sont associés à de la geysérite.

Sable.

BERLIN. — M. Berendt (1) a déterminé la constitution physique du sable des dunes qui se montrent au nord-ouest de Berlin :

Sable grossier 2 — 1mm	SABLE MOYEN.		SABLE FIN.		POUSSIÈRE.		Somme.
	1 — 0,5.	0,5 — 0,2.	0,2 — 0,1.	0,1 — 0,5.	0,5 — 0,1.	Au-dessous de 0,01mm.	
0,1	0,5	9,7	62,8	24,5	1,2	1,2	100

On voit que le sable mobile, produisant ces dunes, est surtout formé par un sable fin dont le grain varie de $0^{mm},1$ à $0^{mm},2$.

Grès.

FRANCE. — Différents grès qui, dans notre pays, sont utilisés

(1) *Abhandlungen zur geologischen special Karte von Preussen*, 1877, II, 56.

comme pierre de construction ont été analysés par M. Durand-Claye, au laboratoire de l'École des ponts et chaussées. L'attaque avait lieu par l'acide chlorhydrique, et c'est seulement dans le grès houiller de Saint-Étienne qu'on a trouvé une forte proportion d'argilite.

A Grès houiller de Saint-Étienne (Loire). Il est assez dur, blanc-grisâtre, et noircit à l'air.

B Grès rouge siliceux de Belval (Vosges).

C Grès vosgien de la carrière de la Madeleine, à Saint-Dié (Vosges); il est siliceux, dur et rosâtre.

D Grès bigarré de Merviller (Meurthe-et-Moselle); il est assez dur, blanc mélangé de rouge, à grains fins.

E Grès bigarré d'Epinal (Vosges); il est micacé, blanc-jaunâtre ou rose, à grains fins.

F Grès bigarré de Lodève (Hérault); il est siliceux, tendre, durcissant à l'air, blanchâtre, poreux, à grains très fins.

	RÉSIDU INSOLUBLE dans les acides.		MATIÈRES SOLUBLES dans les acides.			Perte au feu, etc.	Somme.
	Parties sableuses.	Parties argileuses.	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO		
A	7,80	85,35	2,10	0,50	0,50	3.75	100,00
B	95,10	»	2,60	0,15	0.45	1,70	100,00
C	97,85	»	0.65	0,50	0,05	0 95	100,00
D	96,75	»	1,35	0,30	0,10	1,50	100,00
E	96,60	»	1,75	0,05	0,10	1.50	100.00
F	98,05	0,60	0,15	0,20	0,40	0,60	100,00

Roches argileuses.

Kaolin.

LA TOLFA. — Le kaolin se rencontre près de Rome, en divers points des montagnes de la Tolfa où il résulte de la décomposition lente des trachytes. Il est plus particulièrement exploité près du village de la Bianca, ainsi nommé à cause de la couleur blanche du sol. Le kaolin est d'un blanc pur, tantôt finement farineux, onctueux et presque exempt de potasse, tantôt plus ou moins grenu et d'une qualité moins réfractaire; ces différences paraissent dues à une décomposition plus ou moins complète du trachyte. Au voisinage de filons ferrugineux qui le traversent, le kaolin est fortement coloré par de l'oxyde de fer, ce qui lui enlève toute valeur industrielle (1).

(1) Ponzi: *La Tuscia Romana et la Tolfa. Acc. dei Lincei* [3], I. (Extrait par M. de Cossigny).

JAPON. — Les kaolins employés au Japon pour la fabrication de la porcelaine ont été étudiés par le Dr H. Wurtz (1) qui donne en même temps quelques renseignements sur leurs gisements.

A Variété *Tsuji-chuchi*, la plus estimée parmi celles que fournit le gîte d'Idzumiyama; elle est en masses d'un blanc terreux, très cohérentes, poreuses, grenues, happant à la langue.

B Est une des nombreuses variétés analogues à la précédente; elle est dite *Shiro-chuchi*.

C Kaolin dit *Kudaru-yama-chuchi*, le seul qui paraisse former une espèce bien distincte, riche en alumine, pour laquelle M. Wurtz propose le nom de *kudarujamite*. Cette matière est d'un blanc pur, légère, onctueuse; au microscope elle paraît formée de petits grains amorphes transparents; dans l'eau, elle se délite spontanément.

C' La même, abstraction faite de la silice libre et autres substances qui paraissent accidentelles.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	MgO	CaO	NaO	KO	HO	Somme.
A	78,18	15,70	0,66	traces	0.10	»	1,74	0,55	2,52	99,45
B	77,68	15,19	0,89	0,01	0.10	0,15	1,47	0,51	3,33	99,33
C	49,93	38,74	1,58	»	0,21	»	1,44	0,44	7,61	99,95
C'	47,95	40,82	1,67	»	»	»	1,77	»	7,79	100,00

Argile.

ÉVRY. — Le laboratoire de l'École des ponts et chaussées a analysé l'argile associée aux bancs de meulières de la Brie, qui sont exploitées sur une grande échelle à Évry par M. Decauville. Cette argile (I, II) se montre riche en oxyde de fer, et de plus certains échantillons contiennent jusqu'à 3 p. 100 d'oxyde de manganèse.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	Mn^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu.	Somme.
I	41,40	21,10	11,40	1,50	3,10	0,90	20,60	100,00
II	45,70	24,20	13,70	traces	1,10	1,20	14,10	100,00

JURA. — Une argile rouge recueillie par M. Parandier et paraissant former des filons dans l'oolithe jurassique inférieure de Mesnay (Jura), a présenté la composition suivante :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu, etc.	Somme.
59,50	13,30	8,90	2,90	1,00	14,40	100,00

SOMME. — Deux terres à briques, exploitées dans le terrain diluvien, ont été analysées par M. Durand-Claye, au laboratoire de l'École des ponts et chaussées. A provient du gisement bien

(1) *American Chemist*, 1877. (Extrait par M. de Cossigny.)

connu de Saint-Acheul, près Amiens; B de la partie supérieure d'une sablière de Moutiers :

	A		B	
1° Produits volatils ou combustibles.				
Eau	2,60		3,25	
Azote	0,03		0,06	
Autres produits	3,56		3,05	
Somme		6,19		6,36
2° Matières minérales.				
Résidu insoluble dans les acides	83,55		82,73	
Peroxyde de fer et alumine	8,60		7,42	
Chaux	0,84		1,26	
Magnésie	0,70		0,42	
Acide phosphorique	0,06		0,12	
Potasse	0,05		0,16	
Acide carbonique et produits non dosés	0,01		1,53	
Somme		93,81		93,64
Somme totale		100,00		100,00

Boue éruptive.

Malgré les travaux de M. Abich, les boues rejetées par les Salses étaient jusqu'à présent assez peu connues; mais M. Gümbel vient de s'occuper de leur étude microscopique et avec M. Schwager, il a déterminé leur composition chimique. Donnons seulement la composition de deux de ces boues, l'une A du gisement classique de Macaluba en Sicile, l'autre B de Nirano près Modène :

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	CO^2	Cl	SO^3	HO	Somme.
A	54,42	19,63	5,17	3,58	2,36	1,59	4,03	2,48	2,01	0,22	4,79	100,28
B	42,48	18,16	3,46	10,42	1,90	2,60	6,49	8,96	2,60	traces	3,76	100,83

De l'examen d'un assez grand nombre de ces boues, M. Gümbel conclut qu'elles proviennent de couches argileuses ou argilo-sableuses ne se trouvant pas à une grande profondeur. En Italie, par exemple, on y observe des débris de fossiles et de foraminifères qui les rapportent aux étages tertiaires d'Asti et de Tortone; mais les cendres, les lapilli, les ponces y font défaut.

Les boues des Salses sont accompagnées d'eau et de gaz combustibles, surtout d'hydrogène carboné. Parmi les sels en dissolution dans l'eau, il y a spécialement du sel marin, qui peut venir soit de la mer, soit encore des couches traversées. La température des boues est tantôt la moyenne du lieu d'émergence et tantôt elle est plus élevée; dans ce dernier cas, il y a généralement des dégagements d'acide carbonique.

Si les Salses sont en rapport avec les volcans, comme en Sicile, on les observe aussi dans les régions disloquées dans lesquelles l'écorce terrestre est traversée par des failles profondes, et alors leur existence paraît dépendre particulièrement de certaines couches dégageant des matières bitumineuses. En tout cas, la dénomination de volcans de boue, attribuée aux Salses, n'est pas sans inconvénients, puisque leur origine ne se rattache pas au volcanisme proprement dit; aussi M. Gümbel propose-t-il de leur donner le nom de *Schlammsprudel*.

On sait d'ailleurs que de nombreux dépôts argileux ont été attribués à des déjections boueuses plus ou moins remaniées; citons notamment le flysch des Alpes, l'argile écailleuse des Apennins, les glaises vertes du bassin parisien (1).

Schiste.

Schiste bitumineux.

Bozon. — Des schistes bitumineux provenant du terrain houiller de Bozon, près Fréjus, ont été analysés au bureau d'essais de l'École des mines : A schiste brun; B schiste noir.

	Carbone fixe.	Matières volatiles.	Cendres argileuses.	Somme.
A	9,00	44,00	47,00	100,00
B	34,00	28,00	38,00	100,00

Ces schistes sont employés à la fabrication du gaz d'éclairage.

Chatillon. — M. Choffat a fait aussi l'essai, au point de vue agricole et industriel, d'un schiste bitumineux du lias de Châtillon près Besançon : il y a trouvé 1,10 d'acide phosphorique; 0,56 de potasse; 0,55 de soude; 12,10 de matières organiques et 5,60 d'eau. Ces résultats sont analogues à ceux obtenus pour le schiste du lias de Vesoul (*Revue de géologie*, XIII, 55).

Schiste ardoisier calcaire.

La Chambre. — Les schistes ardoisiers de la Chambre appartiennent au terrain liasique de la Savoie.

I est un échantillon d'assez bonne qualité.

II un échantillon impur, qui est fortement mélangé de carbonate de chaux et qui blanchit après quelque temps d'exposition à l'air.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu.	Somme.
I	50,50	18,40	3,69	14,38	traces	13,50	100,47
II	40,00	10,22	4,28	26,70	traces	19,00	100,20

(1) *Lithologie du fond des mers*, 423, 428.

Bien que des alcalis n'aient pas été indiqués dans ces ardoises liasiques, elles doivent en contenir, de même que toutes les argilites.

Schiste cristallin.

Coticule.

Le coticule ou pierre à rasoir de la Belgique a été étudié par M. A. Renard (1). Sa couleur, assez homogène, est généralement jaune clair. Il a pour densité 3,22. On y distingue des traces de stratification qui sont quelquefois bien accusées par des zones de phyllade gris bleuâtre ou violacé. L'hydroxyde de manganèse y forme souvent des enduits et la roche peut en être tellement imprégnée qu'elle devient noir brunâtre.

Une analyse du coticule, faite par M. Pufal, à l'Académie des mines de Berlin, a donné :

SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	MgO	CaO	NaO	KO	HO	Substances organiques.	CO^2	PhO^5	S	Somme.
46,52	1,17	23,54	1,05	0,71	17,54	1,13	0,80	0.30	2,69	3,28	0,02	0,04	0,16	0,18	99,13

L'examen microscopique a montré à M. Renard une substance micacée présentant des membranes légèrement ondulées qui s'enchevêtrent dans tous les sens; elle est riche en potasse et paraît se rapporter à la Damourite.

Sous un grossissement de 800, on distingue une multitude de cristaux monoréfringents, ordinairement de forme sphérique et appartenant au système régulier, dont le diamètre ne dépasse guère $0^{mm},02$. Ces cristaux se retrouvent dans toutes les variétés de coticule du terrain Salmien, et ils constituent un de ses éléments les plus caractéristiques. Ils jettent un éclat extraordinaire, lorsqu'on les observe par transparence, ce qui montre que leur indice de réfraction est élevé. Ils ont quelquefois la forme du rhombododécaèdre. D'après l'ensemble de leurs caractères, comme d'après la dureté du coticule, qui s'emploie pour remplacer l'émeri, et qui présente aussi une richesse exceptionnelle en manganèse, M. Renard les considère comme de la Spessartine, variété de grenat jaune qui est manganésifère. Dans une Spessartine de Salm-le-Château, analysée par MM. de Koninck et Davreux, la proportion

(1) *Mémoire sur la structure et la composition minéralogique du coticule et sur ses rapports avec le phyllade oligistifère.* Extrait du tome XLI des *Mémoires de l'Académie royale de Belgique.*

de protoxyde de manganèse s'est élevée d'ailleurs jusqu'à 37,80 p. 100.

M. Renard a encore reconnu dans le coticule des cristaux allongés, ayant $0^{mm},08$, qui ne sont pas symétriques à leurs deux extrémités et montrent quelquefois une section hexagonale; ils ont une couleur vert pâle ou bleu grisâtre, sont biréfringents et assez fortement dichroïques. Conformément à des recherches récentes de MM. Anger, Törnebohm, Zirkel et Rosenbusch, sur les schistes cristallins, M. Renard les rapporte à la tourmaline.

En outre M. Renard signale des cristaux jaunes, microscopiques, ayant $0^{mm},05$ qui sont accolés et se coupent sous un angle de 60°. Il ne pense pas qu'on puisse les rapporter à l'apgite ou à l'épidote; et, s'ils n'appartiennent pas à une espèce minérale nouvelle, d'après leurs mâcles hémitropes, il émet l'opinion qu'ils sont peut-être formés par du chrysobéryl.

Enfin parmi les minéraux secondaires du coticule, M. Renard signale encore le quartz, qui nuit toutefois à l'utilisation de la roche comme pierre à rasoir, le sphène ainsi que le fer oligiste qui est sporadique et se montre surtout au contact du phyllade oligistifère.

Phyllite.

Recoaro. — M. C.-W. Gümbel (1) a décrit une phyllite noduleuse de la source du Roi, près Recoaro, dans les Alpes du Vicentin. Ce schiste cristallin présente une sorte de mica blanc, non élastique, doux au toucher, de la chlorite qui peut devenir assez abondante pour que la roche passe au schiste chlorité et du quartz qui forme des veines et des nodules. Il y a aussi de très petits cristaux de hornblende, et de ces microlites signalés par M. Zirkel dans les ardoises comme dans presque tous les schistes argileux. Les nodules de quartz montrent vers leur centre un minéral bleu radié, qui paraît être du disthène.

Des analyses de cette roche ont été faites par M. A. Schwager :

I. Roche totale.
I_a Partie attaquable par l'acide chlorhydrique (chlorite).
I_b Partie attaquable par l'acide sulfurique (mica blanc).
I_c Résidu insoluble.

	Proportions.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO et perte au feu	Somme.
I	100,00 %	32,04	26,66	2,28	6,83	0,78	2,15	4,36	1,61	3,31	100,02
I_a	16,50 %	26,06	23,03	13,63	16.97	0,84	7,81	0,36	0.16	12,12	100,98
I_b	48,15 %	43,07	37,39	»	6,89	0,12	1,48	7,19	1,32	2,07	99,53
I_c	35,35 %	77,44	13,98	»	1,68	0,68	0,11	2,38	2,82	0,88	99,97

(1) *Sitzungsb. d. math. phys. Classe.* Acad. de Munich, 18.

Micaschiste.

La Perrière. — Le micaschiste, qui forme la roche encaissante des filons de fer oligiste de la Perrière en Savoie, présente, d'après M. Lheureux, la composition suivante :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MgO	CaO	KO,NaO	Perte au feu.	Somme.
70,00	14,04	4,96	3,00	2,00	7 50	1,50	100,00

Erzgebirge. — M. G. Aarland (1) a analysé un autre micaschiste provenant de Zschopau dans l'Erzgebirge.

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	PbO,PhO5	Perte au feu.	Somme.
73,40	2,24	5,13	3,81	2,26	2,31	3,17	7,23	traces	0,41	99,96

Roches silicatées magnésiennes.

Serpentine.

Apennin. — M. Taramelli (2) a fait une étude de la serpentine classique de l'Apennin, dans la partie comprise entre la Ligurie et les collines du Plaisantin. Elle est constamment associée aux *gabbri rossi* et aux *argile scagliose ;* de plus, elle se montre en stratification concordante avec les grès et les argiles de l'éocène supérieur (Ligurien) dans lequel elle forme des amas lenticulaires, isolés ou continus. M. de Stefani est arrivé aux mêmes résultats pour la serpentine de l'Apennin toscan. Les véritables filons de roches serpentineuses sont très rares dans l'Apennin, bien qu'il y en ait quelques exemples en Ligurie et en Toscane.

En résumé, M. Taramelli considère les serpentines comme des roches éruptives sous-marines, émises à basse température, qui se sont déposées au fond de la mer et qui alternent par suite avec les dépôts du Ligurien. Elles n'ont aucunement contribué à produire les plissements des Apennins. Les euphotides, les hyoérites, les euritotalcites (Bombici) qui leur sont associées ont parfois l'apparence de dykes. Les *gabbri*, *galestri*, etc., seraient des magmas éruptifs boueux, plus ou moins mélangés avec les sédiments. Quant aux dépôts formés presque entièrement de roches serpentineuses remaniées et s'étendant en stratification discordante

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876, 1281.
(2) Renevier. Résumé d'un mémoire de M. Taramelli, publié dans *R. Accademia dei Lincei*. 1878.

sur le Ligurien, ils sont postérieurs aux grands plissements des Apennins et ils appartiennent au miocène (Aquitanien).

Enfin signalons aussi les études de M. Baretti sur les serpentines et *pierres vertes* du massif du Grand-Paradis et des Alpes-Graies septentrionales (*Ac. dei Lincei* 1877-1879).

Palœopikrite.

Alpes. — D'après M. Gümbel (1) la *Palœopikrite* est formée de péridot, d'enstatite, de diopside et de fer oxydulé.

Limurite.

Pyrénées. — Les schistes cristallins des Pyrénées, de même que ceux de l'Oisans, renferment quelquefois de l'axinite qui a surtout cristallisé dans leurs cavités et leurs fissures. M. Frossard (2) en mentionne notamment au Pic-d'Ereslitz, à Barèges, dans la vallée de Trélons, au Pic-d'Arbizon, et au-dessus de la cabane Chiroulet, sur la route qui mène au Lac-Bleu. C'est M. de Limur qui l'a observée dans ce dernier gisement et, d'après M. Zirkel, elle y forme une roche contenant 60 p. 100 d'axinite, 30 à 35 p. 100 de pyroxène entrelacé avec de l'amphibole d'un beau vert, 5 à 10 p. 100 de quartz et de chaux carbonatée, avec quelques cristaux de sphène et traces de pyrite ainsi que de magnétite. Cette association de minéraux a été considérée comme une roche spéciale à laquelle on a donné le nom de *Limurite*. Il faut observer toutefois que les roches contenant de l'axinite présentent une composition minéralogique inégale et très variée, qu'elles sont en outre bien peu étendues et très exceptionnelles.

Roches plutoniques orthosées.

Granitite.

M. H. Rosembusch a reconnu au microscope qu'il existe du pyroxène dans le granitite porphyrique des Vosges.

Gneiss.

New-York. — M. P. Schweitzer (3) a fait connaître la composition chimique du gneiss de l'île Manhattan, à New-York :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	Fe	S	MgO	CaO	KO	NaO	Résidu.	Somme.
57,20	19,51	9,52	0,59	0,67	4,40	5,73	0,28	2,13	0,48	100,51

(1) *Kurze Anleitung zu geologischen Beobachtungen in den Alpen.*
(2) *Bulletin de la Société Ramond*, XIII, 119, 1878. — *Neues Jahrbuch* 1878.
(3) *Jahresbericht der Chemie für* 1878, 1282.

Granite albitique.

CONNECTICUT. — MM. George J. Brush et Edward S. Dana (1) ont décrit un granite albitique du comté de Fairfield (Connecticut) qui doit être classé à la suite des roches granitiques orthosées. Il est très remarquable, car il ne contient pas moins de sept espèces nouvelles de phosphates manganésiens. Ses minéraux sont le quartz, l'albite, le microcline en grandes masses, un mica hydraté voisin de la damourite et ayant une structure globuleuse concentrique, le spodumène qui est en cristaux dont le poids peut s'élever accidentellement jusqu'à 1 quintal, la cymatolite, résultant sans doute de la décomposition du spodumène, l'apatite dont une variété peut être verte et manganésifère, le pyrochlore, la columbite, le grenat, la tourmaline, la staurotide, ainsi que l'amblygonite (Hébronite), la rhodochrosite, et enfin les phosphates d'urane jaune et vert.

Voici d'ailleurs quels sont ces nouveaux phosphates; ils ont été décrits par MM. Brush et E. S. Dana et analysés par MM. Penfield et Wells :

L'*eosphorite* se présente en cristaux orthorhombiques ayant un clivage facile suivant la grande diagonale. Sa dureté est 5; sa densité 3,134. Elle paraît isomorphe avec la childrénite; c'est essentiellement un phosphate d'alumine et de manganèse, tandis que la childrénite est un phosphate d'alumine et de fer :

$$Al^2Ph^2O^8 + 2H^2RO^2 + 2aq.$$

Dans cette formule R correspond au manganèse et au fer, avec de petites quantités de calcium et de sodium. Le rapport du manganèse au fer est d'ailleurs de 10 à 3.

La *triploïdite* offre une structure fibreuse ou columnaire et se montre quelquefois en cristaux qui sont monocliniques. Sa dureté est inférieure à 5; sa densité est 3,697.

$$R^3Ph^2O^8 + H^2RO^2.$$

Dans R, composé de manganèse et de fer, le rapport Mn : Fe = 3 : 1.

Parmi les phosphates et arséniates qui, par leurs compositions, se rapprochent de la triploïdite, les auteurs mentionnent la libéthénite, l'olivenite, le lazulite.

La *Dickinsonite* qui, pour l'aspect général, ressemble à certaines variétés de chlorite, se montre en masses cristallines ayant

(1) *American Journal of Sciences and Arts*, XVI, 1878.

une structure feuilletée. Elle appartient au système monoclinique. Sa dureté varie de 3,5 à 4; sa densité est 3,341.

$$R^3Ph^2O^8 + \frac{3}{4}aq. \quad R = Mn : Fe : Ca : Na^2 = 5 : 2\frac{1}{2} : 3 : 1\frac{1}{2}.$$

La *Lithiophilite* forme de petites masses irrégulières et arrondies, qui ont habituellement une couleur saumon et sont enveloppées par l'albite. On y distingue trois clivages. Sa dureté est à peu près 4,5 et sa densité 3,428.

$$L^3PhO^4 + Mn^3Ph^2O^8.$$

Ce minéral appartient au groupe de la triphyline. D'après les analyses qui ont été faites par MM. Rammelsberg et Penfield, la triphyline est un phosphate de fer, de manganèse et de lithium : mais il existe probablement divers composés isomorphes dans lesquels les proportions de fer et de manganèse varient et qui ont pour formule générale $R^3PhO^4 + R^3Ph^2O^8$.

La *Reddingite*, qui tire son nom de la localité de laquelle elle provient, se trouve en petits octaèdres appartenant au système orthorhombique et isomorphe avec la scorodite. Sa dureté est inférieure à 3,5; sa densité est à peu près 3,102. Elle possède un éclat vitreux un peu résineux et une couleur rosâtre passant quelquefois au brun. C'est un phosphate de manganèse hydraté.

$$Mn^3Ph^2O^8 + 3aq.$$

Il importe d'observer qu'en faisant bouillir une solution d'acide phosphorique avec du carbonate de manganèse, M. Debray (1) a obtenu des grains brillants et cristallins offrant la même composition.

La *Fairfieldite* est transparente, incolore ou blanc jaunâtre et possède un éclat adamantin. Sa dureté est 3,5 et sa densité 3,15; c'est encore un phosphate hydraté de manganèse, mais il contient de la chaux et a pour formule

$$R^3Ph^2O^8 + 2aq.$$

Enfin une septième espèce nouvelle appartient également aux phosphates et a été nommée par MM. Brush et E. S. Dana *Fillowite*. Elle est grenue, translucide, jaune ou brunâtre. Sa dureté est 4,5 et sa densité environ 3,41. Sa formule est

$$R^3Ph^2O^8 + aq.$$
$$R = Mn : Fe : Ca : Na^2 = 6 : 1 : 1 : 1.$$

(1) *Ann. Ch. et Ph.* [3], LXI, 433; 1861.

Porphyre quartzifère.

CORNOUAILLES. — En faisant une étude de l'*Elvan* du Cornouailles, M. J.-H. Collins a pensé qu'il y avait lieu de diviser cette roche importante, en trois variétés distinctes, pour chacune desquelles il propose des noms différents.

1° L'*Elvan* le plus habituel présente à la lumière polarisée une pâte indistincte, quartzo-feldspathique, renfermant des cristaux de quartz avec inclusions liquides, du feldspath orthose généralement un peu décomposé et quelques lamelles de mica. Les cristaux de quartz sont ordinairement un peu arrondis et comme rongés par la pâte feldspathique, ce qui a déjà été mentionné par M. Phillipps. M. Collins propose de donner le nom d'*Elvanyte* à cette roche type.

2° Dans la deuxième variété, les cristaux de quartz et de mica sont très rares et on ne distingue pas de cristaux de feldspath à l'œil nu. Cette roche apparaît comme formée d'aiguilles ou de paquets fibreux de feldspath avec quelques petits grains de quartz. L'*Elvan* présentant ce caractère se trouve à St-Dennis-Down, St-Stephens, Goombarrow et en d'autres endroits dans le granite décomposé près St-Austell. Il se rencontre également dans le Killas, à Newham, près Truro, et une grande partie de cette dernière ville est même construite avec lui. C'est la pierre que l'on a souvent prise pour du grès, et que l'on a rapportée, par erreur, à l'oolithe. Comme le type de cet *Elvan* se trouve à Trelavar-Down, M. Collins lui donne le nom de *Trélavéryte*.

3° Enfin la troisième variété, qui est très différente des deux autres, provient de Trelissick. Elle contient du mica brun-clair, qui passe au vert dans certaines localités. Du quartz ressemblant beaucoup au corindon y est quelquefois disséminé; mais les cristaux distincts de feldspath y sont très rares. Comme M. Philipps, M. Collins a pu observer que le quartz renferme des inclusions gazeuses et non liquides, tandis que dans l'*Elvan* ordinaire du Cornouailles les inclusions liquides sont très nombreuses. Il propose pour cette variété le nom de *Trelissickyte*.

— En résumé, le terme d'*Elvan* est applicable aux dykes quartzo-feldspathiques, souvent porphyriques, ayant une pâte crypto-cristalline ou granuleuse. Dans cette roche, il y a lieu de distinguer trois variétés, dont le tableau suivant résume la composition minéralogique et chimique :

L'*Elvanyte* A contient de nombreux cristaux de quartz et d'orthose, avec

(1) *Royal geological Society of Cornwall*, 1877, 227.

un peu de mica; le quartz est souvent arrondi et présente des inclusions fluides.

Le *Trélavéryte* B et B' ne contient que très rarementdes cristaux distincts de quartz, de feldspath ou de mica; ces cristaux peuvent même manquer complètement.

Le *Trélissickyte* C renferme des grains de quartz et un grand nombre de lamelles de mica; les cristaux distincts de feldspath y sont rares ou absents. C'est un porphyre micacé, qui a une très faible teneur en silice et qui se rapproche de la minette.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	LiO	Fl	HO hygrométr.	HO combinée.	Somme.
A	2,62	72,51	13,31	tr.	3,87	0,62	0,60	1,52	6,65	0,43	»	tr.	0,11	0,49	100,11
B	2,65	71,46	15,38	0,30	2,27	tr.	0,47	0,22	5,51	2,79	»	»	0,13	1,27	100,10
B'	2,45	72,43	18,08	2,20	»	tr.	tr.	tr.	4,12		tr.	tr.	0,29	3,69	100,81
C	2,72	18,01	19,20	4,82	»	tr.	4,30	5,80	10,12		tr.	tr.	0,61	6,32	99,18

Porphyre granitoïde.

BEUCHA. — M. Kalkowsky (1) a étudié le porphyre granitoïde de Beucha, près de Leipzig. Ce porphyre, à pâte nettement granitoïde, se rapproche plutôt, par les conditions de son gisement, des porphyres felsitiques et spécialement de ceux qui contiennent de l'augite. Ce dernier minéral existe d'ailleurs dans la roche de Beucha, rarement à l'état libre, mais presque toujours transformé en chlorite. Le quartz du porphyre est très riche en inclusions vitreuses; on y trouve aussi des inclusions liquides; ces deux caractères l'éloignent encore de la classe des porphyres granitoïdes proprement dits pour le rapprocher de celle des porphyres quartzifères à pâte compacte.

Les minéraux accessoires de la roche sont le mica magnésien, le fer oxydulé, le fer titané, l'apatite et le grenat. La pâte n'offre jamais d'éléments vitreux ou amorphes; elle est formée par un mélange cristallin grenu de quartz et de feldspath.

Le porphyre de Beucha contient d'assez nombreux fragments de roches schisteuses parmi lesquelles figurent des schistes mâclifères. L'homogénéité de ces fragments porte M. Kalkowsky à les considérer comme appartenant à des roches, déjà métamorphosées lors de l'éruption du porphyre, qui n'a fait qu'empâter leurs fragments, sans exercer sur eux aucune action de contact qui lui fût propre.

(1) *Neues Jahrb.*, 1878, 276.

Pétrosilex orthosé.

NOUVELLE-ANGLETERRE. — M. Sterry Hunt (1) a étudié des roches pétrosiliceuses, appartenant au puissant étage huronien, et leur analyse a été faite sous sa direction par M. Gordon Broome.

I est une variété compacte, rouge pâle, de Saint-John, dans le Nouveau Brunswick. Elle avait été décrite comme un quartzite porphyrique et schisteux.

II est une variété rouge poupre, homogène et à grain fin, de Newbury, Massachussetts.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Perte au feu.	Somme.
I	2,644	81,66	7,43	2,20	1,43	0,71	4,64	1,72	0,21	100,00
II	2,628	79,63	9,67	2,87	0,20	0,61	5,10	1,45	0,47	100,00

Ces roches pétrosiliceuses, très riches en silice, sont essentiellement composées d'orthose et de quartz. Distinctement stratifiées, mais azoïques, elles sont associées d'une manière intime à des couches dioritiques, chloritiques et épidotiques; elles appartiennent aux roches métamorphiques.

Roches plutoniques anorthosées.

Diorite.

ILMENAU. — M. E. Schmid (2) a donné la composition de la diorite labradorique d'Ehrenberg, près d'Ilmenau, ainsi que du feldspath et de l'hornblende qui la constituent :

A est le feldspath labrador. — B est l'hornblende.

C diorite proprement dite.

D et E variétés de diorites, riches en hornblende, désignées sous le nom de schiste hornblendé ou d'amphibolite schisteuse.

	Densité.	SiO^2	TiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	NaO	KO	HO	Somme.
A	»	52,74	»	28,90		6,65	»	6,19	3,10	1,90	99,48
B	2,979	43,19	0,55	19,55	19,03	11,69	2,62	»	»	3,18	99,81
C	»	50,96	»	29,11		13,22	»	3,81	1,25	1,45	99,80
D	3,021	47 26	0,30	14,26	16,40	9,98	7 87	3,00		0,37	99,44
E	2,929	52,37	0.59	15,55	14,60	8,21	5,12	2,45	0,13	1,07	100,09

D'après les densités de l'hornblende et du feldspath, M. Schmid a calculé que l'amphibolite D contient 88 d'hornblende et seulement 12 de labrador, que l'amphibolite E contient 62 d'hornblende et 38 d'amphibole.

(1) *Special report on the trap dykes and azoic rocks of South Eastern Pennsylvania*, 1re partie, 192.

(2) *Jahresbericht der Chemie für* 1876; 1287.

Mélaphyre.

BUKOWINE. — M. C. Pilide (1) a analysé un mélaphyre de Parenkailor, Bukowine :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	Mn^3O^4	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	CO^2	Somme.
2,6729	41,43	6,79	13,62	3,42	5,66	11,49	10,02	0,74	3,37	4,30	0,51	101,35

Roches volcaniques orthosées.

Trachyte quartzifère.

ANTRIM. — Un trachyte quartzifère de la montagne Tardree, comté d'Antrim, Irlande, a été étudié par M. von Lasaulx (2). Ce trachyte, bien qu'il pénètre ou recouvre en certains points le basalte, est la roche d'origine volcanique la plus ancienne du comté d'Antrim. Il est formé d'une pâte grise ou jaunâtre, avec cristaux de sanidine, quelques prismes d'anorthose, des grains de quartz rappelant plus ou moins la forme bipyramidée et du mica noir. Dans les pores très nombreux, se trouvent des lamelles hexagonales de tridymite, le plus souvent groupées et recouvertes d'une croûte jaunâtre d'opale, provenant de la décomposition de la tridymite elle-même.

L'examen microscopique a fait reconnaître aussi de la magnétite, de l'apatite et beaucoup d'épidote; la pâte paraît un mélange intime et cristallin de feldspath, de quartz et de tridymite.

L'analyse de la roche faite par M. E.-T. Hardman a montré qu'elle est riche en silice, pauvre en alumine et qu'elle contient une forte proportion de chaux, due sans doute à la présence de l'épidote :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Perte au feu.	PhO^5	Somme.
76,961	5,101	2,344	7,064	0,295	4,262	1,818	2,102	traces	99,947

Argilophyre.

VICENTIN. — M. C.-W. Gümbel (3) donne, d'après M. Schwager, la composition d'un argilophyre (*Porphyr-artiger Thonstein*) blanc ou jaunâtre qui forme filon dans le calcaire du mont Spizze, dans les Alpes du Vicentin, lequel paraît être contemporain de la dolomie de Schlern :

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876; 1287.

(2) *Roy. Geol. Soc. of. Ireland*, V, 30.

(3) *Acad. des sciences de Munich*, mars 1879.

I Argilophyre.
I_a Partie attaquable par l'acide sulfurique. — I_b Résidu insoluble.

	Proportions.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
I	»	64,16	21,38	2,90	0,66	0,28	2,12	0,46	8,52	100,48
I_a	56,68 %	43,67	34,75	4,67	0,63	0,24	1,09	0,66	15,03	100,74
I_b	43,32 %	90,99	5,01		0,58	0,34	3,62	0,00	0,19	100,73

En lames minces, cette roche montre des parties qui consistent en argile et en silice amorphe. Ses nombreux cristaux de feldspath sont décomposés et à peine transparents; cependant, à la lumière polarisée, on reconnaît qu'ils appartiennent tous à l'orthose. Presque toujours on y distingue du quartz et assez fréquemment du mica, mais M. Gümbel n'a pu y trouver de l'hornblende.

Lorsque l'argilophyre du mont Spizze est blanc et fortement décomposé, on l'exploite pour la fabrication de la porcelaine.

Rétinite.

CANTAL. — Un rétinite, utilisé dans la fabrication du verre et provenant du Plombon, dans la commune de Saint-Jacques-des-Blats, arrondissement d'Aurillac, a été analysé au bureau d'essais de l'École des mines.

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	Perte au feu	Somme.
70,60	9,60	2,80	0,60	1,80	10,40	4,00	99,80

Roches volcaniques anorthosées.

Rétinite anorthosé.

LA RASTA. — M. C.-W. Gümbel (1) a étudié au microscope un rétinite porphyrique de la Rasta, dans les Alpes du Vicentin. Ce rétinite a déjà été examiné par M. de Lasaulx; il est formé principalement d'une masse vitreuse gris-rougeâtre, à structure fluidale, renfermant des cristaux allongés et limpides d'anorthose, des prismes d'hornblende brun verdâtre, fibreuse, quelques granules de quartz, et une poussière de fer oxydulé. Les fissures de la roche sont remplies d'oxyde de fer hydraté, de lamelles d'un mica brun foncé et de fragments très petits de porphyre augitique.

Les analyses faites par M. Schwager ont donné les résultats suivants :

(1) *Sitzung der math. phys. Classe*, Acad. de Munich, 1879, 36. — Revue de géologie, XII, 81.

I Rétinite porphyrique.
I_a Partie soluble dans l'acide chlorhydrique, composée d'un peu de calcaire, de mica chloritique et d'anorthose attaquable; elle est de 27,28 p. 100.
I_b Partie insoluble dans l'acide chlorhydrique.
I_c Pâte vitreuse du rétinite. Elle a été séparée avec soin, et sa composition est très voisine de celle de la partie (I_b) insoluble dans l'acide chlorhydrique.

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	HO,CO^2	Somme.
I	62,32	16,62	1,51	2,06	0,09	4,62	2,30	1,70	3,54	4,72	99,48
I_a	47,74	19,54	8,42	»	»	9,39	3,23	3,01	2,40	6,09	99,82
I_b	68,15	15,68	2,28	»	»	2,91	1,98	1,24	3,98	4,25	100,47
I_c	67,39	14,62	2,37	»	»	2,54	0,87	2,79	4,37	5,29	100,24

ÉQUATEUR. — M. G. vom Rath (1) a fait l'analyse d'un rétinite (*Pechstein*) à base d'andésite, ayant une densité de 2,360 et provenant d'Oyacachi, République de l'Équateur :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
73,61	12,05	2,27	0,89	0,20	3,82	4,34	3,35	100,53

Obsidienne anorthosée.

ANTISANA. — Une obsidienne globuleuse, formant la lave de l'Antisana, a encore été analysée par M. G. vom Rath (2) :

I Globules ou sphérolithes contenus dans cette obsidienne.
II Pâte vitreuse qui les enveloppe, dans laquelle se trouvent des cristaux d'oligoclase.

	Densité	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO,NaO (différence).	HO	Somme
I	2.386	77,01	12,90	1,88	0,21	0,29	7,71	0,45	100,45
II	2,320	77,76	13,14	1,47	0.63	»	7,00	0,24	100,24

Les analyses comparatives faites par M. Delesse (3) sur le rétinite de San Antiocco et sur les globules qu'il renferme, ont donné des résultats inverses de ceux fournis par cette obsidienne; car, dans les globules de San Antiocco, la cristallisation a eu pour effet d'éliminer une partie des alcalis et de l'eau et de concentrer au contraire l'alumine et la silice; mais il est bon d'observer que dans l'obsidienne d'Antisana, le feldspath dominant est l'anorthose et que la proportion d'eau est très faible relativement à celle du rétinite; on s'explique donc la différence des résultats obtenus pour ces deux roches vitreuses.

(1) *Jahresbericht f. Chemie, für* 1875, 1217.
(2) *Jahresbericht f. Chemie, für* 1875, 1217.
(3) *Bull. de la Soc. géol.*, [2], VI, 105.

Basalte.

Kosakow. — M. F. Farsky (1) a donné les analyses du Péridot A, de la Bronzite B, de l'Enstatite C, du Diopside D, ainsi que de la Picotite E, qui entrent dans la constitution du basalte de Kosakow :

	SiO^2	Al^2O^3	Cr^2O^3	MgO	FeO	MnO	NiO et CoO	CaO	HO	Somme.
A	41,22	0,15	0,05	49,42	9,10	0,18	0,29	»	»	100,41
B	53,29	2,77	traces	27,01	15,43	traces	»	1,19	0,35	100,04
C	56,23	2,62	0,31	32,37	6,67	0,23	»	0,96	0,95	100,37
D	53,44	3,74	0,75	16,99	4,70	0,31	»	19,90	»	99,83
E	3,77	30,34	5,75	17,87	22,27	»	»	»	»	100,00

Limburgite.

Alpes. — D'après M. W. Gümbel (2), la roche basaltique, nommée *Limburgite*, est formée d'augite, de peridot et de fer oxydulé avec une pâte vitreuse; et elle ne contiendrait pas de feldspaths.

Tuf basaltique.

Aveyron. — Un tuf basaltique employé en agriculture, provenant du Puy-de-Tou, département de l'Aveyron, a été analysé au bureau d'essais de l'École des mines. Il contient 0,37 d'acide phosphorique correspondant à 0,82 de phosphate tribasique de chaux.

ROCHES MÉTALLIFÈRES.

L'étude géologique des roches métallifères est d'une grande importance pour le mineur, comme pour le géologue; mais les limites dans lesquelles la *Revue de géologie* est obligée de se renfermer nous forcent à être très concis sur ce sujet et à renvoyer le lecteur aux publications spéciales.

Baryum.

Bantry. — Les mines de baryte sulfatée situées près de Bantry ont été étudiées par M. Edward Hardman (3). Leur filon principal, dirigé N. 80° E., coupe les schistes du vieux grès rouge sous un angle de 10° à 15°, et son épaisseur est environ de 4 mètres; il a été suivi sur une longueur de 300 mètres et exploité jusqu'à une profondeur de 25 mètres. Le centre du filon, sur un tiers de sa largeur, a été rempli par de la baryte sulfatée très pure, tandis que sur les côtés on a seulement une variété impure appelée *cawk*, qui contient une certaine quantité de quartz, de calcite, de malachite, de cuivre panaché et de fer spéculaire. Vers les parois du filon, on observe en certains endroits de la stéatite ou de la chlorite.

De même que les filons de cuivre des comtés de Cork et Kerry, ces filons de baryte de Bantry sont plus récents que le vieux grès rouge et le carbonifère du sud de l'Irlande. Ils datent probablement de la même époque que les filons de cuivre du Cornouailles; mais il est impossible de déterminer plus exactement leur âge, par suite de l'absence, dans cette partie de l'Irlande, de terrains postérieurs au carbonifère. Il est probable toutefois que les fentes primitives ayant donné naissance à ces filons, se sont produites pendant la dislocation qui a déterminé le plissement du vieux grès rouge dans le sud-ouest de l'Irlande.

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876; 1229.
(2) *Kurze Anleitung zu geologischen Beobachtungen in den Alpen.*
(3) *Journal of the royal geol. Society of Ireland*, XV, 1877-78.

Aluminium.

Bauxite.

Villeveyrac. — Un échantillon de Bauxite de Villeveyrac, dans l'Hérault, a été analysé au bureau d'essais de l'École des mines :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	TiO^2	Perte au feu.	Somme.
15,40	75,60	0,80	0,30	0,30	traces	7,40	99,80

Cette bauxite, riche en alumine, est compacte, très légère; sa couleur est jaunâtre, avec parties rougeâtres.

Manganèse.

Gouaux. — D'après M. Carcanagues, le gîte de manganèse de Gouaux-de-Larboust (Haute-Garonne) est stratifié dans des schistes argileux siluriens, qui passent parfois à l'ardoise.

Ce gite est formé de deux couches distinctes ayant environ $0^m,75$ de puissance moyenne et séparées par une douzaine de mètres; toutes deux, en obéissant aux plissements des schistes, ont pris la figure d'angles dièdres tournant leur convexité vers la surface du sol.

En faisant un essai du minerai de Gouaux, M. Carcanagues a reconnu qu'il contient environ 65 d'oxyde de manganèse, mélangé d'un peu d'oxyde de fer; de plus, l'absence de la baryte sulfatée est favorable à son emploi dans la métallurgie.

Forclaz. — Le minerai de manganèse de Forclaz, en Savoie, dont la composition a été déterminée par M. Lheureux, se rencontre en nids dans un calcaire gris et rougeâtre dont les couches ont la direction N. 55° E. et appartiennent à l'étage tithonique.

Mn	Fe	Co	Ni	OXYGÈNE en excès.	OXYGÈNE des protoxydes.	MgO	CaO	CO^2	HO	Somme.
44,52	1,35	traces	traces	9,50	12,77	2,34	6,50	3,00	16,00	95,98

Peroxyde de manganèse du fond des mers.

S'il se forme souvent dans les marais et dans les lacs des minerais de fer et de manganèse, les sondages exécutés par Le Challenger, dans le fond des Océans, ont montré qu'on y rencontre fréquemment des nodules et des concrétions ainsi que des incrustations de peroxyde de manganèse. On doit à M. Gümbel une étude bien complète de ces dépôts remarquables.

Il a d'abord recherché si, comme dans les nullipores, ils ne résultaient pas d'une concentration de matière minérale opérée par des végétaux ou par des êtres organisés. Or en les examinant au microscope, après les avoir réduits en plaques minces, il n'y a observé aucune trace de structure organique. De plus, il a constaté qu'il en est de même pour le squelette laissé par les nodules, lorsqu'on les attaque par l'acide chlorhydrique : ce squelette peut être conservé, en le faisant dessécher lentement et en l'imbibant de baume du Canada, étendu de chloroforme. M. Gümbel a reconnu ainsi que les nodules ont une structure analogue à celle de l'oolithe.

Dans le cas, assez fréquent, où un grain de ponce se montre à leur centre, ses cavités ont été remplies par une argile rouge dont on retrouve des couches alternant avec des couches de peroxyde de manganèse. On distingue d'ailleurs dans la ponce, du sanidine, de l'anorthose, du fer oxydulé et aussi un minéral brun verdâtre qui paraît être de l'hornblende; M. Gümbel pense qu'elle provient d'éruptions sous-marines.

Voici, d'après M. Schwager, la composition chimique A d'un nodule manganésifère, B du résidu blanc, boueux, laissé par ce

même nodule attaqué par l'acide nitrique. Ces deux matières ont été desséchées à 110°.

	Fe^2O^3	MnO^2	HO	SiO^2	Al^2O^3	NaO	Cl	CaO	TiO^2	SO^3	KO	MgO	CO^2	PhO^5	CuO	NiO, CoO	BaO	Somme.
A	27,46	23,60 (*)	17,82	16,03	10,21	2,36	0,97	0,92	0,66	0,48	0,40	0,18	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	101,16
B	4,56	»	4,51	72,16	11,98	0,57	»	1,86	»	»	0,83	1,04	»	»	»	»	»	97,48

(*) Un peu manganésifère.

On peut ajouter des traces de matières organiques, ainsi que des traces douteuses de plomb, d'antimoine, de bore, de lithium et d'iode.

Il est à observer que ce nodule de manganèse contient, indépendamment de beaucoup d'oxyde de fer, de petites quantités d'oxydes métalliques, particulièrement de cuivre, de nickel, de cobalt et même des traces d'autres métaux. Il contient aussi de la baryte, comme le minerai de manganèse des filons; mais on n'y a pas trouvé d'argent, ni d'arsenic. La somme des matières dosées est notablement supérieure à 100, résultat qui, selon M. Gümbel, doit vraisemblablement être attribué à ce que le fer n'est pas tout entier à l'état de sesquioxyde.

Quant au résidu B, laissé par le nodule dans l'acide nitrique, il est riche en silice, pauvre en alumine et il renferme un peu d'alcali. Sa composition rappelle celle de certains argilites (*Thonstein*).

Parmi les dépôts manganésifères analogues à ceux qui se forment maintenant dans le fond des Océans, M. Gümbel indique les nodules calcaires, enveloppés de schiste, qui appartiennent au dévonien des bords du Rhin et sont désignés sous le nom de *Kramenzelstein*. En Bavière, il y a également des nodules manganésifères dans le grès bigarré, dans le keuper, ainsi que dans le calcaire rouge du lias des Alpes. Ajoutons que les divers gîtes de manganèse, exploités dans les terrains paléozoïques de la Montagne-Noire et des Pyrénées, paraissent avoir la même origine.

Enfin M. Gümbel attribue ces nodules à l'action des sources minérales surgissant du fond des mers et tenant en dissolution, à l'aide d'un excès d'acide carbonique, des carbonates de manganèse et de fer. Dans cette hypothèse, on s'explique facilement pourquoi de pareils nodules sont surtout fréquents dans les régions volcaniques sous-marines; pourquoi ils contiennent non seulement de la baryte, mais encore des métaux variés. On s'explique aussi pourquoi ils présentent des couches concentriques entourant un

grain ou un noyau primitif; ces couches résultent de dépôts successifs, opérés pendant que le nodule était mis en mouvement par les sources du fond.

On trouve d'ailleurs, jusque dans le lit de la Seine, des concrétions calcaires recouvrant soit un fragment pierreux, soit une coquille d'unio, qui ont une origine analogue à celle des nodules manganésifères de l'Océan.

Fer.

Magnétite.

ITALIE CENTRALE. — M. Ponzi (1) pense que les filons des montagnes de la Tolfa, dont l'oxyde magnétique constitue la masse principale, sont de véritables dykes éruptifs. Ils sont invariablement en contact avec les masses trachytiques, et ils paraissent s'être introduits dans des fentes qui se sont produites, postérieurement aux émissions trachytiques, et qui ont suivi de préférence les surfaces de jonction du trachyte avec les roches encaissantes.

Fer oligiste.

LA PERRIÈRE. — Les filons de fer oligiste de la Perrière, près d'Arvillard, en Savoie, se trouvent encaissés dans les micaschistes : ils sont au nombre de deux, séparés par un banc stérile de $2^m,50$; mais ils se rejoignent sur certains points. Leur direction est N. 40° E. La puissance du filon supérieur A est de $1^m.50$ environ; celle du filon inférieur B, de 1 mètre. D'après M. Lheureux, voici leur composition :

	Fe	O	Quartz.	Somme.
A	57,40	24,00	18,50	99,90
B	65,24	28,00	6,00	99,24

Hématite.

CALVADOS. — Une hématite rouge, intercalée dans le terrain silurien de Saint-Remy, a été analysée au bureau d'essais de l'École des mines :

Fe^2O^3	CaO	MgO	PhO^5	Argile.	Perte au feu.	Somme.
84,60	0,30	traces	0,06	12,30	2,60	99,86

MAZENAY. — La mine de fer de Mazenay appartient au Creusot,

(1) *La Tuscia romana e la Tolfa. — Accad. dei Lincei* [3], I.

qui y exploite un minerai de fer dont la couche est presque horizontale, excepté dans la concession de Change, où elle prend la forme d'un fond de bateau; le minerai se trouve compris entre le trias et le calcaire à gryphées arquées; il présente des infiltrations de chaux carbonatée. Au puits Saint-Charles, où son épaisseur est faible, elle varie de $0^m,60$ à $1^m,50$. D'après des analyses faites au laboratoire du Creusot, la composition de ce minerai serait comprise entre les limites suivantes :

Fe	HO,CO^2	SiO^2	$O(deFe^2O^3)$	S	Ph	CaO,MgO,Al^2O^3 (différence).	Somme.
28—30	18—20	10—12	12—12,75	0,08—0,12	0,34—0,42	11,58—25,31	100,00

Une autre analyse du minerai de Mazenay a donné environ 29 p. 100 de fer et 0,35 p. 100 de phosphore.

Ocre.

SAINT-JULIEN. — Dans les schistes argileux du trias, au-dessus de Saint-Julien-en-Maurienne, se trouvent des dépôts d'ocres, qui ont été analysés par M. Lheureux, et présentent la couleur I rouge, II jaune et III blanche :

	Fe^2O^3	CaO	Argile et sable.	$HO\,CO^2$	Somme.
I	61,50	4,00	25,50	9,00	100,00
II	14,30	8,00	67,70	10,00	100,00
III	1,80	8,70	76,70	12,80	100,00

TOSCANE. — Les environs de Castel del Piano, Arcidosso et Pian Castagnaio, villages situés au pied du pic volcanique de Monte-Amiata, renferment des gisements de *terre-d'ombre*. Une de ces terres, de première qualité, analysée par M. C. Giannetti (1), lui a donné :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	CaO	KO et NaO	HO	Somme.
11,03	1,80	69,58	traces	6,15	0,06	11,41	100,03

LA TOLFA. — M. Ponzi (2) signale l'existence d'un certain nombre de gisements d'ocres dans les montagnes de la Tolfa. Ces substances sont un produit de la décomposition de la tête des filons ferrugineux, probablement par l'eau et les agents atmo-

(1) *Sulle terre gialle e bolari del Monte Amiata, con appendice relativa alla farina fossile*, etc. (Extrait par M. de Cossigny.)

(2) Ponzi. *La Tuscia romana e la Tolfa. Acad. dei Lincei* [3], I. (Extrait par M. de Cossigny).

sphériques. La couleur, variable selon les gîtes, présente des nuances jaunes, brunes et rouges, différences dues au degré d'oxydation du fer, à son état anhydre ou hydraté et parfois, peut-être, à la présence de quelque corps étranger. Les exploitants des filons de fer n'ont tiré jusqu'ici aucun parti de ces produits.

Sidérose.

SAVOIE, DAUPHINÉ. — Les Alpes de la Savoie et du Dauphiné sont riches en fer spathique (sidérose), et nous donnons ici, d'après MM. Léon Lévy et Lheureux, quelques renseignements sur divers gîtes de ce minerai qui se trouvent à la Rochette, aux Fourneaux et à Saint-Georges-d'Hurtières.

I Filon de Molliet ayant une puissance de $0^m,20$ à 2 mètres et une direction N. 49° O.

II Filon de Villard, formé d'un certain nombre de parties riches en fer carbonaté, qui sont espacées de 1 à 17 mètres et séparées par des zones stériles. Les parties riches ont une épaisseur de $0^m,45$ à $0^m,60$. La direction du gîte est N.-S. Les deux filons de Molliet et de Villard sont encaissés dans le massif de micaschistes, qui va des environs de Grenoble au mont Blanc.

III Gîte du grand Filon, d'une direction N. 30° E. et d'une épaisseur variant de 3 mètres à $1^m,20$.

IV Gîte de Plan-Raphin, d'une direction N. 40° E. et d'une épaisseur de $1^m,50$. Ces deux derniers gîtes sont situés dans la Haute-Maurienne au-dessus des Fourneaux, près de Modane; ils sont encaissés dans les schistes anthracifères dont ils suivent la direction.

V et VI Minerais des Poules et de Pierre-Aigue, provenant du filon de fer spathique de Saint-Georges-d'Hurtières, près d'Aiguebelle. Ce filon encaissé dans les micaschistes a une direction E.-O. et une épaisseur moyenne de 3 mètres.

	Fe	Mn	O	CaO	MgO	CO^2	S	Al^2O^3	HO	Gangue	Somme
I	33,60	2,95	9,89	—	3,66	42,11	»	5,92	10,60	1,50	100,23
II	38,00	5,50	11,04	tr.	1,83	37,96	0,27	—	—	5,00	99,00
III	37,09	2,36	11,67	4,50	5,77	36,18	»	—	—	2,50	100,07
IV	34,71	7,93	13,26	5,50	0,73	33,67	»	—	—	4,20	100,00
V	36,10	2,53	11,03	8,00		36,81	»	—	—	6,00	100,47
VI	35,69	2,88	11,02	4,00	5,03	37,05	0,27	—	—	4,00	99,94

Les fers spathiques du Villard (II) et de Plan-Raphin (IV) sont ceux qui contiennent le plus de manganèse.

Le Creusot, qui possède à la fois les mines de fer spathique de Saint-Georges-d'Hurtières (VII) et d'Allevard (VIII), les a fait analyser dans son laboratoire, dans lequel on a trouvé pour moyenne de nombreux essais, la composition suivante :

	Fe	Mn	O	CaO,MgO	CO^2	S	Ph	Al^2O^3	Quartz	Somme
VII	30—31	1,5—1,7	0,9—9,5	1,8—9,5	31—36	»	»	2—3	17	100,00
VIII	30—31	1,2—1,4	8,6—9,0	5,28—12,89	30—35	0,3—0,34	0,007	2—3	15	100,00

On voit, par ces dernières analyses, que le fer spathique d'Allevard et celui de Saint-Georges diffèrent assez peu; toutefois, ce dernier a le désavantage d'être plus siliceux et de contenir moins de magnésie.

Sidérose manganésifère.

MOËT-FONTAINE. — Le gîte ferro-manganésifère de Moët-Fontaine, près de Stavelot, est compris dans l'étage supérieur du système salmien de Dumont. Il forme, d'après M. Ad. Firket (1), une véritable couche de $0^m,75$ de puissance, accompagnée d'une série d'autres petites couches de même nature, alternant avec des schistes et des quartzophyllades.

En profondeur, il est constitué par un carbonate double de fer et de manganèse représenté par la formule $(FeO, MnO)CO^2$, et qu'on peut appeler sidérose manganésifère. Les affleurements consistent en oxyde de fer et de manganèse, résultant de l'oxydation des carbonates ferreux et manganeux constitutifs des gîtes. Cette oxydation est accompagnée d'une imprégnation des strates qui encaissent les couches de minerai.

Age des minerais de fer.

HAUTE-MARNE. — Le tableau suivant indique, d'après M. Rigaud (2), comment se trouvent répartis dans les terrains les minerais de fer que l'on rencontre dans la Haute-Marne :

Néocomien supérieur.	Minerai en place.
Néocomien inférieur.	Id. id.
Id. id.	Minerai remanié.
Oxfordien inférieur. .	Minerai d'alluvion.
Id. id.	Minerai en place.
Lias supérieur.	Minerai d'alluvion.
Id. id.	Minerai en place.
Lias moyen.	Id. id.

BELGIQUE. — C'est surtout en Belgique que les minerais de fer se rencontrent dans des gisements très variés, et, d'après M. Cornet (3), voici l'indication des terrains auxquels ils appartiennent :

(1) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, 33.
(2) *Annales des mines*, 1878, XIV, 9.
(3) *Catalogue spécial de l'industrie minérale belge à l'Exposition universelle de* 1878, *La Belgique minérale.*

TERRAINS.		NATURE DU MINERAI.
T. moderne		Couches de limonite concrétionnée (Campine).
T. quaternaire		Couche de limonite géodique (Hainaut). Amas de minerai d'alluvion (Luxembourg).
T. tertiaire.	Système scaldisieu	Couches de limonite en plaquettes (Campine).
	Système diestien	
	Système bruxellien	Couches de limonite (Groenendael).
T. crétacé.	Système aachénien	Amas de limonite (Tournai).
T. urassique.	syst. bathonien. Étage du calcaire de Longwy	Limonites hématites (Luxembourg).
	syst. bathonien. Étage de la limonite oolithique de Mont-St-Martin	Minette (Musson et Halanzy).
T. carbonifère.	Terrain houiller	Lits et roghons de fer carbonaté lithoïde.
	Calcaire carbonifère	Amas ou filons de limonite.
	Système des psammites du Condroz	
T. devonien.	Système condrusien	Oligiste oolithique (Namur et Liège).
	Syst. du calcaire eifelien	Amas ou filons de limonite.
	Syst. quartzo-schisteux eifelien	
Terrains silurien et cambrien		Oligiste manganésifère, lamelleux, bréux ou terreux (Liège et Luxembourg).

Météorites.

MADISON. — Un fer regardé comme météorique, qui provenait du comté de Madison (Caroline du Nord), a été analysé par M. B.-S. Burton (1). Sa densité était 7,46. A sa surface, les figures de Widmannstätt étaient à peine visibles; mais on distinguait de petites gouttes de chlorure de fer. La dissolution avait lieu dans l'acide chlorhydrique, sans dégagement d'hydrogène sulfuré, et le résidu, qui était très-faible, contenait un peu de silice, de fer, de chrome et de nickel.

Fe	Ni	Co	Ph	Cu	Résidu.	Somme.
94,24	5,17	0,37	0,14	traces	0,15	100,07

TEILLEUL. — M. Daubrée (2) a étudié une météorite tombée le 14 juillet 1845 au Teilleul (Manche). Elle était enveloppée d'une croûte d'un noir brillant qui, en lames minces, était vitreuse et verdâtre. Cette météorite avait seulement une densité de 3,235. Sa cassure bréchiforme, semblable à celle d'un tuf volcanique, faisait voir des grains verdâtres ou blancs dans une pâte gris-clair. L'étude microscopique a permis d'y reconnaître de l'anorthite, de l'enstatite, du diallage, du péridot, des grains de fer nickelé, de pyrrhotine et de

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876, 1317.
(2) *Assoc. scient. de France*, 1879, Bulletin n° 596.

fer chromé. Un fort électro-aimant n'a séparé que 2 p. 100 environ de grains attirables. L'acide nitrique bouillant dissout 26,3 centièmes de la météorite, et la composition de la partie attaquée est voisine de celle de l'anorthite.

D'après M. Daubrée, cette météorite se rapproche de celle de Juvénas; elle se rapproche également des roches qui servent de gangue à la pyrrhotine de Baïle en Norwége, ainsi que de certaines laves de l'Islande.

INDIANA. — La météorite tombée le 21 décembre 1876 à Rochester (Indiana) a été analysée par M. Lawrence Smith (1). Elle appartient à la variété pisolithique; elle s'écrase facilement entre les doigts, en donnant une poudre légère et de petits globules, souvent parfaitement sphériques. Sa densité est 3,55. La partie minérale pierreuse, traitée par l'acide chlorhydrique, donne 47,80 p. 100 de partie soluble A et 52,20 p. 100 de partie insoluble B.

	SiO^2	FeO	Al^2O^3	CaO	MgO	CrO	NaO	Somme.
A	34,55	27,75	traces	traces	36,38	»	0,46	99,14
B	57,84	14,04	0,23	5,31	24,97	0,10	0,84	100,30

L'analyse des globules sphériques conduit à peu près au même résultat, et le fer nickelifère se compose de 94,49 de fer, 4,12 de nickel et 0,51 de chrome.

Quant à la composition minéralogique de cette météorite, M. Lawrence Smith indique : bronzite, 46,00; — péridot, 41,00; — fer nickelifère, 10,00; — troïlite, 3,00; — et fer chromé, 0,15.

MISSOURI. — M. Lawrence Smith (2) donne aussi l'analyse de la météorite tombée le 3 janvier 1877 à Warrenton (Missouri). Cette météorite n'a d'analogie qu'avec celle qui tomba à Ornans le 11 juillet 1868. La croûte qui l'entoure est très épaisse et noire. L'intérieur de la pierre est d'une couleur uniforme de cendre très noire; elle est douce au toucher et très friable. Elle ne renferme qu'une très petite quantité de matière métallique. Sa densité est 3,47.

La partie minérale pierreuse, traitée par l'acide chlorhydrique, laisse seulement 19,60 de résidu B, la partie soluble A étant de 80,40. Ces deux parties étant analysées ont donné :

(1) *Annales de chimie et de physique*, [5], XIII, 1878.
(2) *Annales de chimie et de physique*, [5], XIII, 1878.

	SiO^2	FeO	Al^2O^3	CaO	MgO	NiO	CoO	NaO	CrO	Somme.
A	33,02	37,57	0,12	traces	28,41	1,54	0,31	0,07	»	101,04
B	59,90	10,20	0,20	7,62	22,41	»	»	1,00	0,33	101,66

Le fer nickelifère contient : fer, 88,51 ; — nickel, 10,21 ; — cobalt, 0,60.

Quant à la composition minéralogique, elle est à peu près la suivante : péridot, 76,00 ; — bronzite et pyroxène, 18,00 ; — fer nickelifère, 2,00 ; — troïlite, 3,50 ; — fer chromé, 0,50.

Gaz contenus dans les météorites.

De nouvelles analyses du gaz des météorites ont été faites par M. A.-W. Wright (1), et elles confirment la différence constatée précédemment entre les fers météoriques et les météorites pierreuses.

I *Fer météorique :* A de Tazewell, dans le Tennesse ; B d'Arva en Hongrie.
II *Météorite pierreuse :* C du comté Guernsey dans l'Ohio ; D de Kold Bokkeveldt (c'est une variété de météorite charbonneuse).

	Température.	Volume de gaz.	LE GAZ RENFERME EN CENTIÈMES				
			CO^2	CO	CH^4	H	Az
A	500°	1,87	18,34	38,45	»	41,51	1,70
	Rouge.	1,30	7,76	45,75	»	44,76	1,73
	Total.	3,17	14,40	41,23	»	42,66	1,71
B	500°	8,89	18,20	38,72	»	40,62	2,46
	Rouge.	38,24	11,25	74,39	»	12,84	1,32
	Total.	47,13	12,65	67,71	»	18,19	1,54
C	500°	2,06	82,28	2,16	2,26	12 37	0,93
	Rouge.	0,93	16,79	8,71	1,66	69,43	3,41
	Total.	2,99	59,88	4,40	2,05	31,89	1,78
D	500°	7,45	87,34	5,08	5,93	»	1,65
	Rouge.	17,78	95,53	1 32	2,14	0,54	0,47
	Total.	25,23	93,11	2,42	3,25	0,38	0,81

Cobalt.

CHALLANCHES. — D'après le Bureau d'essais de l'École des mines, le minerai de cobalt extrait de Challanches, département de l'Isère, contenait en moyenne, pendant l'année 1877 :

CO	Ni	Sb	As
5,32	0,30	8,90	6,10

(1) *Jahresbericht der Chemie, für* 1876 ; p. 1342.

Sa richesse en argent était de 76 grammes pour 100 kilog. de minerai.

Nickel.

NOUVELLE-CALÉDONIE. — M. Ratte (1) a donné quelques détails sur le gisement du nickel dans la Nouvelle-Calédonie. Les hydrosilicates de nickel (Garniérite et Nouméite) sont toujours associés à des serpentines contenant du chrome et du nickel. Les éruptions serpentineuses ont été accompagnées d'émissions ferrugineuses et siliceuses. Dans certains points, on voit, au milieu des serpentines, des euphotides, des diorites, des roches diallagiques, et on remarque que les métaux électro-positifs sont généralement associés à des roches basiques.

Zinc.

MERCADAL. — M. Al. Piquet a constaté que la formation calaminifère de Mercadal appartient, non au trias, comme on le supposait, mais au terrain néocomien. Il y a trouvé, en effet, à la base, l'Ostrœa Leymerii, au-dessus le Pteroceras Beaumontiana, et enfin, à la partie supérieure, l'Orbitolina conoïdea, caractéristique de l'aptien.

BASTÈQUE. — M. l'ingénieur Genreau a étudié un filon de blende situé, à 1.200 mètres d'altitude, sur la commune de Laruns, dans le quartier dit de Bastèque (Basses-Pyrénées). L'affleurement de ce filon a été reconnu sur 700 mètres environ d'étendue. Il est encaissé, sans épontes bien nettement accusées, dans des calcaires saccharoïdes, dont il recoupe la stratification et sur le prolongement desquels des fossiles appartenant au terrain dévonien inférieur ont été signalés, notamment au col d'Aubisque. Le filon de Bastèque est presque vertical, et a une puissance moyenne d'envion 1m,50. Son remplissage consiste principalement en un mélange de calcaire spathique et de blende ; cette dernière se présente accidentellement en gros noyaux empâtés dans la gangue, mais le plus souvent en veines, qui se soudent parfois entre elles, de manière à donner une épaisseur de blende massive de 0m,30 à 0m,40.

La zone calcaréo-blendeuse qui occupe la partie centrale du

(1) *Note sur les roches de la Nouvelle-Calédonie.* Nouméa, 1878.

filon, avec une puissance utile de minerai de zinc qui varie de $0^m,40$ à $0^m,70$, est accompagnée, en certains points, de veines de pyrite de fer de $0^m,1$ et plus d'épaisseur, qui sont disséminées, sur une largeur variable de $0^m,10$ à $0^m,30$ dans les calcaires du toit et du mur. Des veines de quartz et de cuivre gris antimonial ont, de plus, été rencontrées par places et laissent présumer l'existence d'un filon croiseur que l'on se propose de rechercher.

D'après M. Genreau les analyses de blende du filon de Bastèque ont donné une teneur de 45 à 50 p. 100 de zinc.

Missouri. — Le zinc se trouve fréquemment dans le Missouri, et du plomb lui est habituellement associé. Il est particulièrement abondant au sud-ouest du Missouri, dans les comtés de Newton, Jasper, Lawrence, Green et Dade. On le rencontre en amas très variables dans leur nature ainsi que dans leur épaisseur, et intercalés dans certaines couches métamorphosées du calcaire carbonifère alternant avec des silex. A la partie inférieure de ces amas, il y a des lits de calcaire dolomitique. Les minerais de zinc sont la blende, le silicate et le carbonate de zinc. On utilise seulement comme minerai la variété de blende qui est à grands cristaux et contient quelquefois jusqu'à 0,72 p. 100 de cadmium.

Plomb.

Santa-Margarita. — La mine de plomb de Santa-Margarita, située au nord de Linares, en Espagne, a été étudiée par M. l'ingénieur Al. Piquet (1). Elle présente de nombreux filons de galène qui sont encaissés dans le terrain granitique et qui pourraient être subordonnés à de la diorite. Ces filons appartiennent à trois systèmes différents. La direction du filon le plus important est N. 51° E.; elle est croisée par N. 68° E., laquelle est croisée elle-même par N. 37° E. L'encaissement des divers filons est peu marqué, et leurs salbandes sont habituellement formées par le granite altéré, imprégné de cérusite. La gangue est généralement le quartz, quelquefois la barytine. Quant au minerai, il consiste en galène accompagnée de plomb carbonaté.

Makrina. — D'après M. l'ingénieur Al. Piquet, les filons de la mine de Makrina, province de Jaën, traversent le schiste avec bilobites appartenant au silurien inférieur, et probablement à une

(1) Exposition universelle de Paris, 1878.

grande profondeur le granite. Leur minerai consiste en galène un peu argentifère; leurs gangues sont la barytine, la calcite et le quartz.

Cadarcet. — M. l'ingénieur Carcanagues (1) a exploré la mine de plomb de Montcoustant, située dans la commune de Cadarcet (Ariége). Une veine épaisse de galène à larges facettes, y est dirigée du nord au sud, avec plongement à l'ouest de 70 à 75 degrés : sa puissance utile est assez variable; mais elle présente souvent plus de 1 mètre, en minerai massif. Le filon proprement dit est constitué par cette veine et par un épais remplissage de quartz avec silicate magnésien, gras au toucher et de couleur verdâtre; ce dernier s'étend de chaque côté jusqu'aux roches encaissantes, qui sont des schistes appartenant au silurien inférieur. La puissance totale du filon atteint plusieurs mètres.

Le gîte de Montcoustant est divisé en deux colonnes métallifères séparées par un espace stérile. On y exploite une galène peu argentifère, que sa pureté permet d'ailleurs de vendre comme alquifoux, après un lavage sommaire.

Au lieu dit Sarrasi, situé à 800 mètres vers l'est du gîte principal, on a découvert un filon de galène dirigé E.-O., perpendiculaire, par conséquent, au premier. Sa puissance est de $0^m,75$, dont $0^m,10$ à $0^m,15$ en galène. La blende, qui se montre quelquefois dans le grand gîte de Montcoustant, est ici complétement absente. Ce filon a été reconnu sur une cinquantaine de mètres de longueur et 11 mètres de profondeur.

Enfin, au Mutet, à l'est et non loin de Sarrasi, on a fait quelques recherches sur un troisième filon, qui est dirigé N.-S. comme le premier.

Bleyberg (2). — Le filon de Bleyberg est situé dans le calcaire carbonifère et dans le terrain houiller.

La cassure qui a donné naissance à ce filon présente une direction générale N.-O.-S.-E., formant avec le nord vrai un angle de 57 degrés et de 115 degrés avec la stratification.

Le remplissage dans le terrain houiller s'est d'abord composé de débris de schiste, de psammite, de grès, qui sont tombés dans la fente. Pendant et après ce délitement des parois, des eaux thermales, chargées de matières métalliques, sont arrivées et ont dé-

(1) Lettre à M. Delesse, du 11 février 1879.
(2) *Catalogue spécial de l'industrie minérale belge à l'Exposition universelle de Paris* 1878. (Extrait par M. H. Babinski).

posé ces matières dans les vides laissés par le premier remplissage. Ces dépôts sont à l'état concrétionné; ils sont composés alternativement de blende et de galène, rarement les deux minerais ensemble. La galène contient toujours un peu de cuivre, d'antimoine, de soufre et d'argent. L'influence de la roche encaissante a été uniquement de laisser plus ou moins de place aux matières transportées par les eaux. Les sources n'ont pas déposé assez de matières métalliques pour remplir tous les vides restés dans la fente. D'autres sources ont amené des matières calcaires et siliceuses qui ont achevé de cimenter l'alliance des minerais avec les débris de roches détachés des parois. On trouve aussi assez fréquemment de la pyrite compacte, ou cloisonnée, ou en stalactites, ou bien encore tapissant des géodes garnies de blende, de galène et de chaux carbonatée.

Dans les calcaires, le premier remplissage n'est plus formé de schiste et de psammite, mais de calcaire détaché des parois, tandis que le remplissage provenant des sources est composé de beaucoup de chaux carbonatée, puis de blende et de galène. Les minerais ont un aspect identique à celui qu'ils présentent dans le terrain houiller. Dans les parties supérieures du calcaire, on rencontre, sans ordre saisissable, des carbonates de fer, de zinc, de plomb, et de la pyromorphite. Généralement, ces composés englobent des noyaux de sulfures.

Pendant le remplissage dont nous venons de parler, et après, la fente, devenue filon, s'est réouverte à plusieurs reprises. Ces réouvertures ont imprimé aux masses de nouveaux remaniements de matières, remaniements qui n'ont produit que des effets physiques ou mécaniques, sans aucun changement dans le remplissage.

Gîte de contact. — Outre le filon dont nous venons de parler, il y a encore au Bleyberg un gîte au contact du terrain houiller et du calcaire.

Il existait en ce point une vallée où s'est formé une sorte de lac qui fut longtemps alimenté par des sources particulièrement chargées de matières plombeuses. Il en résulta un puissant amas de galène, formé d'une seule pièce, sans interposition de roches de remplissage, et qui, solidement assis sur une large base de terrain houiller, ne fut pas soumis aux remaniements qui, dans le filon, furent la conséquence des réouvertures de la fente.

Cuivre.

L'EYCHAUDA. — Près du sommet de l'Eychauda, l'une des cîmes qui séparent la vallée de la Guisanne de celle de Vallouise, dans l'arrondissement de Briançon (Hautes-Alpes), il existe un gîte de cuivre que sa faible richesse, son accès difficile et son altitude de 2.500 mètres rendent inexploitable, mais dont le gisement offre de l'intérêt. D'après M. l'ingénieur Kuss, qui a visité ce gîte, si l'on remonte la ravine des Combes, on rencontre successivement le terrain houiller, des quartzites accompagnés de lentilles de gypse et de cargneules, puis, au mamelon même de l'Eychauda, des schistes liasiques, argilo-calcaires, qui sont recouverts par des schistes micacés appartenant sans doute au lias. C'est dans ces derniers schistes qu'on trouve une couche ferrugineuse et cuprifère dont la puissance varie entre 5 et 10 centimètres aux affleurements. Elle est formée de fer carbonaté spathique, qui est complétement changé en limonite et contient çà et là des mouches de pyrite de cuivre. Des échantillons, pris parmi des minerais triés, ont été analysés au bureau d'essais de l'École des mines; ils ont accusé une teneur de 7 à 10 p. 100 de cuivre et de 2,60 à 2,80 de plomb. Du reste, ils ne contiennent pas d'or, dont la présence avait été annoncée. La richesse moyenne du minerai, en cuivre, ne s'élève pas à plus de 5 p. 100.

ROCCA-SILLANA. — M. Lotti (1) a décrit le gisement de serpentine cuprifère de Rocca-Sillana, près de Pise. La roche est formée d'une serpentine compacte, d'un vert sombre, avec lamelles de diallage scintillant comme de l'or. La serpentine est traversée par des veines de stéatite dont les fibres forment un angle de 45° avec les parois; on y trouve aussi des filons ou des amas d'une serpentine vert clair, également à diallage, qui rivalise avec celle de l'Impruneta, et qui est aussi accompagnée d'euphotide. Les minerais de cuivre forment des rognons avec enveloppes de talc argileux, résultant, suivant l'auteur, d'une décomposition de la serpentine. Autour d'eux dominent le quartz et l'asbeste avec veinules d'érubescite, de chalcopyrite et des enduits superficiels de carbonates de cuivre.

Deux gisements tout à fait analogues, également accompagnés de minerai de cuivre, sont connus à Rocca Tederighi et à Monte-

(1) *Neues Jahrbuch*, 1877, 322.

Massi, dans les environs de la Maremme toscane. Ainsi, dans cette contrée, la présence du cuivre est liée à celle de la serpentine et de l'euphotide, et c'est aussi ce qui a lieu en Corse et dans le Cornouailles.

Mercure.

CALIFORNIE. — Des échantillons de cinabre de Sulphur Bank ont été analysés au bureau d'essais de l'École des mines : A rouge; B gris, avec soufre natif.

	Sulfure de mercure.	Soufre natif.	Pyrite de fer.	Fe^2O^3	Fe^2O^3,SO^3	CaO,SO^3	Gangue argileuse.	HO	Somme.
A	22,80	traces	0,50	5,60	10,10	traces	52,00	9,00	100,00
B	16,70	11,75	4,20	6,30	7,10	0,60	46,00	7,35	100,00

Argent.

L'HORCAJO. — D'après M. Al. Piquet, les filons de ces mines, situées sur le versant sud de la Sierra-Morena, sont encaissés dans les quartzites et les schistes du silurien inférieur. Leur remplissage a dû avoir lieu à deux époques distinctes.

Dans la première s'est formée la fente qui, à l'ouest, a surtout été remplie par l'argile blanchâtre, légèrement siliceuse, appelée par les mineurs *calichon*, par du quartz et par un peu de minerai. Dans l'est, au contraire, il s'est déposé plus de minerai, et le remplissage est presque entièrement formé de quartz. Cette première métallisation présente de la galène à larges facettes, ainsi que des pyrites de fer et de cuivre pauvres en argent; mais vers la surface, il y a des oxydes de fer assez riches en argent.

La réouverture de la fente a introduit dans le filon de la galène très argentifère, du phosphate et du carbonate de plomb, du sulfure et de l'iodure d'argent, de l'argent natif capillaire et même de l'argent natif scoriforme. C'est cette réouverture du filon qui a introduit l'élément riche en argent. La gangue est encore le quartz qui a durci et veiné le *calichon* de la partie ouest.

La puissance moyenne du filon est de $0^m,70$; mais elle atteint parfois $4^m,50$. Dans ce dernier cas, le remplissage est toujours le *calichon*.

LES HOUCHES. — Des filons contenant de la galène, de la blende, du cuivre gris, de la bournonite, du cuivre pyriteux avec gangues de quartz, chaux carbonatée et baryte sulfatée, traversent aux Houches les micaschistes du massif du Brévent, près du mont

Blanc. Leur direction est N. 15° O.; et, d'après M. Lheureux, voici la composition du minerai qu'on y exploite :

Pb	Zn	Cu	Fe	S	Sb	BaO,SO^3 et quartz.	Somme
17,00	2,94	3,72	3,82	15,20	3,12	52,70	98,50

Le rendement en argent de ce minerai est de 160 grammes par tonne.

ORENBOURG. — M. W. von Beck (1) a examiné un minerai d'argent du cercle de Troitzka, dans le gouvernement d'Orenbourg. C'est un chloro-bromure d'argent ayant pour formule 3AgBr, 2AgCl, qui se montre en petits cristaux et en plaquettes dans les salbandes ocreuses d'un filon de quartz traversant des schistes cristallins.

Or.

QUEENSLAND. — M. Daintree (2) avait indiqué la présence de l'or dans les couches dévoniennes du Queensland, et il avait fait voir que les districts aurifères étaient localisés au voisinage de certaines roches éruptives, notamment des diorites pyriteuses. Les recherches de MM. Ulrich et Wilkinson ont pleinement confirmé cette manière de voir. M. Daintree pense que la plupart des pyrites sont contemporaines de la roche encaissante. L'or disséminé dans la masse se concentre souvent en veinules. L'auteur est d'avis que les filons aurifères de l'Australie se sont formés surtout lors des éruptions de la période dévonienne, mais qu'ils ont été enrichis ensuite à l'époque tertiaire, probablement miocène, par suite d'une recrudescence de l'activité éruptive, qui paraît avoir sommeillé en Australie pendant les périodes mésozoïque et éocène.

Origine des filons.

CAMPIGLIA. — Comme M. Amédée Burat, M. vom Rath (3) a fait une étude détaillée des célèbres gisements métallifères des environs de Campiglia dans la Maremme toscane. Plusieurs filons parallèles traversent la région et le principal est, à proprement

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876; p. 1270.
(2) *Geol. Society*, 20 fév. 1878.
(3) *Boll. del Comitato geologico d'Italia*, 1877, nos 7 à 10. (Extrait par M. de Cosgny.)

parler, un énorme dyke éruptif qui s'est évidemment introduit de bas en haut, en se moulant exactement, dans une fissure presque verticale produite à travers les couches stratifiées, avec accompagnement de diverses dislocations et d'un soulèvement partiel. Ce dyke, qui va en s'élargissant en profondeur, est comparable, dans sa section transversale, à un coin peu régulier, dont l'arête tranchante serait tournée vers le haut ; il n'est visible à la surface du sol que de distance en distance, en des points isolés où il a lancé des ramifications verticales ; partout ailleurs sa crête est recouverte par de puissantes assises calcaires à travers lesquelles la fissure ne s'est pas propagée.

En analysant la structure interne de ce filon, on est conduit à admettre que la même fissure a dû se rouvrir à plusieurs reprises, pour donner chaque fois accès à de nouvelles matières affluant des profondeurs terrestres. On y reconnaît, en effet, un certain nombre de dykes distincts et juxtaposés dans toute l'étendue du filon. Ces diverses masses sont une roche d'augite fibreuse, présentant la structure *orbiculaire*; une ilvaïte compacte, un porphyre augitique, un porphyre quartzifère. Toutes ces roches portent les traces évidentes des froissements violents qu'elles ont éprouvés; elles se sont d'ailleurs pénétrées réciproquement, d'une manière capricieuse et irrégulière, ensemble de circonstances qui s'expliquerait en admettant qu'elles ont fait éruption à l'état pâteux. M. vom Rath est d'ailleurs d'avis que les deux roches porphyriques sus-mentionnées pourraient bien être identiques dans leur origine ; la différence de leur composition devant être attribuée, d'une part à l'influence chimique des masses avec lesquelles elles se sont trouvées respectivement en contact, d'autre part aux circonstances spéciales qui ont présidé à leur cristallisation, telles, par exemple, que la température des milieux.

Les divers sulfures métalliques sont en partie disséminés dans l'ilvaïte ; mais ils sont surtout abondants vers le centre des sphéroïdes d'augite radiée, et vers les contacts des différentes roches éruptives. Le quartz, la calcite, l'épidote et quelques minéraux accidentels se rencontrent également vers ces contacts. Un phénomène remarquable est la transformation fréquente en serpentine, par pseudomorphose, de l'augite et de l'olivine du porphyre, dans la zone de contact de ce dernier avec l'ilvaïte.

Il résulte de ces dispositions, qu'une portion notable des minerais métalliques faisait probablement partie intégrante des magmas plastiques qui ont fait irruption dans le filon. Mais, en même temps, les analyses chimiques démontrent que la totalité des éléments constitutifs des minéraux propres aux zones de contact n'a pu être fournie par les masses contiguës ; que, notamment, la magnésie et le manganèse qu'on trouve dans la serpentine ne proviennent pas de la roche d'ilvaïte. Il y a donc eu un apport de matière, consécutif du remplissage du filon.

Contrairement à une idée aujourd'hui très répandue, M. vom Rath pense que la circulation des eaux d'origine météorique n'est ici pour rien dans les faits à expliquer. La connexion intime de la roche encaissante et des diverses roches du filon, la compacité de ces roches, le recouvrement du filon sur une grande étendue par une masse calcaire non fissurée, écartent, selon lui, toute idée d'une circulation d'eau courante. Il faut observer cependant que l'eau pouvait, en tout cas, s'introduire par imbibition capillaire, et, quand on creusant le sol, on trouve pourtant ainsi dire partout des nappes d'eau souterraines.

Comme le filon est entièrement encaissé dans un calcaire saccharoïde, pur, qui s'étend de toutes parts à de grandes distances, et dont l'état résulte d'un métamorphisme régional antérieur à l'apparition du filon, il est impossible que l'eau ait trouvé dans ce marbre les éléments des minéraux dont il s'agit d'expliquer l'origine. Toutefois, de profondes excavations pratiquées par les Étrusques, ont, pendant des siècles, donné accès sur quelques points aux infiltrations des eaux pluviales ; il en est résulté la décomposition des pyrites et de curieuses formations de sulfate de chaux cuprifère, de silicate de cuivre hydraté, de sulfate et d'arséniates de fer, etc., productions d'un tout autre ordre que celles qu'il faut expliquer. Il semble résulter finalement de l'étude du gîte, que toutes les matières qu'il renferme tirent également leur origine des régions profondes.

Quel est donc l'agent qui a servi de véhicule à la matière minérale? M. vom Rath admet, avec la plupart des géologues, que c'est l'eau venue de l'intérieur de la terre. Il lui paraît que les masses plastiques ayant rempli le filon étaient des magmas aqueux, et, que l'eau surchauffée, soit à l'état liquide, soit plutôt à l'état de vapeur, tenant en dissolution divers éléments minéraux, accompagnait les éruptions et continuait pendant un certain temps à se dégager en se frayant un passage entre les surfaces de contact des roches.

En partant de ces idées, et tout en faisant une part convenable aux effets de la circulation de l'eau dans la partie externe de l'écorce terrestre, on est conduit à se demander si les filons métallifères ne sont pas souvent en rapport, par leur partie inférieure,

avec des dykes éruptifs analogues à ceux de la Toscane, et si les minéraux métalliques plus particulièrement n'ont pas été amenés des entrailles de la terre à la faveur d'exhalaisons d'eaux et de vapeurs aqueuses fortement minéralisées.

Age des roches éruptives.

ALPES. — M. Gümbel (1) a publié un tableau faisant connaître, pour la région des Alpes, l'âge des différentes roches éruptives qui s'y observent dans la série des terrains :

TERRAINS.	ROCHES ÉRUPTIVES.
Néozoïque	Produits volcaniques, Basalte, Trachyte, Phonolithe, Gabbro.
Mésozoïque	Trachytes anciens, Augitophyre, Gabbro (en partie), Péridotite, Porphyrite.
Paléozoïque	Porphyre, Mélaphyre, Diabase, Épidiorite, Paléopikrite.
Archaïque	Granite, Syénite, Diorite.

TOSCANE. — M. l'ingénieur Lecornu (2) a également résumé quelques faits relatifs à l'âge des roches éruptives de la Toscane.

Si l'on considère d'abord les roches basiques, leurs éruptions ont eu lieu à des époques fort diverses; mais en cherchant, pour chacune d'elles, les plus jeunes terrains qu'elle a traversés, on obtient une limite supérieure de son âge; on peut alors dresser la liste suivante :

ROCHES ÉRUPTIVES.	DERNIÈRE APPARITION.
Serpentine récente.	Fin du Miocène.
Diorite et ophite.	Fin de l'éocène.
Euphotide.	Vers la fin de l'éocène.
Serpentine ancienne.	Fin du crétacé ou commencement de l'éocène.

Une étude semblable faite pour les roches acides, donne, en laissant de côté le granite antique de l'île d'Elbe :

Roches feldspathiques diverses.	
Trachyte micacé du Monte Catini.	Fin du pliocène.
Porphyre euritique du Campigliese.	
Granite à tourmaline de Gavoirano.	Fin de l'éocène.

(1) *Kurze Anleitung zu geologischen Beobachtungen in den Alpen.*
(2) *Étude sur les phénomènes d'éruption et d'émanation en Toscane* 1878.

On voit que la plupart des roches de la série granitique et trachytique sont plus jeunes que celles de la série ophiolithique.

Le granite tourmalinifère et la serpentine ancienne paraissent à peu près contemporains. On sait cependant que, dans l'île d'Elbe, le granite traverse la serpentine ancienne; et par conséquent il peut aussi être plus jeune. Du reste, c'est seulement à la partie supérieure du terrain pliocène qu'apparaissent les premiers tufs volcaniques et les roches volcaniques modernes.

Ces divers résultats relatifs à l'âge des roches éruptives, se montrent analogues à ceux qui ont été mentionnés précédemment (*Revue de géologie*, XIII, 87).

TROISIÈME PARTIE.

TERRAINS.

TERRAINS PALÉOZOÏQUES.

TERRAIN ANTÉSILURIEN.

ANGLETERRE. — La classification des couches inférieures au terrain silurien a été, dans ces derniers temps, l'objet d'une attention particulière de la part des géologues anglais.

C'est ainsi que M. Hicks (1) a proposé les noms de *Dimétien* et de *Pébidien* pour désigner les couches qui, dans le Pays de Galles, sont inférieures aux assises cambriennes, c'est-à-dire au groupe du Longmynd et à l'étage ménévien. Le dimétien, dont le nom est tiré de l'ancienne dénomination d'un des royaumes du Pays de Galles, comprend, sous une épaisseur de 4.500 mètres, une série de couches quartzeuses compactes, de schistes et de calcaires métamorphiques. Le pébidien, dont le nom est également emprunté à la

(1) *Quart. Journ. of the Geol. Soc.*, XXXIII, 229.

géographie de la contrée, a 1.000 mètres de puissance et se compose de conglomérats et schistes métamorphiques.

Ainsi qu'on l'a fait observer de divers côtés, l'introduction dans la science de ces nouveaux noms était au moins inutile, car les formations qu'ils désignent trouvaient facilement leur place dans le laurentien et l'huronien des géologues américains.

Dans le comté de Pembroke, M. Hicks (1) rapporte à l'étage inférieur ou dimétien une série de porphyres quartzifères à quartz bipyramidé, de quartzites, de schistes verdâtres, de roches granitoïdes et de brèches quartzifères.

Le pébidien repose en discordance sur le dimétien et débute par un conglomérat renfermant de grandes masses angulaires de porphyre sphérolithique, de quartzite, de schiste cristallin, cimentées par une pâte vert-de-mer d'eurite. Puis viennent de véritables conglomérats et des schistes durcis à cassure conchoïdale. L'ensemble a plus de 2.400 mètres à Saint-David. Le cambrien le recouvre en discordance.

M. Hicks (2) a également attribué au précambrien (dimétien et pébidien) toute une série de porphyres quartzifères et feldspathiques associés au cambrien du comté de Caernavon, et qu'on avait jusqu'alors considérés comme des roches d'épanchement, ayant fait éruption à travers le cambrien. M. Hicks considère cet ensemble comme formé de couches stratifiées, semblables à celles du précambrien de Saint-David.

De son côté M. Mackenny Hughes (3) rapporte au pébidien une série de schistes, de tufs et de porphyres qui, près de Bangor, passe dans le cambrien et repose sur les porphyres quartzifères et les granites de Caernavon : pour ces derniers, l'auteur est porté à les identifier avec le dimétien.

Dans une communication plus récente, M. Hicks (4), à la suite d'excursions dans le Pays de Galles, entreprises avec l'assistance de plusieurs géologues, tels que MM. Torell, Mackenny Hughes, Tawney et Sterry Hunt, a fait connaître plusieurs bassins nouveaux de roches précambriennes. Il propose, pour ces anciennes assises de l'écorce terrestre, l'établissement de trois étages distincts, qui seraient, de bas en haut :

1° Étage *Dimétien*, composé de gneiss granitoïdes et de roches quartzeuses.

(1) *Geol. Society*, 5 déc. 1877.
(2) *Geol. Society*, 5 déc. 1877.
(3) *Geol. Society*, 5 déc. 1877.
(4) *British Association*, 1878. — *Geol. Mag.*, 1878, 460.

2° Ét. *Arvonien*, formé de quartzites, de felsites et de porphyres (Hälleflinta de Torell ; roches pétrosiliceuses de Hunt).

3° Ét. *Pébidien ;* agglomérats et brèches de couleurs vertes ou rouges, schistes chloritiques verts, avec bandes de greenstone massif, schistes talqueux, etc.

Chacun de ces étages est distinctement stratifié et son épaisseur ne peut être inférieure à plusieurs milliers de mètres.

Les étages pébidien et dimétien avaient déjà été distingués ; le nom de l'étage arvonien est tiré du nom latin de Caernavon, ville aux environs de laquelle ce groupe pétrosiliceux est très développé.

M. Callaway (1) rapporte au terrain précambrien les quartzites de Wrekin, précédemment considérés comme appartenant au grès de Caradoc. Ce serait par suite de failles que ces quarzites paraîtraient concordants avec les formations postérieures et notamment avec les grès de Hollybush à Kutorgina cingulata et Serpulites fistula. On n'a trouvé dans les quartzites que des traces problématiques de vers.

Gévaudan. — Ebray avait décrit en 1872 les régions schisteuses du Gévaudan et des Cévennes comme des formations métamorphiques appartenant au silurien et au carbonifère. M. G. Fabre (2) a montré que les schistes sont sensiblement plus anciens. Entre Chapeauroux et la Bastide se montrent les gneiss, surtout glandulaires, et venant s'arrêter brusquement à l'ouest contre le grand épanchement du granite porphyroïde de la margeride. Au sud de la Bastide apparaissent les talcschistes, également disloqués par le granite du Mont-Lozère, qui n'a exercé sur eux qu'un faible métamorphisme, limité à une zone de 100 mètres près du contact. L'épaisseur totale de ces formations est de 3 à 5.000 mètres.

Haute-Alsace. — Le terrain de gneiss de la Haute-Alsace, dans le voisinage du Bressoir, se compose, d'après M. Groth (3), d'un gneiss ancien, tantôt riche en mica magnésien et passant au micaschiste, tantôt à grain grossier et noduleux, et d'un gneiss plus récent, ou gneiss à grenat, parfois graphiteux et accompagné de leptynite. A ce dernier gneiss sont associés des gisements de gneiss amphibolique qui peut passer à de la diorite, de serpentine péridotique et de calcaire cristallin. Le calcaire du Saint-Philippe, dé-

(1) *Geol. Society*, 5 juin 1877.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 399.
(3) *Abhandl. geol. special Karte v. Elsass.* — *Neues Jahrb.*, 1878, 851.

crit précédemment par M. Delesse (1), en fait partie; il est intercalé, sous forme de trois assises concordantes, dans le gneiss récent, et il est accompagné de roches feldspathiques qui se distinguent par la présence du pyroxène vert. Dans le calcaire on rencontre la calcite, le mica phlogopite, la pyrosclérite ou pseudophite, variété compacte de pennine, la magnétite, le spinelle, le graphite, etc.

Alpes italiennes. — D'après Gastaldi (2), la grande zone de pierres vertes, qui repose sur le gneiss et constitue une partie des Alpes italiennes, est formée de dépôts stratifiés métamorphiques, où l'on observe la succession suivante : calcschiste, serpentine, euphotide, calcschiste, quartzite, calcschiste, quartzite, calcaire cristallin, quartzite. Les serpentines, les euphotides, les porphyres et les mélaphyres de la pierre verte sont pour l'auteur, des sédiments transformés.

M. Baretti (3) a formulé une conclusion analogue pour la zone des pierres vertes du massif du grand Paradis.

Erzgebirge. — M. Kalkowsky (4) a décrit les terrains primitifs de Zschopau dans l'Erzgebirge saxon. A la base s'observe un micaschiste de couleur foncée, à grain fin, altérable; ensuite vient un micaschiste de couleur claire, formé de quartz et de mica potassique, avec grenat et cristaux microscopiques de tourmaline, de zircon et d'oligiste. Le tout est couronné par un gneiss rouge à orthose, quartz et mica potassique, associé à des lamelles de fer oligiste, à du plagioclase et à de l'apatite. Ce gneiss n'a rien d'éruptif et fait partie de la série archéenne ou primitive.

M. Kalkowsky croit pouvoir conclure de ses recherches que l'étude microscopique des schistes cristallins, loin d'apporter aucun argument en faveur de leur origine métamorphique, conduit plutôt à admettre la théorie de la *diagénèse* ou formation originelle.

Saxe. — M. Pohlig (5) a indiqué la composition de la série primaire ou archéenne des environs de Strehla, près de Riesa, en Saxe. On y observe un groupe gneissique, avec gneiss, gneiss granitique, roches amphiboliques et quartzites; puis un étage de micaschistes avec schistes micacés de couleur foncée et schistes mâclifères, schistes clairs à andalousite et gneiss à andalousite; enfin une zone de phyllades avec schistes à séricite, phyllades proprement dits et quartzites micacés. Parmi ces assises se trouve un conglomérat, composé de fragments du gneiss granitique et d'autres roches avec un ciment complètement cristallisé.

(1) *Annales des mines*, XX, 141. — *Annales de Ch. et de Ph.* [3], XXXII, 372.
(2) *R. Acad. dei Lincei*, 1877. — *Revue géol. suisse*, VIII, 21.
(3) *Revue géol. suisse*, VIII, 20.
(4) *Zeit., d. d. Geol. Ges.*, 1876, 682. — *Neues Jahrb.*, 1878, 752.
(5) *Zeit. d. d. g. G.*, XXIX, 3.

Les schistes à andalousite, à chiastolithe et à nodules ne peuvent être attribués, dans cette région, à l'action de contact exercée par un granite éruptif; car les granites de cette catégorie font défaut dans le district en question.

Amérique du Nord. — M. Sterry-Hunt (1) a fait ressortir la grande uniformité que présentent, en Amérique, les divers étages entre lesquels on peut diviser la série de roches cristallines qui supporte les terrains contenant la faune primordiale et cambrienne. A la base est le *Laurentien* inférieur, surtout gneissique, et épais d'au moins 600 mètres; puis vient le laurentien supérieur ou *norien*, épais de 3.000 mètres, où dominent les roches labradoriques. Ensuite on rencontre les roches vertes du *huronien*, avec hornblende, épidote, chlorite et silicates magnésiens, à la base desquelles se développe une grande série pétrosiliceuse analogue au hälleflintá de Scandinavie. Au-dessus du huronien viendrait le *Montalbain*, formé de gneiss micacés granitoïdes avec grenat, staurotide et disthène; enfin le *Taconique* inférieur, formé de schistes micacés avec serpentines, amphibolites et marbres statuaires.

M. Hunt admet que chacune de ces séries a une individualité distincte et peut être retrouvée dans les diverses régions du globe; qu'ainsi la similitude des dépôts cristallins témoigne de l'identité des conditions physiques au milieu desquelles ces dépôts ont dû se former.

TERRAIN SILURIEN.

Angleterre. — M. Marr (2) pense que, dans le district des Lacs, la limite entre le silurien et le cambrien est parfaitement définie à la fois par les circonstances physiques et par le changement des faunes. Cette limite devrait être placée au-dessus des schistes d'Ashgill, qui surmontent le calcaire de Coniston et appartiennent par leurs fossiles à l'étage supérieur de Bala.

(1) *British Association*, 1878. — *Geol. Mag.*, 1878, 466.
(2) *Geol. Society*. 19 juin 1878.

M. Clifton Ward (1) considère le grès de Skiddaw comme équivalent au grès qui forme la base de la série d'Arenig; par suite, les couches inférieures au grès, c'est-à-dire les schistes de Skiddaw, équivaudraient au Tremadoc et peut-être à une partie des Lingula-flags.

Selon M. Ward, la correspondance, jusqu'ici admise, des schistes de Skiddaw avec la série d'Arenig repose sur des preuves tirées des graptolithes et des trilobites; or l'auteur repousse les premières comme peu concluantes et les secondes comme entachées de contradiction.

M. Maw (2) maintient l'existence d'une discordance notable à la base de la série cambrienne, près de Llanberis. Cette discordance avait été attribuée par M. Hughes (3) à un phénomène mécanique ultérieur. M. Maw n'admet pas cette explication et revendique, en conséquence, la priorité de la découverte d'une série précambrienne dans cette région.

Écosse. — M. Lapworth (4) a donné une coupe complète de la série de schistes noirs, avec bandes de graptolithes, qui porte le nom de *série de Moffat*. On y peut distinguer trois étages : au sommet, les schistes de Birkhill; au milieu, ceux de Hartfell; à la base, ceux de Glenkiln. La faune de graptolithes des premiers présente une identité frappante avec celle des mudstones de Coniston, dans le Cumberland, ainsi qu'avec la faune des Kieselschiefer de Thuringe, et des schistes à Lobiferus, de Suède. C'est l'étage inférieur de Llandovery. La division moyenne concorde avec les couches de Bala, les schistes supérieurs à Dicranograptus, de Suède, et les schistes d'Utica, qui, en Amérique, recouvrent le calcaire de Trenton. Enfin les graptolithes des schistes de Glenkiln sont ceux des Llandeiloflags supérieurs, des schistes moyens à Dicranograptus, de Suède, et des schistes inférieurs au calcaire de Trenton, de New-York.

Cette classification fait disparaître les anomalies qui empêchaient d'établir le synchronisme entre le silurien inférieur de l'Écosse et celui de l'Angleterre et de l'Amérique.

Armorique. — M. de Tromelin (5) a donné de nouveaux détails sur la faune de l'étage silurien dans le bassin armoricain.

(1) *Geol. Society*, 19 juin 1878.
(2) *Geol. Society*, 3 avril 1878.
(3) *Geol. Society*, XXXIV, 137.
(4) *Geol. Society*, 21 nov. 1877.
(5) *Assoc. française. Congrès du Havre*, 1877.

Le grès armoricain, ou grès à tigillites, lui a fourni, à la lande de Goult (Orne), Asaphus Armoricanus, des débris d'Illœnus et Lingula Lesueuri. Les tigillites abondent dans ce grès en diverses localités. M. de Tromelin les rapporte presque tous à des vers arénicoles. C'est dans les mêmes grès, à Bagnoles (Orne), que M. Morière a rencontré une nouvelle espèce de Cruziana, C. Bagnolensis.

Les minerais de fer superposés au grès armoricain paraissent quelquefois s'y rattacher par leurs fossiles. A Gouvix, près d'Urville (Calvados), M. de Tromelin y a trouvé Dædalus calamitoïdes, avec des tigillites. Mais, à Mortain, ces minerais contiennent la faune des schistes à Calymene Tristani. Cette dernière est très riche, et le travail de M. de Tromelin en donne la liste.

Enfin l'auteur signale l'existence de bilobites dans le grès de May. Ce fossile ne serait donc plus, comme on l'avait cru, exclusivement caractéristique du grès armoricain.

Mortain. — M. de Lapparent (1) a donné la coupe du bassin silurien de Mortain, précédemment étudié par Dalimier. Sur la grauwacke, mâclifère au voisinage du granite, repose en discordance le grès armoricain à tigillites (Scolithus). Ce grès est suivi en concordance par le minerai de fer de Bourberouge, les schistes à calymènes, enfin des grès en plaquettes, qui ne commencent à s'observer qu'à l'est de Mortain et prennent de plus en plus de développement jusqu'à Domfront, où leur analogie avec les grès de May est manifeste. C'est sur ces grès que reposent les schistes ampéliteux de Gér à graptolithes.

Le bassin de Mortain est encaissé entre deux failles, l'une parallèle à la chaîne de grès entre Mortain et Domfront, l'autre dirigée à peu près est-ouest. En outre, les environs de Mortain même sont accidentés par un système de failles nord-sud, avec rejets et plongement normal des couches à l'est, d'où résulte la complication particulière de ce bassin.

Orne. — M. de Tromelin (2) a découvert le terrain silurien à faune troisième dans le département de l'Orne, près Saint-Nicolas-des-Bois. Dans des schistes se trouvent des nodules calcaires noirs, très pyriteux, avec Bolbozoe anomala, B. Bohemica, Orthoceras styloïdeum, Scyphocrinites elegans, etc.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 569.
(2) *Assoc. française*, 1877. Tirage à part.

La même faune a été observée par M. Lebesconte à la Meignane, près d'Angers, dans des calcaires ampéliteux inférieurs aux grès à Orthis Monnieri.

THURINGE. — M. Guembel a découvert, dans le Fichtelgebirge et les parties adjacentes de la Thuringe et de la Saxe, deux horizons de graptolithes, séparés l'un de l'autre par le calcaire à Cardiola interrupta. Dans le plus élevé de ces deux horizons dominent les espèces droites, telles que Graptolithus colonus, G. Rœmeri, Retiolites Geinitzi, tandis que les espèces recourbées du genre Rastrites abondent dans l'assise inférieure.

A la suite de nouvelles études sur l'organisation des graptolithes de ces assises, M. Guembel (1) a été amené à partager les vues émises par M. Kirchenpauer, qui range ces fossiles dans la famille des Sertulariés.

Quant à la place géologique des couches qui les contiennent, l'auteur voit dans l'assise inférieure l'équivalent de l'étage E, de M. Barrande, et des couches inférieures de Coniston, tandis que l'assise du haut correspondrait au Coniston supérieur d'Écosse.

NORWÉGE. — M. Broegger (2) a publié la description des schistes à paradoxides de Krekling, en Norwége. Ces schistes, recouverts par les schistes à Olenus et à Dictyonema, et supportés par un grès avec conglomérat, se divisent en schistes à Par. Forchhammeri, au sommet, et schistes à Par. Tessini et P. rugulosus à la base. Les autres espèces rencontrées dans ces schistes, et figurées par M. Broegger, sont Liostracus microphthalmus, L. aculeatus, L. Linnarssoni, Conocephalites ornatus, Conocoryphe Sulzeri, Arionellus difformis, Agnostus (18 espèces), Hyolithus (5 espèces) et Protospongia fenestrata.

WESTROGOTHIE. — M. Linnarsson (3) a étudié les schistes à graptolithes de Kongslena, en Westrogothie. En général, dans cette contrée, la couche supérieure à graptolithes offre deux horizons : l'un, à la base, caractérisé par Monograptus lobiferus et Rastrites peregrinus; l'autre, au sommet, avec Monograptus priodon et Retiolites Geinitzianus. A Kongslena, les schistes à Monograptus lobiferus, qui reposent sur des schistes à brachiopodes et

(1) *Neues Jahrbuch*, 1878, 292.
(2) *Magazin for naturvidens Kaberne*. Christiania, 1877.
(3) *Geologiska Föreningens*, etc. — *Geol. Mag.*, 1878, 277.

à Trinucleus, contiennent une riche faune où l'on rencontre Monograptus spiralis, Diplograptus palmeus, D. cometa, etc.

Depuis les travaux de M. Lapworth (1), il est devenu évident que les schistes à M. lobiferus correspondent aux couches de Birkhill ou Moffat supérieur, c'est-à-dire probablement à la base de l'étage de Llandovery. Plusieurs des fossiles de ces schistes se retrouvent aussi en Bohême, en partie dans l'étage E_1 de M. Barrande, en partie dans les colonies de son étage D_2. Or, des motifs stratigraphiques et paléontologiques conduisent M. Linnarsson à identifier les schistes supérieurs à graptolithes de Suède avec l'étage E_1. Il en résulterait que les graptolithes des colonies de Bohême auraient vécu dans cette contrée antérieurement aux dépôts de Suède et d'Angleterre, qui renferment les mêmes espèces. Par suite, les colonies ne résulteraient pas d'une migration venue du nord, et leur véritable source devrait plutôt, selon M. Linnarsson, être cherchée dans la direction opposée.

RÉGIONS POLAIRES. — D'après MM. Feilden et de Rance (2), l'exploration arctique dirigée par l'amiral Nares a amené la découverte dans les régions polaires, par 82° 40' de lat. nord, du terrain silurien inférieur, superposé au gneiss laurentien. Jusqu'alors on avait cru que le silurien inférieur faisait défaut dans la zone arctique. Cet étage débute par des grès et schistes rouges recouverts par des calcaires ferrugineux, que recouvrent d'autres calcaires de couleur crème. Parmi les fossiles qu'on y a trouvés, M. Etheridge a reconnu les genres Asaphus et Maclurea. Le silurien supérieur du même gisement offre plusieurs types de l'étage de Wenlock; on y observe les genres Bronteus, Calymene, Encrinurus, Proëtus, Halysites, Zaphrentis, Pentamerus, etc.

L'ensemble de la faune relie le silurien arctique aux formations américaines plutôt qu'à celles de l'Angleterre; l'absence des lamellibranches mérite d'y être notée.

PENSYLVANIE. — M. Prime (3) a découvert des fossiles du silurien inférieur dans un calcaire associé à des schistes hydromicacés qui surmontent le grès de Potsdam dans l'est de l'État de Pensylvanie. Les schistes, en majeure partie formés de damourite, et se décomposant à l'air en une argile plastique onctueuse, contiennent d'importants gisements de kaolin. Avant la découverte

(1) *Revue de géologie*, XV, 80, 81.
(2) *Geol. Society*, 17 avril 1878.
(3) *Americ. Journ.* [3], XV, 261.

des fossiles dans le calcaire qui les surmonte, quelques géologues avaient attribué ces schistes hydromicacés au terrain huronien.

HELDERBERG. — M. Callaway (1) a cherché à préciser la place que doit occuper, dans la série paléozoïque, le groupe inférieur d'Helderberg, que quelques géologues américains rattachent au dévonien, tandis que d'autres en font du silurien supérieur.

L'auteur établit d'abord que, dans la région typique, le groupe en question est séparé par le calcaire du Niagara des schistes de Clinton et que si, quelquefois, on a pu le considérer, dans l'est de l'État de New-York, comme le représentant latéral de la série du Niagara, c'est parce que cette dernière, bien développée dans l'ouest du même état, va en se coinçant vers l'est tandis que le groupe d'Helderberg augmente proportionnellement d'épaisseur. En réalité, les seules formes communes à l'Helderberg inférieur et à la série de Niagara sont Atrypa reticularis et Strophomena rhomboïdalis, c'est-à-dire deux espèces qu'on voit se reproduire depuis le silurien moyen jusqu'au carbonifère.

Pour M. Callaway, la faune de la série de Niagara est celle du groupe de Wenlock et cette analogie a d'autant plus de valeur à ses yeux qu'elle est établie entre deux formations ayant le même caractère minéralogique, c'est-à-dire entre deux calcaires, évidemment déposés dans des conditions physiques semblables. Le groupe supérieur d'Helderberg étant incontestablement dévonien, il en résulte que le groupe inférieur doit être considéré comme l'équivalent du Ludlow; il est vrai que la ressemblance des faunes est peu frappante; mais cela tient, selon M. Callaway, à la très grande différence des conditions physiques, les dépôts calcaires ayant continué, en Amérique, plus longtemps qu'en Angleterre, et ayant dû se peupler d'une faune voisine de celle des calcaires du Niagara, auxquels ils succédaient directement.

NIAGARA. — M. Dawson (2) a donné des détails sur la découverte faite par M. Grant, dans la formation de Niagara (silurien supérieur), d'un grand exemplaire de Pterygotus, comparable par ses dimensions au P. anglicus du dévonien anglais. Déjà de petites espèces de ce genre avaient été décrites par M. J. Hall dans l'étage de Clinton de l'État de New-York; mais l'échantillon de M. Grant, pour lequel l'auteur propose le nom de P. canadensis,

(1) *Geol. Mag.*, 1878, 271.
(2) *Natural hist. Soc. of Montréal.* — *Geol. Mag.*, 1878, 330.

est le premier exemple d'une grande espèce du genre Pterygotus dans une formation aussi ancienne.

Végétaux terrestres du silurien d'Amérique. — La découverte, annoncée par M. de Saporta (1), d'une fougère dans le silurien d'Angers, a été contestée par divers savants et notamment par M. Hermite, qui ont pensé que cette apparence de fougère tenait à la formation de dendrites de pyrite de fer; mais elle a rappelé l'attention sur les plantes terrestres déjà trouvées dans le silurien d'Amérique. M. Lesquereux (2) a étudié de nouveau, à cette occasion, les plantes trouvées dans le silurien de Cincinnati et dans le Lower Helderberg du Michigan. Il y a trouvé les espèces suivantes : Psilophyton gracillimum, P. cornutum, Annularia Romingeri, Sphenophyllum primævum, Protostigma sigillarioïdes.

M. Lesquereux fait observer que la flore silurienne nous donne, en petit, une représentation anticipée de la flore carbonifère. Ainsi les lycopodiacées sont représentées par Psilophyton, les fougères par une espèce voisine des Neuropteris, les calamariées par Sphenophyllum et Annularia, les sigillaires par Protostigma, enfin les fucoïdes par Calamophycus septus.

TERRAIN DÉVONIEN.

FINISTÈRE. — D'après M. Ch. Barrois (3), le minerai de fer du Finistère, au lieu d'appartenir, comme on l'avait cru, aux roches amphiboliques, forme partout un horizon constant à la base de l'étage dévonien, entre les schistes et quartzites de Plougastel et le grès blanc de Landévennec.

MAYENNE. — M. Œhlert (4) a fait connaître avec détails la faune des calcaires dévoniens de la Mayenne. Ces calcaires, situés près de Laval, à la Baconnière, à Saint-Germain-du-Fouilloux et à Saint-Jean, appartiennent à l'horizon des calcaires de Gahard et de Néhou. L'un de leurs fossiles les plus constants est Spirigera undata. Plusieurs espèces nouvelles, parmi lesquelles deux trilobites du genre Cryphæus, ont été décrites par M. Œhlert.

BOULONNAIS. — M. Rigaux (5) a donné un tableau faisant con-

(1) *Revue de géologie*, XV, 83.
(2) *American Philos. Society*, 19 oct. 1877. — *Geol. Mag.*, 1878, 356.
(3) *Ann. Soc. géol. du Nord*, IV, 130.
(4) *Bull Soc. géol.* [3], V, 578.
(5) *Geol. Mag.*, 1878, 441.

naître la répartition des brachiopodes dans le terrain dévonien du Boulonnais. Ce tableau peut être résumé de la manière suivante :

		espèces
Calcaire sableux, couronné par le calcaire carbonifère		7
Calcaire de Ferques		13
Schistes de Beaulieu.	Calcaire à Pentamerus brevirostris	10
	Marne à Streptorhynchus elegans	10
	Argile à Streptorynchus Bouchardi	11
	Schistes à Spirigera Davidsoni	6
Calcaire de Blacourt		7

Parmi ces espèces, 36 seulement sont distinctes; les plus abondamment répandues sont : Spirifer Verneuili et Orthis striatula, qu'on trouve à peu près dans toutes les assises, et Productus subaculeatus, qui se rencontre depuis la base jusqu'au calcaire de Ferques inclusivement.

FAMENNE. — M. Gosselet (1) a étudié la faune des schistes de Famenne ; ces schistes se relient insensiblement, par le bas, aux schistes de Matagne à Cardium palmatum et, par le haut, aux psammites du Condroz, dont on ne peut guère les distinguer que par l'absence du genre Poteriocrinus. Dans les environs de Senzeille, les schistes de Famenne semblent présenter deux horizons distincts, le premier caractérisé par Cyrtia Murchisoni, Spirigera reticulata, Rhynchonella triæqualis, R. Omaliusi, Orthis arcuata; le second où Cyrtia Murchisoni se trouve avec Spirifer disjunctus, Rhynchonella pugnus, R. acuminata, Strophalosia productoïdes, Productus subaculeatus, Spirigera Roissyi.

LÉON. — M. Ch. Barrois (2) a étudié le terrain dévonien de la province de Léon, en Espagne. Au-dessous des calcaires rouges à goniatites et orthocératites, que l'auteur rapproche des calcaires amygdalins et marbres griottes des Pyrénées, se présente une zone de schistes noirs à Cardium palmatum et à Posidonies. M. Barrois n'admet pas que ces schistes appartiennent au dévonien supérieur. Il y voit, par les caractères pétrographiques comme par la faune, un équivalent des schistes de Porsguen en Bretagne (3), qu'il regarde comme synchroniques des schistes de Wissembach.

Les schistes à Cardium palmatum de la Collada de Llama reposent sur les calcaires à Spirifer lævicosta.

(1) *Ann. Soc. géol. du Nord*, IV, 303.
(2) *Association française*, 1877, 536.
(3) *Revue de géologie*, XV, 88.

ALLEMAGNE OCCIDENTALE. — M. Maurer (1) a fait, sur la faune des couches à orthocératites de la vallée du Ruppbach, de nouvelles recherches qui ont amené la découverte, dans ces couches, de Pleurodictyum problematicum avec Orthoceras triangulare et Rhynchonella livonica.

De plus, dans les couches à pentamères, M. Maurer a trouvé, outre Pentamerus rhenanus et Bronteus cameratus, Phacops latifrons, Streptorynchus umbraculum, Strophomena rhomboïdalis, un fragment de goniatite, enfin la variété de l'Atrypa reticularis qui accompagne d'ordinaire Spirifer cultrijugatus.

Toute cette faune est dévonienne, M. Maurer y voit donc une raison de plus de persister dans l'opinion qu'il a déjà émise au sujet de l'âge des schistes de Wissembach (2).

Limite supérieure du terrain dévonien.

OHIO. — La détermination de la limite entre l'étage dévonien et l'étage carbonifère présente des difficultés sérieuses dans l'état d'Ohio. Le groupe dit de Waverly, d'abord considéré comme dévonien, a été classé plus tard par M. Newberry dans le carbonifère. M. L. E. Hicks (3) a repris l'étude de la question ; il conclut que la partie supérieure au moins du groupe de Waverly, formée par les schistes de Cuyahoga, le grès de Berea, et les schistes de Bedford et de Cleveland, est, par ses fossiles, nettement carbonifère. Quant aux schistes d'Érie, sur lesquels cette série repose, leurs fossiles sont ceux de l'étage de Chemung, considéré comme dévonien.

TERRAIN CARBONIFÈRE.

ÉCOSSE. — M. R. Etheridge junior (4) a étudié la faune des invertébrés du grès calcifère, formant la base du carbonifère inférieur dans les environs de Glascow. Ce grès comporte deux divisions : au sommet, le groupe de la *pierre à ciment*, composé de grès, schistes, couches minces de houille, avec quelques bandes calcaires; à la base, le *grès rouge*, ne contenant qu'un seul fossile, Estheria Peachi.

Parmi les espèces rencontrées par M. Etheridge, plusieurs sont nouvelles; les autres comprennent : Leperditia scutoburdigalensis,

(1) *Neues Jahrb.*, 1878, 49.
(2) *Revue de géologie*, XV, 89.
(3) *Americ. Journ.* [3], XVI, 216.
(4) *Geol. Society*, 7 nov. 1877.

Spirorbis helicteres, Serpulites carbonarius, Discina nitida, Anthracosia nucleus, Schizodus Salteri, Pleurotomaria monilifera, Nautilus cariniferus, etc. Plusieurs des espèces appartenant à la base du grès calcifère font partie de la faune du calcaire carbonifère.

Auchy-aux-Bois. — M. Lud. Breton (1) a publié une note sur les mines de houille d'Auchy-aux-Bois. Ces mines, situées à l'extrémité de la bande houillère du Pas-de-Calais, sont remarquables par les nombreux bouleversements des couches. Le plus important est le recouvrement du charbon, au sud du bassin, par une zone de terrains dévoniens et carbonifères renversés, qu'une faille presque horizontale sépare du terrain houiller en place. M. Breton fait connaître, par des coupes précises, l'allure de ce recouvrement et celle des failles qui accidentent le charbon. Il donne aussi quelques détails sur la flore d'Auchy, où dominent : Sphenopteris furcata, S. Hœninghausi, Lonchopteris rugosa, Neuropteris heterophylla, Pecopteris nervosa, P. Loshi, Shenophyllum erosum, etc. Cette flore appartient à la partie supérieure du terrain houiller franco-belge. Ainsi, bien que reposant directement et en stratification concordante sur le calcaire carbonifère, la houille d'Auchy appartient au sommet de la série houillère, ce qui confirme la théorie de M. Potier sur l'empiétement progressif du bassin houiller vers l'ouest.

Lombardie. — Curioni (2) reconnaît quatre étages dans le terrain carbonifère en Lombardie; à la base sont des quartzites micacés; puis viennent des quartzites avec dolomie et calcaire, ensuite des dolomies et calcaires noirs; enfin un conglomérat et un grès accompagné de schistes à anthracite avec Sigillaria, Lepidodendron, Annularia.

Bohême et Silésie. — M. Stur (3) classe de la manière suivante les dépôts carbonifères de la Bohême et de la Silésie polonaise :

Carbonifère.	Supérieur.	Couches de Rossitz. Couches de Zemech et de Wiskau. Couches de Radnitz, Couches de Miröschau.
	Inférieur.	Couches de Radowenz. Couches de Schwadowitz. Couches de Schatzlar.

(1) *Ann. Soc. géol. du nord*, IV, 138.
(2) *Geologia delle provincie Lombarde*. — *Revue géolog. suisse*, VIII, 27.
(3) *Neues Jahrb.*, 1878, 354.

Culm.	Supérieur.	Couches d'Ostrau et de Waldenburg.
	Inférieur.	Schistes du culm avec Posidonomya Becheri, équivalents du calcaire carbonifère et du grès houiller à Productus giganteus d'Altwasser, Neudorf, Rothwaltersdorf, Neurode, etc.

Quant aux couches d'Ottendorf, de Kounowa et de Lettowitz, elles appartiendraient au permien.

Oural. — M. de Moeller (1) a donné la coupe du bassin carbonifère d'Ilimka (Oural). On y observe, de haut en bas, la superposition suivante :

Grès à Strophalosia horrescens (permien).

e. Calcaire à Fusulina cylindrica, avec Productus semireticulatus, P. longispinus, P. Cora, Spirifer glaber, S. lineatus.
d. Grès quartzeux à Productus semireticulatus et P. longispinus, avec couches de houille à Stigmaria ficoïdes Lepidodendron obovatum, etc.
c. Calcaire gris-clair, cristallin à Spirifer mosquensis, Productus giganteus, P. Cora, Chonetes papilionacea,
b Calcaire cristallin foncé à Productus giganteus, Spirifer glaber, S. striatus, etc.
a. Grès quartzeux, avec argiles à Productus giganteus.

Schistes dévoniens à Camarophoria rhomboïdea et Atrypa reticularis.

Pennsylvanie. — M. Mansfield (2) a récemment découvert, dans les houillères de la Pennsylvanie, des échantillons de Cordaites portant encore les fleurs et les feuilles attachées à leurs tiges. Ces échantillons reproduisent non seulement les types déjà décrits en France par M. Grand'Eury, mais encore font connaître de nouvelles familles de la même classe.

Indiana. — M. Lesquereux (3) a trouvé, dans la formation houillère de l'Indiana, soit dans les lentilles de sphérosidérite superposées à la houille, soit dans un grès houiller, plusieurs plantes marines fossiles appartenant aux genres Palœophycus et Asterophycus.

Brésil. — M. Derby (4) a fait connaître la faune de brachiopodes du terrain carbonifère d'Itaituba au Brésil. Sur 27 espèces, 12 sont déjà connues dans le carbonifère de l'Amérique du Nord. On y trouve Athyris subtilita, A. sublamellosa, Spirifera camerata,

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 559 (analyse de M. G. Dollfus).
(2) *American Journal* [3], XV, 307.
(3) *Geol. Survey of Indiana*, 1876. — *Neues Jahrb.*, 1878, 961.
(4) *Bulletin of the Cornell University*. — *Neues Jahrb.*, 1878, 663.

Chonetes glabra, Productus semireticulatus, etc. Quelques-unes des formes découvertes présentent une certaine analogie avec les espèces du zechstein.

Terres polaires. — MM. Feilden et de Rance (1) ont fait connaître la présence du calcaire carbonifère par 82° 40′ de latitude septentrionale, à l'extrémité nord de la terre de Grinnel, explorée par l'expédition arctique de l'amiral Nares. Les fossiles de ce calcaire, examinés par M. Etheridge, offrent plusieurs espèces déjà rencontrées dans les roches du même âge au Spitzberg et aux îles Parry. A la base du calcaire se trouvent des couches dans lesquelles M. Etheridge a reconnu des fossiles dévoniens.

Végétation houillère et formation de la houille.

M. Grand'Eury (2) a réuni un grand nombre d'observations relativement à la végétation de la période houillère et au mode possible de formation du combustible minéral. D'après lui, tous les végétaux houillers sont des plantes de terres basses et inondées; les arbres dont on retrouve les racines en place paraissent avoir été enracinés peu profondément. Il n'y a, pour ainsi dire, dans le nombre, ni plantes de terre sèche ni végétaux aquatiques. Il faut admettre que d'immenses forêts très denses s'étendaient sur de grandes surfaces le long des cours d'eau. A Saint-Étienne, le rapport entre les plantes en débris transportés et les souches en place est au moins de 100 pour 1.

Le mode de conservation de la plupart des feuilles implique leur chute dans l'eau; les inondations devaient périodiquement balayer les feuilles tombées et les troncs vidés, et ainsi les débris végétaux flottaient avant de s'enfoncer et de se déposer, soit avec les matières terreuses, soit seuls.

Les qualités de la houille sont celles d'une roche sédimentaire, sans liaison avec les couches encaissantes. La réduction éprouvée par les végétaux par suite de leur transformation en houille est beaucoup moindre qu'on ne l'a admis jusqu'ici. M. Grand'Eury ne l'évalue pas à plus de la moitié de l'épaisseur primitive. De plus, il est vraisemblable que les couches de charbon minéral se sont formées assez rapidement. Il y a des Psaroniocaulon et des Calamodendron qui ont fourni des lames de houille de 1 à 5 centi-

(1) *Geol. Society*, 71 avril 1878.
(2) *Assoc. française*, 1877, 517.

mètres, et les Cordaites ont des écorces, transformées en charbon, de 2 à 5 centimètres d'épaisseur. Certains bancs de houille n'ont pas mis plus de temps à se former que la même épaisseur de schiste. Suivant M. Grand'Eury, il n'y aurait aucune analogie à établir entre le mode de formation de la houille et celui de la tourbe.

TERRAIN PERMIEN.

Tyrol. — M. Guembel (1) a étudié la limite entre le terrain permien et le trias dans le Tyrol méridional. Près du village de Mazzon, le grès de Gröden offre un gisement de plantes identiques avec celles de Fünfkirchen, décrites par M. Heer : Voltzia ungarica, Baiera digitata, Ullmannia Bronni, U. Geinitzi, etc. Ce grès appartient donc bien au permien. Au-dessus vient une dolomie que M. Guembel regarde comme l'équivalent du calcaire à Bellerophon. La faune de ce calcaire est mixte et l'on peut y voir, avec M. Stache (2), un équivalent du zechstein, ou bien avec M. Guembel, un terme de la base du grès bigarré. En tout cas, si cette faune n'a pas le faciès typique de la faune européenne du zechstein, elle offre un caractère nettement paléozoïque. Les fossiles se rapportent presque tous à des formes nouvelles.

Lombardie. — Curioni (3) reconnaît deux étages dans le terrain permien de la Lombardie. Le plus ancien est formé de conglomérats et grès porphyriques avec restes de Noeggerathia, Walchia, etc. Le second est constitué par des schistes gréseux et des roches bigarrées avec Schizopteris fasciculata, Sphenopteris Suessi, Walchia piniformis, W. falciformis.

(1) *Geogn. Durchforschung Bayerns*, 1877. — *Revue géol. suisse*, VIII, 28.
(2) *Jahrb. d. K. K. geol. R.*, XXVII, 271.
(3) *Geologia delle provincie Lombarde*. — *Revue géol. suisse.*, VIII, 28.

TERRAINS MÉSOZOÏQUES.

TERRAIN TRIASIQUE.

ANGLETERRE. — D'après M. Usher (1), l'amincissement que subissent les couches du trias dans le Devonshire méridional et le Somerset occidental à mesure qu'on s'avance vers le nord, prouve que, jusque vers la fin du Keuper, il n'y avait pas de communication entre ce bassin et celui des comtés du centre. C'est dans l'espace aujourd'hui occupé par la Manche que les couches triasiques doivent être le plus épaisses et c'est là, sans doute, qu'on retrouverait au-dessous d'elles les porphyres quartzifères, d'origine inconnue, dont quelques fragments se rencontrent à la base du trias du Devon.

A cette occasion, MM. Etheridge et Whitaker ont indiqué Gorran, sur la côte sud de Cornouailles, comme le gisement originel des quartzites dont les galets se trouvent dans le conglomérat triasique de Budleigh Salterton. M. Pengelly (2) a rappelé que, dès 1864, ce fait avait été signalé par lui, à la suite de la découverte, faite à Gorran, de fossiles semblables à ceux du conglomérat, et contenus dans des quartzites identiques de texture et d'aspect avec ceux de Budleigh Salterton.

NORMANDIE. — M. Ussher (3) a étudié le trias du Calvados et du Cotentin dans les districts de Bayeux, Valognes, Montebourg et Carentan. La formation s'y compose de graviers, de sables, de grès et de marnes et n'excède guère 60 mètres de puissance; elle est le prolongement vers le sud-est du bassin triasique de Somerset et de Devon, et la partie supérieure du Keuper y serait seule représentée. L'auteur pense que, d'après la situation des côtes de la Manche, on peut admettre que diverses variétés de roches paléozoïques encaissaient le bassin triasique dans la partie aujourd'hui occupée par la mer, et que c'est dans ces roches qu'on doit chercher l'origine des galets paléozoïques, étrangers à la fois à l'Angleterre et à la Normandie, qu'on trouve dans les couches triasiques du Devonshire méridional.

(1) *Geol. Society*, 20 mars 1878.
(2) *Geol. Mag.*, 1878, 238.
(3) *Geol. Society*, 22 mai 1878.

ALSACE. — D'après M. Benecke (1), le grès des Vosges ferait partie du système du grès bigarré. Le grès de la Spessart serait du grès des Vosges *reposant sur le zechstein*; il n'y aurait donc aucune jonction à établir entre le grès des Vosges et le grès rouge permien. M. Benecke propose pour le premier la dénomination de *grès bigarré principal*, tandis que le grès bigarré s'appellerait *grès à Voltzia*.

Le muschelkalk de l'Alsace-Lorraine comporterait les divisions suivantes, de haut en bas :

Couches dolomitiques.	
Muschelk. supérieur.	Calcaire à Ceratites nodosus.
	Calcaire à trochites.
Muschelk. moyen . .	Argiles rouges avec gypse, dolomie et marne.
Muschelk. inférieur.	Région dolomitique.
	Grès coquillier.

Les couches dolomitiques du haut contiennent Trigonodus Sandbergeri, Myoconcha gastrochæna, Lucina Schmidi, Myophoria Goldfussi, M. lævigata, M. intermedia, Gervillia costata, Lingula tenuissima.

SUISSE. — M. Heer (2) a fait connaître en détail la flore triasique de la Suisse. Le grès bigarré n'a fourni qu'une seule plante, l'Equisetum Mougeoti de Rheinfelden. Dans le muschelkalk, on a trouvé Cylindrites cæspitosus et Voltzia heterophylla.

Le Keuper du canton de Bâle renferme 26 espèces; 20 se trouvent dans le Lettenkohle et 11 (dont 5 communes à l'étage précédent), dans le grès supérieur, équivalent du grès à roseaux de la Souabe. Deux des plantes cantonnées en Suisse dans le Lettenkohle sont, en Allemagne, exclusivement limitées au grès et, en revanche, deux autres qui, en Suisse, ne se trouvent que dans le grès, se rencontrent, en Allemagne, aussi bien dans le Lettenkohle que dans le grès à roseaux. En somme, il ressort de là que les flores du Lettenkohle et du grès appartiennent à un même ensemble et que les différences qu'on y observe doivent être attribuées à des influences locales.

La flore triasique de Suisse n'a d'espèces communes ni avec l'étage jurassique ni avec l'étage rhétien.

LOMBARDIE. — Curioni (3) a établi, dans le terrain triasique de la Lombardie, les subdivisions suivantes :

(1) *Abh. zur geol. Specialkarte von Elsass-Lothringen. — Neues Jahrb.*, 1878, 534.
(2) *Flora fossilis Helvetiæ*. Zurich, 1877.
(3) *Geologie delle provincie Lombarde.*

Trias supérieur.	4. Étage à Avicula exilis. Calcaire et dolomie. Gyroporella annulata, Megalodus Gümbeli.
	3. Étage à Gervillia bipartita. Calcaire marneux riche en fossiles: Myoconcha Lombardica, Myophoria Kefersteini, etc.
	2. Calcaire et dolomie métallifère. Ammonites globosus.
	1. Étage à Trachyceras de Saint-Cassian. Dolomie et calcaire. Muschelkalk supérieur à Trach. Aon, Halobia Lommeli, H. rugosa, Pterophyllum Jægeri.
Trias inférieur.	4. Argile gypsifère sans fossiles.
	3. Calcaire dolomitique, farineux. Cargneule avec traces de Myacites Fassaensis.
	2. Schistes argileux métallifères (Servino, Muschelkalk), Naticella costata, Myacites Fassaensis, Posidonia Claræ, Pecten Margaritæ, Avicula socialis, Encrinus liliformis.
	1. Conglomérat et grès bigarré à Naticella costata, Myacites Fassaensis.

COLOMBIE ANGLAISE. — La Commission géologique du Canada, dirigée par M. Selwyn (1), a reconnu l'existence du trias dans la Colombie anglaise; cette formation y est caractérisée, comme en Californie, par Monotis subcircularis.

Étage rhétien.

LOMBARDIE. — L'étage rhétien en Lombardie se compose, d'après Curioni (2), de trois étages qui sont, de haut en bas:

3. Calcaire marneux à Plicatula intusstriata, Avicula contorta, Cardita austriaca.
2. Calcaires puissants, alternant avec des marnes. Rhabdophyllia longobardica, Terebratula gregaria, Avicula contorta.
1. Marne à Bactryllium striolatum, avec Avicula contorta.

TERRAIN JURASSIQUE.

Lias et étage oolithique inférieur.

AUXOIS. — En 1824, de Bonnard avait signalé, à la partie supérieure du lias à gryphées de l'Auxois, des nodules qui, d'après une analyse de Berthier, consistaient principalement en phosphate de chaux. Ces nodules ont été retrouvés récemment par M. Collenot (3), qui a fait connaître les conditions de leur gisement; on les rencontre à la jonction du calcaire à gryphées et d'une terre

(1) *Geol. Survey af Canada.* Montréal, 1877.
(2) *Geologia delle provincie Lombarde.*
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 671

ferrugineuse qui semble provenir de la dissolution, opérée sur place, de ce même calcaire. M. Collenot a pu reconnaître que, dans les points où le lias inférieur est recouvert par le lias moyen, la couche à nodules, ordinairement localisée dans la zone de l'Ammonites Birchi, se poursuit dans l'intérieur du massif. Seulement les nodules cessent d'être visibles et ne se révèlent plus que par des taches de la roche.

M. Collenot est porté à attribuer les phosphates de l'Auxois à des émissions hydrothermales contemporaines du dépôt des couches du lias.

CÔTE-D'OR. — M. Jules Martin (1) a décrit l'étage bathonien de la Côte-d'Or. Cet étage, recouvert par l'oxfordien à Amm. cordatus, quelquefois avec intercalation, en forme de coin, du callovien à Amm. athleta, comporte les subdivisions suivantes :

Bathonien supérieur, 25 m.	11. Calcaires fissiles à Pernostrea Pellati et Pentacrinus Bavignieri.
	10. Calcaires lumachelles à Terebratula digona, var. emarginata.
	9. Calcaires feuilletés à plantes terrestres et marines.
	8. Calcaires et marnes à T. digona, var. minor.
	7. Calcaires et marnes à T. cardium.
Bathonien moyen, 60 m.	6. Calcaires blancs à Échinodermes (pierre de Comblanchien).
	5. Oolithe blanche miliaire à Purpura glabra.
	4. Calcaires à Ammonites arbustigerus.
Bathonien inférieur. 35 m.	3. Calcaires à Pinna ampla et Pholadomya bucardium.
	2. Marnes à Ostrea acuminata et Terebratula Mandelslohi.
	1. Calcaires roux marneux à Homomya gibbosa.

D'après M. J. Martin, le dépôt du groupe bathonien, dans le détroit séquanien, correspond à une longue période d'affaissement, fréquemment interrompue, du côté de la rive du Morvan, par des oscillations qui ont amené, chaque fois, des modifications dans la faune. Ces modifications vérifient la loi bien connue que le retour des mêmes conditions dans les dépôts ramène toujours des groupements organiques semblables, avec espèces analogues et voisines, quand elles ne sont pas identiques.

VAL-FERRET. — M. Greppin (2) a découvert à la montagne de l'Amone (Val-Ferret), dans des calcaires adossés à des roches cristallines, un remarquable gisement bajocien avec Pecten personatus, P. articulatus, Rhynchonella quadriplicata, Cidaris cucumifera, Montlivaultia cupuliformis, Thamnastræa fungiformis.

(1) *Mém. de l'Acad. de Dijon*, V, 1878.
(2) *Actes Soc. helvét.* Bâle, 1877. — *Revue géol. suisse*, VIII 34.

Suisse. — Le lias de la Suisse est assez riche en plantes fossiles, qui ont été décrites par M. Heer (1). Dans le sinémurien, représenté par les marnes noires de Schambelen sur la Reuss, on trouve 7 plantes marines et 19 plantes terrestres. Le lias supérieur ou toarcien contient 36 espèces : le principal gisement est dans les schistes à posidonies, souvent remplis d'algues parmi lesquelles domine Chondrites bollensis.

Alpes bernoises. — M. Moesch (2) a trouvé l'étage oolithique inférieur bien développé dans les Alpes bernoises. Près de Lauterbrunnen on rencontre la zone à Ammonites Parkinsoni. A la Wengernalp, on observe les couches à Amm. opalinus et Equisetum Veronense, surmontées de la zone à Ammonites Murchisonæ et de celle à A. Humphriesi et Zoophycos scoparius. Le massif du Faulhorn offre les mêmes étages; on y trouve Avicula echinata.

Torrenthorn. — M. de la Harpe (3) a décrit le lias du Torrenthorn, près de Louèche-les-Bains. A la base est un calcaire à pentacrinites, surmonté de schistes noirs, que couronne un calcaire à bélemnites dont les espèces sont au moins très voisines des Bel. niger, B. elongatus, B. janus, B. breviformis, B. brevis. On observe ensuite un calcaire bréchiforme. Enfin l'étage se termine par un grès et calcaire siliceux avec Ammonites bisulcatus, A. Moreaui, Gryphæa cymbium.

Colombie anglaise. — L'étage oolithique inférieur est représenté dans la chaîne côtière de la Colombie anglaise, où il renferme, d'après M. Whiteaves (4), un assez grand nombre de fossiles, parmi lesquels Stephanoceras (Ammonites) Humphriesi et des Bélemnites. La plupart des espèces sont identiques avec celles du terrain jurassique de Dakota. La barrière des montagnes Rocheuses n'existait donc pas à l'époque oolithique.

Étage oolithique supérieur.

Angleterre. — MM. Blake et Hudleston (5) ont insisté sur la localisation du Cidaris florigemma, qui, en Angleterre, se trouve

(1) *Flora fossilis Helvetiæ.* — Zurich, 1877.
(2) *Notes soc. helvèt.* — *Revue géologique suisse*, VIII, 35.
(3) *Bull. soc. vaudoise*, 1877. — *Revue géol. suisse*, VIII, 34.
(4) *Americ. Journ.* [3], XVI, 71.
(5) *Geol. Mag.*, 1878, 90.

exclusivement dans le coral-rag proprement dit : on sait que les Anglais distinguent dans leur étage corallien quatre assises, qui sont, de haut en bas :

4. Calcareous grit supérieur.
3. Coral rag.
2. Oolithe corallienne, ou zone de l'Ammonites plicatilis.
1. Calcareous grit inférieur, ou zone de l'Ammonites perarmatus.

C'est dans la zone 3, exclusivement, selon MM. Blake et Hudleston que se rencontre, en Angleterre, Cidaris florigemma. Il n'y aurait d'exception que pour le district de Weymouth.

Il est à remarquer que le corallien anglais, ainsi défini, diffère considérablement du corallien des géologues du continent. En effet, parmi les fossiles de la zone 1, les Anglais citent Ammonites perarmatus, Gervillia aviculoïdes, Opis Phillipsi, Echinobrissus scutatus, Holectypus depressus, Collyrites bicordatus; or l'ensemble de cette faune est celui de l'oxfordien supérieur tel qu'il est compris en France.

— M. John T. Young (1) a découvert, dans les silex du calcaire lacustre de Purbeck, les spicules d'une éponge d'eau douce qu'il propose de nommer Spongilla Purbeckensis.

Boulonnais. — M. Pellat (2) a donné une coupe complète, comprenant 28 assises distinctes, du terrain jurassique supérieur du bas Boulonnais, depuis le callovien jusqu'au Purbeck. L'épaisseur totale est environ 250 mètres. Voici d'après l'auteur, la composition de l'étage séquanien dans cette région :

Étage Kimméridien à O. virgula.

5. Sables et grès de Wirvigne, à Pygurus jurensis. — Calcaire à Astartes.
4. Marne, oolithe et calcaire de Bellebrune à Natica Rupellensis et Astartes.
3. Argiles à O. deltoidea et calcaire à lithodomes.
2. Pisolithe à grandes nérinées d'Hesdin l'Abbé. Calcaires et sables à Trigonia Bronni.
1. Argiles à Ostrea deltoidea de Brucdale et du mont des Boucards.

Corallien à Cidaris florigemma.

M. Pellat a joint à cette coupe la description de cinq excursions par lesquelles on peut se familiariser avec la composition du terrain jurassique supérieur dans le bas Boulonnais.

(1) *Geol. Mag.*, 1878, 220.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 173.

LORRAINE. — M. Buvignier (1) considère le calcaire de Creüe comme l'exact équivalent du corallien à polypiers. Dans le col de Creüe, l'un des versants est formé par le calcaire à polypiers, l'autre par le calcaire crayeux compacte. Leur division actuelle tient à ce que les tassements subis par ce dernier calcaire ont donné lieu à des fissures, que les agents atmosphériques ont ensuite élargies.

HAUTE-MARNE. — Tombeck (2) a cherché à établir que, dans la Haute-Marne, la zone à Ammonites tenuilobatus offre deux horizons, l'un inférieur, l'autre supérieur au corallien proprement dit. Le premier n'est autre que la couche à Belemnites Royeri; le second renferme un mélange des fossiles des zones à Amm. bimammatus et à A. tenuilobatus. En résumé, la zone en question serait corallienne et représenterait le faciès normal d'un étage où les dépôts coralliens ne forment que des accidents.

Tombeck pense que les divergences qui existent entre les géologues relativement à la zone à Amm. tenuilobatus proviennent de ce que les uns ont en vue l'horizon inférieur, voisin de l'argovien, tandis que les autres s'attachent surtout à l'horizon supérieur, voisin du séquanien.

JURA. — M. Dieulafait (3) a cherché à prouver que, d'un bout à l'autre du Jura, depuis Trept jusqu'à Champlitte, la zone à Ammonites tenuilobatus est inférieure au corallien, y compris le glypticien et qu'elle correspond au pholadomyen ou à la zone à Belemnites Royeri de la Haute-Marne. Interprétant la coupe de Montépile, M. Dieulafait, pour la faire concorder avec sa manière de voir, conteste que la couche à Hemicidaris crenularis de M. Choffat soit le vrai glypticien. Il y voit une couche beaucoup plus ancienne.

M. Choffat (4) a maintenu contre M. Dieulafait toutes les conclusions de ses précédents travaux; s'autorisant de ses observations et de celles de M. Guirand, il affirme que la couche qui forme la base de la coupe de Montépile est bien le corallien proprement dit à Hemicidaris crenularis et que *jamais* les fossiles de la zone à Ammonites tenuilobatus n'ont été rencontrés au-dessous de ce niveau. Selon lui, M. Dieulafait confond sous le nom de zone à A. tenuilobatus tous les faciès à céphalopodes, parmi lesquels

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 14.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 7.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 111.
(4) *Mém. soc. d'émulation du Doubs*, 1878.

le faciès marneux de l'horizon à Ammonites bimammatus (zone à Belemnites Royeri) et les couches du Geissberg. En résumé, pour M. Choffat, la zone à A. tenuilobatus, équivalent de l'astartien, sépare le corallien supérieur de Valfin (synchronique du ptérocérien), du corallien de Wangen, lequel repose lui-même sur le glypticien ou zone à Hemicidaris crenularis.

— M. Choffat (1) a étudié les étages callovien et oxfordien dans le Jura occidental et le Jura méridional. Ces étages présentent deux faciès principaux : le faciès argovien qui occupe les deux extrémités de la chaîne et un autre qui occupe la partie médiane sans atteindre le bord intérieur.

Le callovien inférieur, ou zone à Ammonites macrocephalus, offre un faciès bathonien ou franc-comtois et un faciès callovien. La zone à Amm. anceps et A. athleta, qui vient ensuite, est plus homogène.

L'oxfordien présente aussi deux faciès : le faciès franc-comtois comprend des marnes à céphalopodes, surmontées de marnes à sphérites et de chailles avec myacées et céphalopodes. Le faciès argovien offre trois divisions, les couches de Birmensdorf à spongiaires, les couches d'Effingen à céphalopodes, enfin les couches du Geissberg avec myacées.

Au-dessus de l'oxfordien vient l'horizon de l'Ammonites bimammatus ou zone à Hemicidaris crenularis, dont le type franc-comtois présente un banc de polypiers et le type argovien un banc d'hexactinellides.

M. Choffat (2) a étudié la distribution des bancs de coraux et de spongiaires dans le terrain jurassique supérieur de la chaîne du Jura. Les coraux du rauracien ou corallien proprement dit, entouraient le massif vosgien, couvrant une partie des cantons de Bâle et de Soleure, du Jura bernois, du Doubs, de la Haute-Saône et du nord du département du Jura. Ceux de la période kimméridienne (Valfin, Oyonnax) ne se trouvent qu'au sud-est de la chaîne, au delà d'une ligne s'étendant d'Orbe à Bourg. Ceux de l'époque portlandienne sont surtout développés au Salève et pénètrent à peine dans le Jura.

Les bancs de spongiaires, qui se formaient à une profondeur beaucoup plus considérable, sont : les couches de Birmensdorf, celles à Hemicidaris crenularis, enfin les couches de Baden. Leurs limites

(1) *Esquisse du corallien*, etc. — *Mém. soc. d'émulation du Doubs*, 1878.
(2) *Club alpin français*, 1877. — *Revue géol. suisse*, VIII, 37.

s'écartent d'autant plus du pied des Vosges qu'on s'élève davantage dans la série stratigraphique. Il y avait donc exhaussement lent du fond de la mer vers le N.-O. et, à l'époque purbeckienne, le Jura était presque à fleur d'eau, tandis que les Alpes n'étaient pas émergées. La transition entre les deux régions se voit au Salève. Les cailloux noirs du Purbeck ne sont pas de provenance alpine et ne proviennent pas d'un transport lointain.

M. Choffat (1) a signalé, dans le Jura occidental, au lieu dit les Sèches des Amburnets, un gisement où la zone à Ammonites tenuilobatus, au lieu d'être séparée du portlandien par les couches coralligènes de Valfin, en est séparée par des couches kimméridiennes, très pauvres en fossiles, rappelant certains faciès du ptérocérien.

Alpes suisses, Savoie. — M. Ernest Favre (2) a décrit la zone à Ammonites acanthicus, telle qu'elle se présente dans les Alpes de la Suisse et de la Savoie.

L'auteur est d'avis qu'il n'y a eu aucune interruption générale du dépôt des couches jurassiques supérieures, soit dans les Alpes, soit dans la région méditerranéenne. Pour lui, comme pour M. de Loriol, qui a décrit les fossiles de cet horizon à Baden (Argovie), la zone à A. acanthicus de Suisse et de Savoie est l'équivalent de la zone à A. tenuilobatus des Alpes orientales; elle a pour synchronique dans le Jura, les zones à A. tenuilobatus, à A. Eudoxus et A. pseudomutabilis. Enfin elle correspond exactement à l'étage astartien ou calcaire à astartes, dont elle n'est qu'un faciès particulier, et ses affinités paléontologiques l'unissent étroitement au kimméridien.

Dans la région alpine, il y a une démarcation paléontologique assez tranchée entre la zone à A. acanthicus et les couches qui lui servent de base, que ce soit la zone à A. transversarius ou celle à A. bimammatus. Ces dernières se relient plutôt à l'oxfordien, tandis que la zone à A. acanthicus se range mieux avec le jurassique supérieur.

Le tableau suivant résume la concordance des assises jurassiques supérieures dans diverses contrées.

(1) *Bull. Soc. vaudoise*, 1877. — *Revue de géol. suisse*, VIII, 89.
(2) *La zone à Amm. acanthicus*. — *Mém. de la Soc. paléontol. suisse*, 1877.

	ALPES de Fribourg. (Favre.)	LÉMENC. (Pillet.)	ALPES-ORIENTALES. (Neumayr.)	CRUSSOL. (Fontannes, Huguenin.)	AIN. (Falsan, Choffat.)	ARGOVIE. (Moesch.)
		Couche de la vigne Droguet à Ter. Janitor.	Tithonique sup^r de Stramberg à Ter. Janitor.		Purbeck. Portlandien à Nérinées.	Oolithe d'Hattingen. Corallien de Nattheim.
Kimméridien.		Couches du Calvaire à Amm. steraspis et T. diphya.	Tithonique inf^r d'Innwald et de Rogoznik, à Amm. lithographicus, Cidaris carinifera, Ter. diphya.	Calc^re du Château. Amm. steraspis, Am. lithographicus.	Couches à Poissons et Cidaris carinifera. Couches à Ostreavirgula.	Calc^res en plaquettes (Solenhofen) à Amm. sterapis, A. lithographicus.
	Zone à Amm. acanthicus (A. isotypus, A. ptychoïcus, A. tenuilobatus, A. Frotho, A. longispinus, Ter. janitor).		Zone à A. acanthicus et A. Beckeri, T. Janitor.	Zone à A. tenuilobatus.	Corallien de Valfin.	Couches de Wettingen. Ptérocérien à Amm. Eudoxus.
			Zone à A. acanthicus, A. tenuilobatus, A. isotypus.		Zone à Amm. tenuilobatus et à Astartes.	Couches de Baden, couches à Astartes.
Oxfordien.	Calcaires à Bel. hastatus. Am. Manfredi, Am. Arolicus, Am Erato, Am. bimammatus, A. Œgir, Collyrites Inburgensis.		Oxfordien.		Corallien.	Couch^s de Wangen (corallien).
				Zone à Amm. bimammatus.	Couches à Hémicidaris crenularis.	Z. à A. bimammatus (Terrain à chailles).
					Pholadomyen.	Couch^e du Geissberg.
				Zone à Ter. impressa.	Calc^re hydraulique à Ter. impressa.	Couches d'Effingen à Ter. impressa.
				Zone à A. transversarius.	Zone à A. transversarius.	Couches de Birmensdorf.

Suisse. — L'étage jurassique supérieur de la Suisse a fourni à M. Heer (1) un certain nombre de plantes fossiles. Le Nulliporites Hechingensis se trouve depuis l'oxfordien jusqu'au tithonique. Pachyphyllum Meriani et Cycadeospermum Ivernoisi indiquent un continent à l'époque oxfordienne. De même, la présence de Zamites Feneonis dans le corallien atteste la présence d'une île. Enfin le Jura blanc supérieur contient les Zamites Feneonis, Z. formosus, Z. Renevieri, dont les deux premières vivaient sur les îles coralliennes de l'époque.

Alpes bernoises. — D'après M. Moesch (2), le faciès tithonique de l'étage jurassique supérieur est bien développé dans les Alpes bernoises. Au Staubbach, on observe les couches de Rogoznik à Diceras Luci, qui renferment, comme à Wimmis et dans la Suisse

(1) *Flora fossilis Helvetiæ*. — *Zurich*, 1878.
(2) *Actes Soc. helvétique*, 1876. — *Revue géol. suisse*, VIII, 43.

orientale, une faune coralligène; elles reparaissent dans le Trümletenthal et en face de la Wengernalp. La Terebratula diphya se trouve à Alpiglen. C'est au même horizon qu'il conviendrait de rapporter le marbre de Grindelwald, ainsi que les dépôts de la rive droite du lac de Brienz.

Alpes bavaroises. — M. Gümbel (1) a reconnu la grande extension, dans les Alpes bavaroises, des schistes à Aptychus. Grâce à la découverte des Terebratula diphya à Haselberg et T. janitor au Wendelstein, ces schistes peuvent désormais être classés dans le jurassique supérieur à faciès tithonique.

Quant à l'abondance des Aptychus, comparée à la rareté des coquilles d'ammonites, M. Th. Fuchs (2) l'explique en admettant que ces coquilles, composées d'aragonite et de nacre, étaient décomposées par les agents chimiques, tandis que les Aptychus, formés de spath calcaire, résistaient à leur action.

Solenhofen. — Un nouveau spécimen d'Archæopteryx a été récemment découvert dans les schistes de Solenhofen (3); d'après M. Häberlein, les mâchoires sont armées de dents. Ainsi se trouve confirmée une supposition qui était déjà venue à l'esprit de M. John Evans, d'après l'examen de l'échantillon conservé au British Museum.

Hanovre. — M. Struckmann (4), qui explore depuis plusieurs années les environs de la ville de Hanovre (5), vient de faire paraître, sur le terrain jurassique supérieur de cette région, un travail d'ensemble, accompagné de listes paléontologiques très complètes et de descriptions d'espèces avec figures.

L'auteur fait commencer le terrain jurassique supérieur aux couches de Hersum, immédiatement supérieures aux argiles à Ammonites Lamberti et Amm. ornatus. Ces couches, épaisses de 7m,50 environ, contiennent : Amm. perarmatus, A. cordatus, Belemnites hastatus, Ostrea dilatata, Terebratula impressa, Collyrites bicordata. C'est l'oxfordien supérieur des géologues français.

Au-dessus vient l'oolithe corallienne, puissante de 20 mètres au Deister et se divisant en deux sous-étages : à la base, la couche à

(1) *Geognost. Durchforschung Bayerns.* — *Revue géol. suisse*, VIII, 42.
(2) *K. Akad. der Wissenschaften*, Vienne, 1877. — *Revue géol. suisse*, VII, 43.
(3) *Géol. mag.*, 1878, 422.
(4) *Der Obere Jura der Umgegend von Hannover*, Hannover, 1878.
(5) *Revue de géologie*, XIII, 118.

coraux ou zone à Ostrea rastellaris ; au sommet, la zone des Pecten varians et Nerinea Visurgis. Tout cet ensemble contient le Cidaris florigemma.

Le kimméridien inférieur, qui succède à l'étage précédent, se divise, de bas en haut, en zone à Terebratula humeralis, zone à Natica globosa et zone à Nerinea tuberculosa. Ensuite apparaît le kimméridien moyen, ou couches à ptérocères, offrant, à la base, les couches inférieures à ptérocères ou zone à Nerinea obtusa ; au sommet, la zone à Pterocera Oceani.

Ce système est couronné par le kimméridien supérieur ou virgulien, à Exogyra virgula, découvert par M. Struckmann à Ahlem et au Tönjesberg, où il a environ 4 mètres.

Les étages qui viennent ensuite sont : le portlandien inférieur à Ostrea multiformis, le portlandien supérieur ou calcaire en plaquettes d'Eimbeckaus à Cyprina Brongniarti, Cyrena rugosa, et Corbula inflexa; enfin le Purbeck ou serpulit avec Serpula coacervata, Cyrena Mantelli, etc., que recouvre immédiatement le grès wealdien.

D'après les affinités paléontologiques, les couches de Hersum représentent celles de Birmensdorf en Argovie, tandis que les couches du Geissberg ont plutôt leur équivalent dans l'oolithe corallienne, ainsi que le terrain à chailles à Hemicidaris crenularis ou la zone à Amm. bimammatus. Les couches de Wangen correspondent à la zone à Pecten varians; comme d'ailleurs celles de Wettingen sont certainement l'équivalent des couches à ptérocères, il devient évident que les couches de Baden ou la zone à Amm. tenuilobatus ne peuvent représenter que l'assise à Terebratula humeralis.

La comparaison n'est pas moins facile avec la Haute-Marne, où les couches de Hersum ont leur équivalent dans l'ensemble des zones à Amm. Martelli, Amm. Babeanus, Belemnites Royeri, pendant que l'oolithe corallienne répond au séquanien inférieur de M. de Loriol et la zone à Pecten varians au niveau du Cardium corallinum. Le séquanien supérieur ou calcaire à astartes représente la zone à Ter. humeralis, au-dessus de laquelle le ptérocérien et le virgulien se succèdent comme partout.

On peut dire que, par sa précision et par les comparaisons qu'il permet d'établir entre le jura blanc du Hanovre, d'une part, celui de l'Argovie et celui du bassin parisien, d'autre part, le travail de M. Struckmann fait faire un pas très sérieux à la question si controversée du terrain jurassique supérieur.

MONTAGNES-ROCHEUSES. — M. Marsh (1) a fait connaître un mammifère de la classe des marsupiaux, le Dryolestes priscus, récemment découvert dans le terrain jurassique supérieur des Montagnes-Rocheuses, en compagnie de restes de dinosauriens. Ce fossile, voisin de l'Opossum actuel, est le premier mammifère jurassique qu'on ait trouvé dans l'Amérique du Nord.

Limite supérieure du terrain jurassique.

LANGUEDOC. — M. Torcapel (2) a reconnu que, sur la ligne d'Alais au Pouzin, les marnes à Ammonites cordatus et les calcaires à A. bimammatus sont recouverts par des couches à Ammonites polyplocus, auxquelles succèdent des calcaires massifs, équivalents des calcaires ruiniformes à Terebratula moravica, et liés par leur faune à la fois aux couches inférieures et aux calcaires à Terebratula janitor, qui leur sont superposés. M. Torcapel voit dans ces calcaires massifs l'équivalent du kimméridien et du portlandien. Quant aux couches à T. janitor, leur faune aurait plus d'analogie avec celle de l'étage néocomien.

M. Hébert (3) a fait remarquer que, dans toutes les régions étudiées, le principal gisement de la Terebratula janitor est toujours le calcaire contenant les céphalopodes de Stramberg, calcaire qu'il rapporte au terrain crétacé, en lui attribuant le nom de zone à Ammonites transitorius.

CRUSSOL. — M. Huguenin (4) a découvert, dans les calcaires du château de Crussol, qui surmontent la zone à Ammonites tenuilobatus, des fossiles tels que Terebratula janitor, Amm. ptychoïcus, A. Staszyci, qui caractérisent le faciès tithonique du terrain jurassique supérieur.

JURA. — On sait que l'étage purbeckien du Jura contient assez souvent des cailloux noirs qu'on avait crus de provenance alpine. Cette explication entraînait une conclusion fort grave : l'émersion des Alpes pendant le dépôt du purbeckien, fait inconciliable avec le passage graduel de la faune crétacée avec la faune jurassique dans la région alpine.

M. Choffat (5) a reconnu que les cailloux noirs existaient à di-

(1) *Americ. Journal*, [3], XV, 159.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 104.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 108.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 734.
(5) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 564.

vers niveaux dans le jurassique supérieur et que, entre Delémont et Montier, ils forment de *véritables bancs*. Enfin on trouve dans leur intérieur des graines de chara et des fossiles d'eau douce. Il n'y a donc plus lieu de considérer les calcaires noirs du purbeckien comme erratiques, ni de leur attribuer une origine alpine.

OBERLAND BERNOIS. — M. Moesch (1) a trouvé l'étage tithonique ou jurassique supérieur remarquablement développé dans l'Oberland bernois. Cet étage est riche en fossiles au Laucher Horn, entre le Sägisthal et l'Oberalp, où l'on recueille, en nombreux exemplaires, Ammonites ptychoïcus associé à des Aptychus et à Rhynchonella Gemmellaroi. Le beau marbre rouge de la partie basse du glacier de Grindelwald appartient aussi au tithonique, ainsi que toute la rive droite du lac de Brienz, d'Eblingen à Goldswyl.

TERRAIN CRÉTACÉ INFÉRIEUR.

ANGLETERRE ET FRANCE. — M. Ch. Barrois (2) a résumé, dans le tableau suivant, la concordance entre le terrain crétacé inférieur d'Angleterre et celui de la Haute-Marne :

	HAUTE-MARNE.	ANGLETERRE.
Albien. . . .	Argile du Gault.	Argile du Gault (nos 1 à 7 de M. Price).
	Sable vert à Ostrea arduennensis.	Couche à Amm. mammillaris.
Aptien. . . .	Sables et grès jaunâtres à O. aquila, O. arduennensis.	Lower green sand supérieur.
	Argile à plicatules et à O. aquila.	Pebble-bed d'Upware, Farringdon, Potton.
		Transgressivité.
Urgonien . .	Couche rouge de Wassy.	Lower green sand inférieur.
	Grès d'eau douce.	Formation de Punfield.
	Argiles roses marbrées.	Couches d'Atherfield.
Néocomien .	Argiles ostréennes.	
	Calcaire à spatangues.	Néocomien inférieur de Speeton.
	Sables et marnes.	

VERS. — M. l'ingénieur Delafond a découvert à l'Est de Tournus, dans la commune de Vers, un lambeau de terrain néocomien bien caractérisé. Cette formation a été reconnue sur 1 kilomètre environ de longueur ; son épaisseur est de 10 à 15 mètres.

L'existence du néocomien n'avait pas encore été signalée dans le Mâconnais ; cependant, dans le Chalonnais, Thiollière l'avait observé à Fontaines et M. Méran à Germolles.

(1) *Neues Jahrb.*, 1878, 673.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 263.

Belgique. — M. Cornet (1) a annoncé une intéressante découverte faite récemment au charbonnage de Bernissart et qui confirme, d'une manière remarquable, l'attribution que Dumont avait faite du terrain aachénien à la base de l'étage crétacé. Dans une faille remplie d'argile ligniteuse on a trouvé, à 172 mètres de profondeur, sous la surface du terrain houiller, des ossements parmi lesquels M. Van Beneden a reconnu des dents d'Iguanodon, genre qui n'est connu, jusqu'ici, que dans le wealdien et le néocomien.

Nous rappellerons que, lors de la réunion de la Société géologique de France à Avesnes, en 1874, l'opinion de Dumont, combattue par divers géologues, avait été défendue par M. de Lapparent.

Thiérache.—M. Ch. Barrois (2) a reconnu l'existence de l'étage aptien dans la Thiérache. Déjà MM. Papillon et Rogine avaient signalé, à Blanzy, des grès verts surmontés par l'argile à grandes huîtres de Landouzy. La faune de ces grès verts, étudiée par M. Barrois, lui a offert une grande analogie avec celle du minerai de fer de Grandpré, et plus encore avec le gisement aptien de Farringdon en Angleterre.

Haute-Marne. — M. Cornuel (3) a décrit plusieurs espèces de poissons fossiles provenant du calcaire à spatangues de la Haute-Marne. Ces espèces, dont la plupart sont nouvelles, appartiennent aux genres Lepidotus, Pycnodus, Ellipsodus.

TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

Ciply. — MM. Cornet et Briart (4) ont donné quelques détails sur la craie brune phosphatée de Ciply, qui commence à être exploitée d'une manière active pour le phosphate tribasique qu'elle contient et dont la proportion, d'après M. Melsens, s'élève au tiers du poids des grains bruns, ces derniers entrant eux-mêmes pour 75 p. 100 dans la composition de la craie grise. Il paraît que la portion de la craie grise phosphatée qui peut être exploitée souterrainement ou à ciel ouvert, au-dessus du niveau de la nappe aquifère du pays, n'a pas moins de 250 hectares de superficie:

(1) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, CV.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 227.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 604.
(4) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, 11.

son épaisseur est d'environ 8 mètres. On pourra donc enlever, sans recourir à aucun épuisement, 20 millions de mètres cubes, renfermant 7 milliards 500 millions de kilogrammes de phosphate.

Mons. — M. Cotteau (1) a publié la description des échinides trouvés par MM. Cornet et Briart dans le calcaire grossier de Mons. Les espèces sont au nombre de six; deux d'entre elles sont nouvelles et appartiennent à des genres tertiaires. Ce sont Echinanthus Corneti et Linthia Houzeaui. Trois autres, Cidaris Tombecki, Cid. distincta et Goniopygus minor, sont connues en France dans le calcaire pisolithique. Enfin une sixième espèce, Cassidulus elongatus, n'était connue jusqu'à présent que dans le tuffeau de Maëstricht et de Ciply. Ces caractères semblent permettre de considérer le calcaire de Mons comme une formation de transition entre le terrain crétacé et le terrain tertiaire.

Région franco-belge. — On sait que les mineurs du bassin houiller franco-belge confondent sous le nom de *tourtia* diverses assises de poudingues grossiers verdâtres qui se trouvent à la base des morts-terrains, au contact immédiat du terrain houiller. Depuis longtemps les observateurs, notamment Dumont et MM. Meugy, Gosselet, Briart et Cornet ont montré qu'il y avait plusieurs tourtias d'âges différents. M. Ch. Barrois (2), qui en a fait une étude approfondie, distingue :

1° Le *Tourtia de Mons*, (poudingue *nervien*), appartenant à la zone à Belemnites plenus;
2° Le *Tourtia de Montignies-sur-Roc* (poudingue *hervien*), identique avec celui de Tournai, et qui correspondrait aux grès du Maine.
3° Les *sables verts d'Avesnes*, ou zone à Pecten asper.
4° Le *Tourtia de Sassegnies*, correspondant à la base des sables à Pecten asper.
5° Le *Sarrasin de Bellignies*, que M. Ch. Barrois considère comme la couche la plus ancienne et qu'il est même disposé à rapprocher de l'aptien de Farringdon, en Angleterre.

Rudistes dans la craie du Nord. — On sait que la grande différence entre la faune crétacée du midi de la France et celle du Nord, consiste surtout dans les rudistes, presque absents du bassin septentrional. Il en existe cependant quelques-uns dans le bassin du Nord, et M. Ch. Barrois (3) en a donné la liste. Ce sont principalement des Radiolites et des Caprotines, qu'on trouve dans les

(1) *Mém. Acad. roy. de Belgique*, 1878.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 336.
(3) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 75.

Ardennes, le Hainaut, la Flandre et le Pas-de-Calais. Rarement ces espèces y sont déterminables. Mais cette observation ne s'applique pas aux radiolites de Ciply, non plus qu'à ceux du tourtia de Montignies-sur-Roc, dont MM. Cornet et Briart ont donné la liste.

Boulonnais. — M. Chelloneix (1) est d'accord avec M. Barrois pour placer dans le cénomanien supérieur la zone à Belemnites plenus. Au cap Blanc-Nez, ce fossile se trouve dans une couche marneuse intimement liée à la craie rotomagienne et toujours au-dessous des premiers lits noduleux à Inoceramus labiatus. La faune de la zone à Holaster subglobosus ne se développe qu'à 15 ou 20 mètres au-dessous.

Cette place est aussi celle qu'occupe le Bel. plenus dans la falaise occidentale de Douvres.

Ardennes. — M. Charles Barrois (2) compose l'étage turonien, dans les Ardennes, des assises suivantes :

Assise à Micraster breviporus. . . .	Craie de Vervins à Epiaster brevis. Chalk rock à Holaster planus. Marne à Terebratulina gracilis. Dièves à Inoceramus labiatus.

L'assise à Micr. breviporus correspondrait à la craie de Villedieu à Spondylus truncatus et à la craie à Amm. Requieni.

Quant au sénonien de la même région, M. Barrois y reconnaît quatre niveaux :

Assise à belemnitelles.	Craie d'Epernay à Belemnitella mucronata. Craie de Reims à Bel. quadrata.
Assise à micraster coranguinum . .	Craie magnésienne à Marsupites. Craie magnésienne à Inoc. involutus.

M. Ch. Barrois croit à l'absence, dans les Ardennes, de la zone à Micraster cortestudinarium, qu'il fait d'ailleurs rentrer dans le turonien, contrairement aux idées jusqu'ici acceptées.

Bassin de Paris. — MM. Ch. Barrois et de Guerne (3) ont étudié la faune de la zone à Belemnites plenus, qui forme le passage du cénomanien au turonien et dont l'attribution à l'un ou à l'autre de ces deux étages est encore un sujet de contestation pour les géologues. Dans l'est du bassin de Paris, cette zone contient : Bel.

(1) *Ann. Soc. géol. du Nord*, IV, 205.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 484.
(3) *Ann. Soc géol. du Nord*, V, 42.

plenus, Ammonites Bladenensis, Anisoceras plicatile, Cerithium gallicum, C. Requieni, C. Luschitzianum et plusieurs espèces nouvelles, dont deux sont décrites par les auteurs sous les noms de Amm. Juddi et A. Briarti.

Aquitaine. — On doit à M. H. Arnaud (1) d'importantes études de détail sur le terrain crétacé supérieur du sud-est de la France. L'auteur a dressé la coupe géologique de toutes les lignes de chemins de fer exploitées, dans la région crétacée, par la compagnie d'Orléans et par celle des Charentes. Les coupes sont à l'échelle de $\frac{1}{100.000}$ pour les longueurs de $\frac{1}{2.000}$ pour les hauteurs. La division du terrain crétacé en assises y est poussée très loin, comme on en peut juger par le tableau suivant, où les couches sont énumérées de haut en bas et classées d'après les divisions proposées par M. Coquand :

Dordonien . .	Grès sables, Poudingue dolomitique à rudistes de Beaumont de Périgord. Calcaires jaunes dolomitiques tendres supérieurs, à Hemiaster prunella. Calcaires dolomitiques solides; banc inférieur avec Hippurites radiosus major, Radiolites crateriformis. Calc. blanc ou jaune dolomitique, à ostracés, du niveau de Royan. Calcaire glauconieux ou arénacé à Orbitolites media.
Campanien. .	Calcaire blanc ou glauconieux à O. vesicularis gigas, Ananchytes ovata, etc. Calcaire marneux ou arénacé à Belemnitella quadrata. Calcaires gélifs et hydrauliques à silex, avec Hippurites Arnaudi, etc.
Santonien . .	Grès et calcaire supérieur à Conoclypeus ovum, Sphærulites Hoeninghausi. Bancs à O. vesicularis et O. proboscidea. Calcaires et grès à Botryopygus Toucasi, B. Nanclasi. Calcaires gélifs à Micraster brevis.
Coniacien. . .	Calcaire arénacé à silex : pierre de taille de Périgueux. Calcaires noduleux ou cristallins : Ammonites subtricarinatus. Grès ou marnes : Rhynchonella petrocoriensis, Ammonites petrocoriensis.
Provencien. .	Marnes et calcaires à Sphærulites sinuatus. Calcaires durs à Sph. angeiodes, S. radiosus, etc. Calcaires tendres, grès et marnes, à Sph. Ponsianus.
Angoumien. .	Calcaire à Radiolites lumbricalis. Banc inférieur à Sphærulites Patera. Calcaire blanc gélif à Periaster oblongus, O. Arnaudi, etc.
Ligérien . . .	Bancs à Amm. Rochebruni, A. Peramplus. Marnes à O. Columba major. Calcaires et marnes à Terebratella carentonensis. Calcaire supérieur à Caprina adversa.

(1) *Actes de la Société linnéenne de Bordeaux*, XXXI, 1877.

Cénomanien	Sables et argiles à O. columba, O. biauriculata, O. flabellata. Calcaire inférieur à Caprina adversa. Argiles et grès lignitifères à Anorthopygus orbicularis.

Les coupes de M. Arnaud sont accompagnées de notices faisant connaître la nature des roches rencontrées dans toutes les tranchées et donnant l'énumération des fossiles qu'on y trouve.

M. H. Arnaud a également publié, à l'échelle de $\frac{1}{1.000}$ pour les hauteurs et de $\frac{1}{40.000}$ pour les longueurs, le profil géologique des falaises crétacées de la Gironde, depuis la Grande-Côte (Saint-Palais) jusqu'à Mortagne par Meschers. Cette coupe embrasse les étages dordonien et santonien, subdivisés, de haut en bas, conformément au tableau suivant :

Dordonien	Banc à Ostrea vesicularis. Calcaire noduleux à Sphærulites Sæmanni, Radiolites Bournoni, R. ingens. Calcaire jaune tendre, dolomitique, avec Sph. Sæmanni. Banc à O. vesicularis, O. Matheroni, O. larva. Calcaire noduleux dur en deux bancs. Banc à Ostrea vesicularis, Rhynchopygus Marmini. Calcaire jaune dolomitique à Conoclypeus Leskei, et Hippurites radiosus. Banc à Ostrea vesicularis. Calcaire tendre à Hemiaster Royanus, Ostrea Matheroni. Calcaire glauconieux à Radiolites crateriformis.
Zone de transition	Calcaire blanc avec cordons siliceux : Crania Ignabergensis, Orbitolites media.
Campanien	Calcaire blanc à grands spongiaires et Cyphosoma Girumnense. Calcaire blanc à Anaunch. ovata, A. gibba, Micrasteri glyphus. Calcaire gris gélif : Offaster pilula, Waldheimia Clementi. Calcaire gris à Terebratella Santonensis. Calcaire gris à Ostrea vesicularis. Bancs à silex à Ananchytes gibba. Calcaires gélifs à silex à Cyphosoma Bonissenti. Calcaire marneux à Rhynch. globata, O. Matheroni. Calcaire blanc à Sph. Coquandi, Hemiaster Royanus. Calcaire marneux grisâtre à spongiaires siliceux.

M. Arnaud a joint à cette coupe une note spéciale à l'étage dordonien, auquel il attribue 39m,50 dans les falaises de la Gironde, 55 mètres dans la vallée de la Dronne, 76 dans celle de l'Isle et 106 mètres dans les vallées de la Dordogne et de la Couze.

Enfin M. Arnaud (2) a fait connaître la distribution, dans la craie supérieure du sud-ouest, des oursins appartenant au genre

(1) *Actes de la Soc. linnéenne de Bordeaux*, XXX.
(2) *Actes de la Soc. linnéenne de Bordeaux*, XXXI.

Cyphosome. On en connaît 31 espèces, réparties depuis la base du cénomanien jusqu'au sommet du dordonien.

M. H. Arnaud (1) a maintenu, contrairement aux idées de M. Hébert, le synchronisme de la craie supérieure de la Dordogne et des Charentes avec celle de Maëstricht. S'il existe dans les étages campanien et dordonien de l'Aquitaine un certain nombre d'espèces qui leur sont communes avec le santonien, c'est-à-dire avec la craie de Villedieu, c'est là un simple lien de continuité et non un lien d'unité. Le parallélisme du bassin du nord et du bassin de l'Aquitaine s'établirait donc conformément au tableau suivant, de haut en bas :

CRAIE DU NORD.	CRAIE DU SUD-OUEST.
1. Craie de Maestricht à Hemipneustes striatoradiatus.	1. Craie de Mussidan à Hemipneustes striatoradiatus.
2. Craie de Meudon à Ostrea semiplana, O. vesicularis major, etc.	2. Craie de Talmont à Ostrea semiplana, O. vesicularis major, etc.
3. Craie blanche à Belemnitella quadrata (Reims, Laon).	3. Craie grise, blanchâtre, à Belemnitella quadrata (Montmoreau, etc.).

Le dordonien de l'Aquitaine contient d'ailleurs des équivalents de tout l'étage danien. Les couches supérieures à Conoclypeus Leskei correspondent au calcaire à baculites du Cotentin et les couches de Mussidan, avec Hemiaster prunella et Cassidulus lapiscancri, ainsi que les grès de Beaufort à Radiolites, répondent au calcaire pisolithique.

Région pyrénéenne. — Leymerie (2) a publié un mémoire sur le type garumnien de la craie supérieure. Après avoir décrit le chaînon des petites Pyrénées, où ce type est cantonné, l'auteur donne la coupe de la montagne d'Ausseing, intéressante par sa stratification renversée et où l'on voit la craie débuter par une argile à Orbitolites socialis, que recouvre un calcaire marneux à grandes huîtres et Rhynchonella Eudesi. Au-dessus vient un calcaire jaune à Nerita rugosa et Hemipneustes. Tout cet ensemble, synchronique de la craie de Maëstricht, est rangé par Leymerie dans le sénonien.

Le garumnien, qui vient ensuite, débute par des argiles et des calcaires qui, à Auzas, sont riches en Cyrena garumnica, et que recouvre un calcaire compacte à silex. Ce calcaire est couronné par des marnes et des calcaires contenant une faune intéressante

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 205.
(2) *Ann. des sciences*, IX, 1.

d'oursins, bien développée au Tuco, et où M. Cotteau a reconnu les espèces suivantes : Cyphosoma pseudomagnificum, Salenia granulosa, Echinocorys semiglobus, Hemiaster nasutulus, H. canaliculatus, Schizaster antiquus, Micraster tercensis, Cyclaster coloniæ. En outre, on y trouve deux espèces éocènes, Echinolampas Michelini et Echinanthus subrotundus.

M. Hébert (1) considère la colonie garumnienne à oursins de Leymerie comme l'équivalent exact de la craie de Tercis. Au Tuco, comme à Tercis, on rencontre le Micraster Tercensis et Ananchytes semiglobus. Or, à Tercis, ces couches à Micraster surmontent des calcaires à Cyclaster, qui eux-mêmes couronnent des calcaires blancs à silex avec Ostrea vesicularis, grands Ananchytes et Hemipneustes Leymeriei. Le type garumnien d'Ausseing ne constitue donc pas une exception : il représente le faciès normal de la craie dans la région sous-pyrénéenne. Quant à savoir si ces types de Tercis et d'Ausseing correspondent ou non à la craie de Maëstricht, M. Hébert pense que la question n'est pas encore résolue.

Bassins de l'Aquitaine, des Corbières et de la Provence. — M. Peron (2), reprenant une idée émise en 1864 par M. Reynès, a cherché à prouver que les calcaires à hippurites du midi de la France, au lieu d'appartenir à l'étage turonien, doivent être rangés dans le sénonien, c'est-à-dire dans la craie blanche. Après avoir établi qu'aux bains de Rennes, les calcaires à Hippurites organisans sont supérieurs aux calcaires à échinides, M. Peron s'est efforcé de démontrer que ces derniers calcaires appartenaient, par la totalité de leur faune, à l'étage sénonien. Les mêmes couches se retrouvent au Beausset, avec les mêmes échinides, sous les calcaires supérieurs à rudistes. Dans cette hypothèse, les trois étages angoumien, mornasien et provencien de M. Coquand cesseraient d'appartenir au Turonien, et ce dernier ne comprendrait plus que la craie de Touraine proprement dite ou ses équivalents. Les lignites du Beausset et du Plan-d'Aups remonteraient également au niveau des calcaires à Hemipneustes et les couches de Fuveau seraient synchroniques du garumnien.

M. H. Arnaud (3) ne partage pas la manière de voir de M. Peron. Il admet que la faune de l'étage mornasien de Provence, tout

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 643
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 469.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 233.

comme celle de l'angoumien inférieur de la Charente, offre déjà un faciès sénonien ; mais il en résulte simplement que la séparation est moins tranchée qu'on ne l'avait cru entre les calcaires à hippurites et la craie supérieure.

En somme, selon M. Arnaud, les bancs à Radiolites cornupastoris du midi correspondraient à l'angoumien moyen du sud-ouest, qui contient ce fossile associé aux Hippurites organisans et H. cornuvaccinum.

L'angoumien supérieur, sur lequel, dans l'Aquitaine, le provencien repose transgressivement, ne serait pas représenté dans le Midi. Le mornasien correspondrait au provencien inférieur et moyen ; les bancs supérieurs à rudistes équivaudraient au provencien supérieur, ou zone à Sphærulites sinuatus, et ce serait dans les marnes de Sougraigne et de Moulin-Tiffou, qui, dans l'Aude, couronnent les calcaires à hippurites et que M. Peron assimile aux marnes du Beausset à O. auricularis, qu'il faudrait chercher l'équivalent de la craie blanche inférieure ou étage coniacien.

Saint-Gall. — M. Kaufmann (1) a décrit les schistes noirs de Wang, autrefois signalés par Escher de la Linth dans les montagnes de Saint-Gall, et qui forment une zone de transition entre le crétacé et le tertiaire ; ces schistes reposent sur les couches de Seeven et contiennent des fossiles mal conservés appartenant aux genres Apiocrinus, Inoceramus, Belemnites. Dans le canton d'Unterwald, les mêmes couches renferment de nombreuses nummulites et des orbitolites.

Allemagne du Nord. — On doit à M. Schlüter (2) un grand travail d'ensemble sur la distribution des céphalopodes dans la craie supérieure du Nord de l'Allemagne. L'auteur distingue 155 espèces, dont les principales se répartissent conformément à l'énumération suivante, où les couches se suivent de bas en haut.

I. PLÆNER INFÉRIEUR (CÉNOMANIEN).

1. Zone des Pecten asper et Catopygus carinatus (Ammonites Bochumensis, A. subplanulatus, A. Mantelli, A. falcatus, etc., Belemnites ultimus).
2. Zone des Ammonites varians et Hemiaster Griepenkerli, renfermant encore de 10 à 13 espèces de la zone précédente (Amm. rotomagensis, Scaphites æqualis, Turrilites costatus, Baculites baculoïdes, Nautilus elegans, etc.).
3. Zone des Ammonites Rotomagensis et Holaster subglobosus (Ammonites Mantelli, A. varians, Scaphites æqualis, Turrilites Scheuchzeri, T. costatus, T. Puzosi, T. alternans, Nautilus Fittoni, Nautilus anguliferus, etc.).

(1) *Revue géol. suisse*, VIII, 198.
(2) *Verhandlungen des naturhist. Vereins der preussischen Rheinländer*, XXXIII. — *Neues Jahrbuch*, 1878, 99.

II. PLÆNER SUPÉRIEUR (TURONIEN).

4. Zone d'Actinocamax plenus (peut-être un équivalent de la zone d'Amm. rotomagensis).
5. Zone des Inoceramus labiatus et Amm. nodosoïdes (Amm. Lewesiensis, A. peramplus).
6. Zone des Inoc. Brongniarti et Amm. Woolgari (Amm. Carolinus, A. peramplus Scaphites Geinitzi).
7. Zone des Heteroceras Reussianum et Spondylus spinosus (Amm. peramplus, A. Germari, Scaphites Geinitzi, Turrilites saxonicus, etc.).
8. Zone des Inoceramus Cuvieri et Epiaster brevis (Scaphites Geinitzi, Toxoceras Turoniense, Helicoceras flexuosum, etc.).

III. MARNES D'EMS (ZONE DE PASSAGE ENTRE LE TURONIEN ET LE SÉNONIEN).

9. Zone des Amm. Margæ et Inoc. digitatus (Amm. Texanus, A. tricarinatus, A. Westphalicus, Turrilites tridens, T. plicatus, Nautilus leiotropis, Actinocamax Westphalicus, etc.).

IV. SÉNONIEN INFÉRIEUR A INOCERAMUS LINGUÆ ET EXOGYRA LACINIATA (ÉTAGE SANTONIEN).

10. Marnes de Recklinghausen à Marsupites ornatus (Amm. clypealis, Baculites incurvatus, Scaphites Roemeri).
11. Grès de Haltern à Pecten muricatus, sans céphalopodes.
12. Calcaires sableux de Dülmen à Scaphites binodosus (Amm. bidorsatus, Scaphites inflatus, Crioceras cingulatum, Nautilus Westphalicus, Actinocamax cf. quadratus, etc.).

V SÉNONIEN SUPÉRIEUR (ÉTAGE CAMPANIEN).

13. Zone à Becksia Soeckelandi (Amm. Lettensis, Scaphites Conradi, Ancyloceras retrorsum, Actinocamax quadratus).
14. Zone à Amm. Coesfeldiensis, Micraster glyphus, Lepidospongia rugosa (Amm. obscurus, A. Dolbergensis, Scaphites gibbus, Baculites vertebralis, Nautilus Darupensis, Belemnitella mucronata.
15. Zone des Heteroceras polyplocum, Ammonites Wittekindi et Scaphites pulcherrimus (Amm. Semfördensis, A. Haldemensis, Scaphites pulcherrimus, S. spiniger, Hamites interruptus, Baculites anceps, Nautilus Ahltenensis, Belemnitella mucronata).

TOSCANE. — D'après M. de Stefani (1), la craie supérieure est représentée en Toscane par un calcaire dur, gréseux, dit *pietra forte*, où se rencontrent des inocérames, des turrilites et des fucoïdes; quelques-uns de ces derniers se trouvent aussi dans le flysch éocène de la Suisse.

SCANIE. — Il résulte des recherches de M. Lundgren (2) que les inocérames de la craie de Scanie ont leurs affinités principales

(1) *Adunanze della Soc. Toscana di scienze nat*, 1878. — Extrait par M. de Cossigny.
(2) *Geol. For. i Stockholm Forh.*, 1876.

avec les formes sénoniennes, Inoceramus Cuvieri et I. Cripsi. C'est par erreur qu'on avait cité dans cette région In. sulcatus; et l'In. Brongniarti, cité par M. Nilsson, diffère de l'espèce décrite originairement sous ce nom.

Du reste, la même craie de Scanie offre, d'après M. Lundgren, les Belemnites mucronatus et B. subventricosus, qui appartiennent au sénonien.

VANCOUVER. — M. Meek (1) a décrit la formation crétacée supérieure des îles Vancouver et Sucia. L'ensemble de la faune porte un cachet nettement sénonien. On y reconnaît : Nucula Transkana, Inoceramus Cripsi, var. subundatus, Trigonia Evansi (voisine de T. limbata), Pholadomya subelongata, Baculites Chicoensis, B. occidentalis, Heteroceras Cooperi, Ammonites Newberryi, Amm. Vancouverensis, Nautilus Campbelli, etc. La plupart de ces espèces sont décrites et nommées par M. Meek.

TERRAINS NÉOZOÏQUES.

TERRAINS TERTIAIRES.

Étage éocène.

ANGLETERRE. — M. S. Gardner (2) a fait connaître les raisons qui le portent à rattacher aux assises de Bracklesham la partie marine du gisement éocène de Bournemouth, jusqu'alors rapportée au Bagshot inférieur (3). Cette série marine renferme des fruits, des feuilles, des mollusques et des crustacés; les fruits ressemblent à ceux de Sheppey. L'auteur pense que les mêmes conditions littorales ont prévalu dans tout le bassin de Londres, où probablement on ne trouvera rien de plus que les couches de Bracklesham. De plus, la similitude des restes végétaux qu'il a trouvés avec ceux des lignites de Bovey Tracey lui donne à penser que ces derniers doivent être éocènes et non miocènes.

(1) *Bulletin of the U. S. Survey of the Territories*, vol, II, n° 3.
(2) *Geol. Society*, 20 fév. 1878.
(3) *Revue de géologie*, XV, 118.

LINCENT. — On doit à M. Vincent (1) une description de la faune du landénien inférieur de Belgique, et spécialement de celle de l'assise connue sous le nom de tuffeau de Lincent. Ce travail est accompagné de planches où M. Rutot a figuré les espèces nouvelles décrites par l'auteur.

La faune de Lincent comprend plusieurs poissons : Lamna elegans, Otodus Rutoti, O. striatus, Oxyrhina Winkleri, Notidanus Loozi, quelques crustacés, deux céphalopodes (Beloptera Levesquei, Aturia zic-zac) et un assez grand nombre de mollusques.

BRABANT. — MM. Vincent et Rutot (2) ont cherché à démontrer que le système *laeckénien*, tel qu'il a été admis jusqu'ici, se compose en réalité de deux systèmes nettement séparés : l'un, inférieur, à Nummulites lævigata et N. scabra roulées, correspondant au calcaire grossier parisien à miliolites ; l'autre, supérieur, formé par l'ensemble des sables de Wemmel, de l'argile glauconifère et des sables chamois. Ce dernier système équivaudrait à l'argile de Barton et aux sables supérieurs de Bagshot, en Angleterre ; ainsi, il y aurait en Belgique une lacune correspondant au dépôt du calcaire grossier supérieur et des caillasses.

— MM. Vincent et Rutot (3) ont déduit, de l'étude des sondages exécutés dans le Brabant par M. Van Ertborn, quelques conséquences intéressantes sur la distribution de l'étage yprésien dans cette région. Cet étage paraît avoir une épaisseur de 100 mètres et peut se décomposer en deux assises : l'une, supérieure, constituée par des alternances d'argile et de sables très fins argileux ; l'autre, inférieure, où l'argile, tantôt plastique, tantôt sableuse, alterne avec des bancs de pierres dures. Dans tous les sondages qui ne dépassent pas la partie nord de Bruxelles, l'yprésien repose directement sur la craie ; mais, plus au nord, il en est séparé par des sables glauconifères, des argiles et des grès qui semblent se rapporter au landénien inférieur ou heersien. Le commencement de l'époque yprésienne a donc dû correspondre à un affaissement assez subit du sol des Flandres, du Brabant et du Hainaut, affaissement auquel n'aurait point participé la partie nord de la bande carbonifère (Charleroi, Namur et Liége).

ARTHON. — M. Dufour (4) a étudié les dépôts éocènes d'Arthon-

(1) *Ann. Soc. malacologique de Belgique*, XI.
(2) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, 56.
(3) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, 67.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 52.

Chémeré. Il considère que ces dépôts représentent le calcaire grossier inférieur et moyen et que le niveau à Nummulites lævigata est représenté à Machecoul, à la Banche et au Four. M. Dufour assimile le banc à grands cérithes d'Arthon au banc à coquillages de Campbon ; mais cette assimilation est contestée par M. Vasseur (1), qui voit dans cette dernière assise la limite supérieure du calcaire grossier moyen à orbitolites.

SAFFRÉ. — M. Vasseur (2) a découvert au Bois-Gouët, près de Saffré, un gisement éocène où les fossiles, remarquables par leur abondance et leur belle conservation, accusent un mélange de la faune du calcaire grossier avec celle des sables de Beauchamp. Les espèces dominantes, parmi lesquelles Orbitolites complanata, indiquent que le gisement de Bois-Gouët correspond, en majeure partie, à la portion supérieure du calcaire grossier moyen.

DIEPPE. — D'après M. Dollfus (3) la formation tertiaire des environs de Dieppe correspond à l'horizon des lignites et à celui des sables de Cuise, ce dernier étant représenté par l'argile plastique supérieure et les poudingues et galets de Varangeville, équivalents de l'argile à galets du Vexin ; entre cet horizon et celui des lignites, c'est-à-dire des argiles et sables à huîtres et à cyrènes, s'intercalent des sables jaunes, fins, que M. Dollfus place sur le même niveau que les sables d'Oldhaven en Angleterre. L'argile brune supérieure de Dieppe serait, comme l'a indiqué M. Whitaker (4), l'équivalent du London Clay.

SINCENY. — M. G. Dollfus (5) considère les sables coquilliers de Sinceny comme représentant l'équivalent des sables d'Oldhaven en Angleterre. De même qu'à Sinceny, la formation d'Oldhaven débute par des galets noirs et se termine en haut, sous le London-Clay, par des galets. M. Dollfus cite 62 espèces fossiles à Sinceny ; 15 sont spéciales à ce gisement, 8 sont communes aux sables inférieurs, 52 aux lignites, 13 aux sables de Cuise et 21 aux sables d'Oldhaven.

M. Dollfus pense qu'il est utile de maintenir, dans les classifications, l'individualité des sables de Sinceny, en les plaçant, au-dessus des lignites, au sommet du groupe moyen de l'éocène inférieur, tandis que les sables de Cuise formeraient la base du groupe supérieur.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 66.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 81.
(3) *Ann. Soc. géol. du Nord*, IV, 19.
(4) *Quarterly Journal of the géol. Soc.*, XXVIII, 263.
(5) *Ann. Soc. géol. du Nord*, IV, 5.

MORTEMER. — M. N. de Mercey (1) a constaté que le calcaire lacustre de Mortemer, signalé autrefois par Graves et regardé par ce géologue comme supérieur aux lignites du Soissonnais, est, en réalité, toujours inférieur à ces derniers. Il appartient à la partie supérieure des sables glauconieux de Bracheux, caractérisés par Ostrea heteroclita.

L'étage des lignites ne se termine pas avec les couches charbonneuses; il comprend encore des sables blancs et jaunes que couronne un lit fossilifère à Pectunculus terebratularis, équivalent de l'horizon de Sinceny. C'est au-dessus de ce lit que se trouve la couche à petits galets noirs qui forme la base des sables de Cuise.

CHATEAU-THIERRY. — M. Carez (2) a trouvé, dans l'étage du gypse aux environs de Château-Thierry, près de Blesmes, les marnes marines à Pholadomya Ludensis, tout à fait semblables à celles d'Orgemont près Paris. Un peu plus haut, un calcaire compacte siliceux renferme des moules de lucines; enfin la couche à lucines est elle-même recouverte par les calcaires siliceux que couronnent les marnes supra-gypseuses. Si ces calcaires sont considérés comme l'équivalent du travertin de Champigny, ce dernier ne représenterait que la première et la deuxième masse du gypse.

LUDES, RILLY. — M. Eck (3) a donné les coupes relevées par lui et par MM. Aumonier et Lemoine aux environs de Ludes et de Rilly-la-Montagne. Il résulte de ces coupes que le système des sables de Bracheux se compose de trois étages; à la base des sables gréseux, ensuite les sables fossilifères, enfin des sables siliceux sans fossiles (sables de Rilly). Au-dessus viennent les marnes lacustres à fossiles de Rilly, recouvertes par des argiles lignitifères, saumâtres, que couronne une marne lacustre sans fossiles. Enfin cet ensemble est surmonté des argiles à lignites du Soissonnais. D'après cela, le calcaire de Rilly appartiendrait à la partie supérieure de la formation de Bracheux.

M. Carez (4) a reconnu, dans des sables subordonnés au calcaire de Rilly, des fossiles marins identiques avec ceux de Châlons-sur-Vesle. L'auteur considère comme synchronique avec les sables de Bracheux toute la série comprise à Rilly entre la craie et les lignites et offrant, de bas en haut, le sable ferrugineux à

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 198.
(2) *Bull. Soc. géol.*, [3], VI, 183.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 426.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 17 .

fossiles marins, les sables blancs, la marne à physes, l'argile bleue (conglomérat) à physes et les marnes lacustres supérieures ou marnes de Dormans.

BERRU. — MM. Eck et Aumonier (1) ont donné la coupe de l'étage éocène tel qu'on l'observe à la montagne de Berru, près de Reims. Sur la craie se trouve un sable blanc (sable de Rilly), avec quelques fossiles marins, que surmonte un conglomérat, dit de Cernay, à cyrènes et ossements divers; puis viennent des marnes couronnées par les lignites typiques. Sur ces derniers apparaissent des marnes blanches et vertes supportant un calcaire d'eau douce qui lui-même est recouvert par un calcaire marneux, marin, à Pholadomya Ludensis. Au sommet viennent les meulières de la Brie. Ainsi le rivage oriental du bassin éocène supérieur dépassait le mont de Berru.

EINSIEDELN. — M. K. Mayer (2) a reconnu, dans la faune du terrain nummulitique d'Einsiedeln en Suisse, 435 espèces dont 200 se retrouvent dans les environs de Paris et de Londres. Sur ces 200 espèces, 169 existent dans le calcaire grossier inférieur et moyen. M. Mayer considère que les couches éocènes de la région doivent être classées ainsi qu'il suit :

Bartonien.	Supérieur.	Marnes à bryozoaires des Ralligstöcke. Grès quartzeux supérieur du Pilate.
	Inférieur .	Couches du Niederhorn et des Ralligstöcke avec Solen obliquus.
Parisien. .	Supérieur.	Calcaire nummulitique des Diablerets, de la Dent du Midi, à Cerithium diaboli. Couches saumâtres des Ralligstöcke.
	Inférieur .	Nummulitique d'Einsiedeln, comprenant : *e.* Pierre de Steinbach. *d.* Banc à gastéropodes du Köpfenstock. *a-c.* Grès vert nummulitique de la Suisse orientale.

ALPES. — Pour expliquer les particularités que présente le *flysch* (macigno, argille scagliose, alberese), de la région des Alpes, M. Th. Fuchs (3) a fait revivre une idée déjà soutenue par divers géologues, notamment par MM. Abich et Alph. Favre, et qui consiste à regarder ce terrain comme une sorte de tuf ou de produit d'éruptions boueuses. Ce terrain est souvent en rapport avec des

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 102.
(2) *Matériaux pour la carte géol. de la Suisse.* — *Revue géol. suisse.* VIII, 200.
(3) *Sitzungsberichte der K. Akad. der Wissenschaften.* Vienne, 1877. — *Revue géol. suisse*, VIII, 203.

roches éruptives, notamment avec des serpentines et des gabbros. On n'y trouve que des fucoïdes, comme si les organismes délicats avaient fui les exhalaisons gazeuses de la région. Enfin le flysch montre généralement une indépendance complète vis-à-vis des sédiments sur lesquels il repose.

TOSCANE. — M. de Stefani (1) établit de la manière suivante la classification des terrains éocènes de la Toscane.

1° Calcaire nummulitique, plutôt en récifs qu'en bancs continus.

2° Grès dit *macigno*, confondu jusqu'à ces derniers temps avec le macigno miocène et souvent aussi, mais à tort, rattaché à la craie supérieure. Il renferme de nombreux végétaux terrestres ou de lagunes saumâtres. Le seul fossile animal qu'on y ait trouvé est la nummulite de Monte Buono.

3° Étage *ligurien* ou éocène supérieur, divisible en trois assises ;

I. Calcaire marneux dit *pietra collellina* avec fucoïdes, Helminthoidea, Taonurus, etc.

II. Zone des serpentines, diabases, granites de la Ligurie maritime et de l'Émilie; des jaspes de Monte-Catini, des argiles schisteuses rouges du mont Amiata.

III. Zone de l'*Alberese*, calcaires compactes, esquilleux, alternant avec des argiles brunes schisteuses.

CAUCASE. — M. Coquand (2) a reconnu que les gisements de pétrole et d'ozokérite du Caucase appartiennent à l'étage oligocène supérieur, correspondant au niveau des gypses d'Aix, un peu plus élevés que ceux de Montmartre. Les argiles tertiaires qui contiennent le pétrole sont imprégnées de chlorure de sodium auquel M. Coquand attribue les lacs salés de la région.

Étage miocène.

DRÔME. — M. Fontannes (3) a publié quelques observations sur les faunes miocènes des environs de Tersannes et de Hauterives (Drôme), récemment décrites par M. Michaud. Les marnes à lignites avec hélices, clausilies et planorbes, pliocènes pour M. Michaud, sont, pour M. Fontannes, incontestablement miocènes et même inférieures aux couches à Cardita Jouanneti. Quant aux couches à fossiles marins de ces localités, elles se placent sur l'horizon de l'helvétien, du tortonien et du messinien, ce dernier comprenant, à la base, les marnes à Nassa semistriata, au sommet les sables à Ostrea cucullata.

(1) *Soc. Toscana hi scienze nat.*, 1878. (Extrait par M. de Cossigny.)
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 86.
(3) *Revue des sciences naturelles.* Montpellier 1878.

VAUCLUSE. — M. Fontannes (1) a fait une étude détaillée du groupe de Visan, dans le département de Vaucluse. Ce groupe, qui appartient à l'étage miocène, offre les subdivisions suivantes :

- Groupe de Visan.
  - Miocène supérieur. — Tortonien...
    - 5. Sables et lignites à Helix Christoli.
    - 4. Marnes et sables à Cardita Jouanneti.....
      - *d.* Marne sableuse à Ostrea crassissima (2e niveau).
      - *c.* Sable marneux à Rotella subsuturalis.
      - *b.* Sable marneux à Anc. glandiformis.
      - *a.* Calcaire marno-sableux à Pecten vindascinus.
  - Miocène moyen.
    - Helvétien III.
      - 3. Sables et grès à Pecten Celestini.
        - *c.* Sables et grès à Terebratulina calathiscus.
        - *b.* Grès lumachelle à Cardita.
        - *a.* Sable ferrugineux à Amphiope perspicillata.
    - Helvétien II.
      - 2. Sables et grès marneux à Ostrea crassissima (1er niveau).....
        - *e.* Grès marneux à Pecten amœbeus.
        - *d.* Calcaire marno-gréseux à bryozoaires.
        - *c.* Sable marneux à Myliobates.
        - *b.* Grès marneux à Pecten Camaretensis.
        - *a.* Marne sableuse à Pecten diprosopus.
      - 1. Mollasse à Pecten præscabriusculus.
        - *d.* Mollasse calcaire à Pecten sub-Holgeri.
        - *e.* Mollasse marneuse à Pecten subbenedictus.
        - *b.* Mollasse sableuse à Scutella Paulensis.
        - *a.* Conglomérat à cailloux siliceux verdâtres.

Le mémoire de M. Fontannes est accompagné de la description d'un certain nombre d'espèces nouvelles, dont la plupart appartiennent au genre Pecten.

CORSE. — MM. Locard et Cotteau (2) ont publié une descrip-

(1) *Études stratigr. et paléont.*, Lyon, Georg, 1878.
(2) *Description de la faune des terrains tertiaires moyens de la Corse.* — *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 71.

tion de la faune miocène de la Corse. Le bassin où l'on observe la coupe la plus complète est celui de Bonifacio ; on y reconnaît, de haut en bas, la succession suivante :

6. Zone à dents de poissons, avec Cidaris Avenionensis.
5. Zone abondante en Fusus et Pleurotoma.
4. Z. à Pecten cristatus.
3. Calcaires blancs compactes à Pecten Bonifaciensis.
2. Zone à Clypéastres.
1. Zone à Polypiers.

Ces dépôts renferment 45 espèces d'échinides, qui toutes sont spéciales au miocène, à l'exception de Schizaster Scillæ, rencontré dans le pliocène italien ; 26 espèces sont connues dans les couches miocènes du bassin méditerranéen.

Lac de Constance. — On doit à M. K. Miller (1) un travail d'ensemble sur les dépôts de la mollasse dans le voisinage du lac de Constance. L'auteur distingue trois étages :

1° Mollasse inférieure, d'eau douce (miocène inférieur).
2° Mollasse marine (miocène moyen), avec Ostrea crassissima (étage helvétien).
3° Mollasse supérieure, d'eau douce (miocène supérieur).

Dans la mollasse marine, M. Miller établit cinq subdivisions qui sont, de bas en haut : 1° les couches à Citharella ; 2° la Nagelfule à huîtres ; 3° les couches à Bryozoaires avec calcaire à turritelles et sables ou marnes à Bryozoaires et Corbula gibba ; 4° le sable coquillier avec sable de Graupen et formation d'eau douce de Randen ; 5° la mollasse de Saint-Gall avec formations saumâtres. Là finit la série suisse, le soulèvement progressif du massif helvétique faisant reculer la mer de plus en plus vers l'est ; de sorte qu'on trouve dans le bassin de Vienne le miocène supérieur et dans le voisinage du Caucase et des steppes des couches encore plus récentes.

Vénétie. — M. Hoernes (2) a reconnu, dans le bassin de Bellune, les couches de Schio, formées par un grès vert grossier avec intercalations d'un véritable flysch et de marnes grises. Près de Serravalle, ces mêmes couches consistent en un grès fin, avec sable à nullipores recouvert par un flysch typique. M. Hoernes est d'accord avec M. Th. Fuchs pour placer les couches de Schio dans le miocène inférieur, à la hauteur des formations du Monte-Titano et de celles de Dego, Carcave et Belforte.

(1) *Das molassemeer in der Bodenseegegend.* Lindau, 1877. — *Geol. Mag.*, 1878, 90.
(2) *K. K. geol. Reichs*, 1877, 9. (Extrait par M. de Cossigny).

Au-dessus du flysch de Serravalle se trouvent des sables et graviers d'origine fluviatile, puis des sables argileux marins représentant les premier et deuxième étages méditerranéens.

Le même géologue a reconnu le premier étage méditerranéen dans la Valsugana et les Monts Euganéens. Il contient les Isocardia subtransversa (jusqu'alors confondue avec Isocardia cor) et Arca cardiiformis.

Toscane. — L'étage miocène de Toscane comprend, d'après M. de Stefani (1), les subdivisions suivantes, de bas en haut :

1° Macigno de la Castellina marittima et de Monte-Catini.
2° Grès calcaire de Dicomano et du Casentin avec Cyrènes, Loripes et Lucina Dicomani ; c'est probablement du miocène moyen.
3° Calcaires, conglomérats et sables des collines de Livourne, de la Castellina et de la Maremma, correspondant au tortonien de M. Pareto et, d'après M. Suess, au second étage méditerranéen des Allemands.
4° Grès et argiles avec gypse et sel, équivalent des couches à congéries.

Marches, Modénais. — M. Bianconi (2) a étudié la formation miocène aux environs de Bologne, où elle a été souvent méconnue, le macigno qu'elle contient ayant été confondu avec celui de l'éocène. Cette même formation se suit à travers le Modenais jusqu'aux Alpes Apuennes. Les caractères sont ceux d'un terrain de transport ; à sa base on observe de gros fragments anguleux de roches cristallines originaires des Alpes. Les coraux qu'on rencontre dans certaines couches y seraient arrivés par remaniement.

On trouve dans ce terrain des dépôts marneux, finement micacés, de tout point assimilables au *schlier* de MM. Reuss et Suess. M. Bianconi les considère comme synchroniques des dépôts arénacés, et comme résultant d'une lévigation opérée par le courant qui déposait ces divers sédiments.

Sicile. — M. Ciofalo (3) a reconnu que le terrain miocène est abondamment représenté aux environs de Termini. La formation dominante est constituée par des couches de marnes blanchâtres appelées *trubi*, alternant avec des bancs de gypse.

Saxe. — M. H. Credner (4) a fait connaître la composition de

(1) *Soc. Toscana di scienze nat.*, 1878. (Extrait par M. de Cossigny).
(2) *Acad. delle scienze dell' Instit. di Bologna*, 3e série, VIII. (Extrait par M. de Cossigny.)
(3) *Boll. del R. Comit. geolog. d'Italia*, 1878, 272. (Extrait par M. de Cossigny.)
(4) *Zeit. d. d. geol. Ges.*, XXX, 1878, 615.

l'étage oligocène dans le district de Leipsick. Cet étage y est surtout représenté par des sables et des argiles lignitifères qui seuls affleurent dans la région; mais l'exécution de puits et de sondages nombreux a montré qu'il y a deux étages lignitifères, séparés l'un de l'autre par un système riche en coquilles marines.

L'assise lignitifère inférieure comprend à la base une couche de sables et graviers à rognons siliceux, avec végétaux tels que Taxodium distichum et miocenum, Liquidambar europœum, Myrica lignitum, Alnus Kefersteini, Acer trilobatum, etc. Le seul examen de cette flore conduirait à placer l'assise qui la contient entre l'étage aquitanien et l'étage mayencien. Mais, d'autre part, comme elle est surmontée par un sable marin oligocène, on ne peut lui assigner d'autre place que la base même de l'oligocène. Les lignites, qui viennent après les sables à rognons, contiennent une flore miocène, analogue à la précédente, et qui conduirait aussi à une conclusion erronée relativement à leur âge, s'ils n'étaient recouverts par les sables marins et l'argile à septaria, avec Aporrhaïs speciosa, Murex Deshayesi, Fusus elongatus, Pleurotoma Duchasteli, Dentalium Kickxi, Leda Deshayesi, Cyprina rotundata, Tellina Nysti, Balanus Bronni, Lamna cuspidata, etc. Or tous ces fossiles sont caractéristiques de l'oligocène moyen.

Enfin ce système marin est recouvert par une nouvelle assise lignitifère qui, d'après cela, ne peut être rapportée qu'à l'oligocène supérieur.

Le fait le plus intéressant que nous offre la composition de l'oligocène de Leipsick, c'est le contraste entre une faune marine franchement oligocène et une flore miocène caractérisée. Cela montre une fois de plus avec quelle prudence on doit procéder à la détermination de l'âge d'un terrain dont on ne possède pas de fossiles marins.

Bahna. — M. Stephanesco (1) a fait connaître le bassin tertiaire de Bahna en Roumanie, que l'auteur rapporte au miocène, en le considérant comme analogue aux bassins de Vienne, de Bordeaux et de Dax. Pour M. Tournoüer, les fossiles de ce bassin semblent indiquer le miocène supérieur d'Autriche et de Hongrie, terminé normalement par des couches à cérithes et des marnes à congéries.

Ploesci. — M. Pilide (2) a étudié le bassin néogène situé au

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 387.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 22.

nord de Ploesci (Valachie). On y reconnaît les deux étages méditerranéens : l'étage sarmatique et l'étage à congéries. C'est dans le premier étage méditerranéen que se trouve le sel gemme. Quant au pétrole, il existe de préférence dans les couches à congéries.

Terres polaires. — Lors de l'expédition arctique de l'amiral Nares, M. Feilden a découvert, par 81° 45' de lat. nord, un gisement de plantes miocènes reposant directement sur les schistes azoïques de la terre de Grinnel. M. Heer (1) y a déterminé 25 espèces, dont 18 sont déjà connues dans la zone arctique, tant au Spitzberg qu'au Groenland. On y compte 2 Equisetum, 10 conifères, 8 dicotylédones, en outre Phragmites Œningensis et Carex Noursoakensis. Les Pinus abies, Taxodium distichum, Populus arctica, Betula prisca et Nymphæa arctica, figurent parmi ces espèces. La dernière implique l'existence d'eau douce qui devait rester liquide pendant la plus grande partie de l'année, en même temps que Taxodium distichum exclut la possibilité d'un climat arctique.

La flore miocène de la terre de Grinnel est, dans l'ensemble, plus voisine de celle du Spitzberg que de celle du Groenland.

Le seul animal qui ait laissé ses débris dans ce gisement est un coléoptère représenté par un élytre, Carabites Feildenianus.

Étage pliocène.

Anvers. — M. Van den Broeck (2) a continué ses études sur les formations pliocènes d'Anvers. Les résultats de ses recherches sont résumés par le tableau suivant :

(1) *Geol. Society*, 7 nov. 1877.
(2) *Annales Soc. malacol. de Belgique*, IX. — Tirage à part, 1878.

	DÉPÔTS DE DUNES et de plages émergées.	DÉPÔTS LITTORAUX et de plage.	DÉPÔTS CÔTIERS ou voisins du rivage.	DÉPÔTS PROFOND ou éloignés de la côte.
Sables supérieurs d'Anvers.		Dépôts coquilliers de Ranst.		
		Sables à Trophon antiquum de Calloo, Austruweel, Merxem.	Sables argileux à Trophon antiquum de Wygneghem.	
		Couche à éléments remaniés de l'Enceinte, des Bassins de Zwyndrecht, etc.		
		Émergence, suivie de dénudation.		
Sables moyens d'Anvers.		Cordon littoral de la porte de Borsbeek (roche à bryozoaires).	Sables à Isocardia cor des Bassins, de Deurne, etc.	Sables à bryozoaires de Wyneghem, Wommelghem, etc.
		Émergence partielle.		
Sables inférieurs d'Anvers.	Sables de Diest ou sables ferrugineux diestiens du bassin d'Anvers, du Bolderberg et de la Campine.	Sables graveleux d'Anvers.		
			Sables à Pectunculus pilosus des environs d'Anvers.	
		Amas coquillier du Bolderberg.		Sables à Panopæa Menardi d'Edeghem.

Sur 143 espèces des sables supérieurs, 39 se trouvent également dans les sables inférieurs; 54 font partie de la faune des sables moyens; 106 se retrouvent dans le crag corallin des Anglais, et 100 appartiennent à l'horizon du crag rouge; enfin 106 espèces sont encore représentées dans les mers actuelles.

D'après M. Van den Broeck, la Terebratula grandis est parfaitement en place dans l'horizon des sables moyens d'Anvers; c'est même une des coquilles les plus abondantes des sables à bryozoaires. C'est la partie supérieure des sables noirs à pétoncles, presque toujours altérée et verdie, qui paraît constituer le premier horizon à térébratules.

L'auteur n'admet pas que le sable vert constitue, comme le veut M. Mourlon, une couche de passage définie, avec hétérocètes et Terebratula grandis, entre les sables glauconieux inférieurs et les couches plus récentes du crag d'Anvers. Pour M. Van den Broeck, le sable vert se retrouve à tous les niveaux et n'est que le produit de l'altération et de l'oxydation des sables glauconieux.

M. Van den Broeck a été assisté dans ses recherches par M. Cogels.

MM. Vanden Broeck et Cogels (1) ont reconnu que les sables pliocènes de Merxem, près d'Anvers, appartiennent à l'horizon des sables supérieurs à Trophon antiquum, Chenopus pes-pelicani et Pectunculus glycimeris. La Corbula striata y est particulièrement abondante. La couleur dominante de ces sables est le gris, bien qu'ils n'aient aucun rapport avec ce qu'on est convenu d'appeler le crag gris.

Bruxelles. — MM. Vincent et Rutot (2) ont cherché à établir que le système *diestien* n'existe pas aux environs de Bruxelles; les sables grossiers, rouges, à plaquettes ferrugineuses, qu'on a rapportés à ce système, seraient continus avec la masse éocène contre laquelle ils sont appliqués et qui comprend les sables de Wemmel, l'argile glauconifère et les sables roses dits sables chamois. Ils résulteraient, comme l'a indiqué M. Van den Broeck (3), d'une simple altération des sables sous-jacents par des eaux chargées d'acide carbonique.

Bresse. — D'après MM. Tournoüer et Tardy (4), tous les terrains meubles de la Bresse qui se trouvent au-dessous du terrain erratique, incontestablement glaciaire, des environs de Lyon, sont de l'époque pliocène ou mio-pliocène, et non quaternaires, comme on l'a souvent cru.

Les marnes à Paludina Bressana se relient, d'un côté, aux marnes à paludines du pied de la Côte-d'Or; de l'autre, par les sables de Trévoux, à l'horizon d'Hauterive.

Ainsi se trouve définitivement confirmée l'attribution que les auteurs de la carte géologique de France, Élie de Beaumont et Dufrénoy, avaient faite depuis longtemps des alluvions de la Bresse au terrain pliocène.

Bassin du Rhône. — M. Fontannes (5), reprenant une opinion autrefois professée par M. Jourdan, a cherché à établir que la mer pliocène avait laissé des traces dans la partie moyenne du bassin du Rhône, notamment dans l'Ardèche et le Dauphiné. Les

(1) *Ann. Soc. malacol. de Belgique*, XII.
(2) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, 56.
(3) *Revue de Géologie*, XV, 193.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 698, 732.
(5) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 542.

gisements étudiés par M. Fontannes sont échelonnés le long de la petite vallée de la Galaure et appartiennent à cet étage messinien que quelques géologues appellent *mio-pliocène*. Ils représentent le groupe de Saint-Ariès, discordant avec le tortonien et l'helvétien, qu'il recouvre, et comprenant, avec les marnes à Nassa semistriata, les sables à Ostrea cucullata et les marnes à congéries et Potamides Basteroti. Pour M. Fontannes, les sables à Ostrea cucullata, toujours supérieurs aux marnes à Nassa, ne font pas partie de la série helvétienne : ils sont messiniens, ainsi que les sables à Ostrea undata du Languedoc et les couches à congéries de Saint-Ferréol, de Saint-Pierre-de-Cénos et du Mont-des-Pins, équivalent aux marnes à Potamides de Montpellier, de Théziers et de Visan.

Sienne. — M. de Stefani (1) distingue, de haut en bas, les assises suivantes dans le pliocène des environs de Sienne.

5. Sables jaunes à Ostrea lamellosa, Anomia Ephillium, Pecten flabelliformis, Cytherea pedemontana, Balæna etrusca.
4. Sables à Lithodomes et couches à Fasciolaria Pecchioli.
3. Couches littorales et saumâtres, Lignites, avec Cerithium nepos et potamides.
2. Sables bleus et jaunes, argiles marines à Natica lineata.
1. Argile et marne à Rissoa Meneghini, Neochilus simplex, Nassa pulchra.

Cet ensemble paraît contemporain des argiles de Biot et des dépôts pliocènes des Iles Ioniennes, de l'Algérie et de la Tunisie.

Terre d'Otrante.—M. Capellini (2) a étudié le dépôt pliocène connu sous le nom de *pietra leccese*. C'est un calcaire où abondent les globigérines et autres organismes microscopiques, en partie identiques avec ceux qui ont été trouvés dans l'Adriatique à des profondeurs de 900 à 1.200 mètres. On y trouve des restes de vertébrés, notamment des Priscodelphinus, Sphyrenodus, Brachyrhynchus.

Parmi les fossiles de cette même roche, M. Botti (3) signale une nouvelle espèce de Myliobates.

(1) *Bolletino del. r. Comit. geol. d'Italia*, VIII, 1877.
(2) *Della pietra leccese, Bologna*, 1878. (Extrait par M. de Cossigny.)
(3) *Soc. Toscana di Scienze nat.*, III.

TERRAINS POST-TERTIAIRES.

Formations diluviennes et alluviennes.

Bruxelles. — M. Rutot (1) a reconnu que, dans les environs de Bruxelles, il existe à peu près partout, à la base du limon sableux ou ergeron, une couche de diluvium de $0^m,50$ à 6 mètres, composée de cailloux roulés et d'éléments empruntés aux roches sous-jacentes. Cette couche a déjà fourni Rhinoceros tichorhinus, Bos primigenius, Elephas primigenius, Succinea antiqua. Elle doit être considérée comme l'équivalent du diluvium le plus inférieur ou diluvium caillouteux.

Flandre. — MM. Gosselet et H. Rigaux (2) ont cherché à préciser les mouvements qui ont affecté le sol de la Flandre depuis les temps géologiques. Les observations de M. Debray ont montré, dès 1873, que la tourbe du littoral flamand est recouverte par une argile ou un sable à coquilles marines, séparée par une argile saumâtre, avec Rissoa ulvæ, de la terre actuelle de marais. La tourbe contient partout des monnaies de l'époque gallo-romaine, dont les dernières datent de Postume (267). On peut en conclure que l'invasion de la mer a eu lieu à la fin du IIIe siècle, et qu'ainsi tous les établissements romains de la côte ont été détruits sans laisser de traces. Le golfe marin, avec quelques îles au milieu, s'étendait de Sangatte par Ardres et Watten à Bergues; mais, à cette époque, il n'allait pas, comme on l'a prétendu, jusqu'à Saint-Omer. Au VIIIe siècle, le golfe était déjà comblé, sauf deux dépressions à Sangatte et à Wissant. Il s'était accumulé ainsi $2^m,25$ de sédiments en trois ou quatre siècles. Dans tout le pays ainsi reconquis sur la mer, tous les noms sont d'origine flamande.

L'étude des tufs et arènes calcaires qui recouvrent la tourbe en Flandre et en Picardie, indique qu'à l'époque romaine les sources et par conséquent les pluies étaient beaucoup plus abondantes qu'aujourd'hui.

Picardie. — M. N. de Mercey (3) considère le limon des plateaux et des vallées de la Picardie comme résultant de l'altération et du remaniement, à peu près sur place, et par une cause pure-

(1) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, IV, 39.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 218.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 201.

ment atmosphérique, des sables gras ou alluvions de rive des fleuves quaternaires. Le plus ancien de ces sables gras, déposé au début du creusement des vallées, serait celui qui, sur les plateaux, est immédiatement sous-jacent au limon ou terre à briques. Il daterait de la période préglaciaire à Elephas meridionalis. L'un des signes de l'altération qui a transformé sa partie supérieure en limon serait l'éclatement des silex disséminés à sa base.

Ces idées concordent assez bien avec celles de M. Van den Broeck (1), pour qui le limon rouge ou diluvium rouge est le résultat de l'altération du diluvium gris sous-jacent.

Aisne. — On observe dans les environs de Sissonne (Aisne), un sable siliceux très peu épais dont l'allure diffère notablement de celle des sables tertiaires. Ainsi que l'avait depuis longtemps reconnu M. d'Archiac, M. Ch. Barrois (2) a constaté que le sable repose sur le gravier crayeux à Elephas primigenius et qu'il a été déposé par les eaux de la Miette et celles de la Souche, à l'époque où cette dernière rivière, réduite de nos jours à un filet d'eau, avait un lit de 16 kilomètres de largeur, à 50 mètres au-dessus de son niveau actuel.

La Celle. — M. Tournouër (3) a donné de nouveaux détails sur le tuf quaternaire de La Celle (4) près Moret. Ce tuf repose sur les alluvions anciennes (diluvium gris); son épaisseur varie de 8 à 15 mètres. Il comprend de haut en bas, les couches suivantes: tuf concrétionné à Ficus carica; tuf à Zonites, Helix, Clausilia; marne rosée à Helix, Cyclostoma; tuf homogène fin avec marne verdâtre à ossements de Sus, Meles, Castor, Cervus.

L'ensemble de la faune malacologique indique, selon M. Tournouër, un climat plus humide et plus tiède que le nôtre, avec une plus grande diffusion de la faune et de la flore européennes. L'excès de température supposé nécessaire à la flore de la Celle, par la présence du Figuier, du Laurier, de l'arbre de Judée, se résout en une différence de 4 à 5 degrés dans la moyenne annuelle, différence qui, de nos jours, est réalisée en France, pour une même latitude, au profit des stations maritimes de l'Ouest.

Le dépôt du tuf de la Celle se serait effectué pendant une période de tranquillité terminant l'ère du creusement de la vallée de la Seine.

(La suite à la prochaine livraison.)

(1) *Revue de Géologie*, XV, 193.
(2) *Ann. Soc. géol. du Nord*, V, 84.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 646.
(4) *Revue de Géologie*, XIII, 147.

N° 433 (4)

EXTRAITS DE GÉOLOGIE

POUR

LES ANNÉES 1877 ET 1878

Par MM. DELESSE et DE LAPPARENT

ÉCOLE NAT. DES MIN. N° D'ENTRÉE 695 Bibliothèque 12 80

(Suite.)

France. — Les Canidæ de l'époque quaternaire ont été étudiés par M. R. Bourguignat, qui distingue quatre phases basées sur leur apparition et leur disparition. La première est caractérisée par Lycorus Nemesianus et Cuon Europæus; la deuxième par Canis ferus, Lupus spelæus, L. vulgaris, Vulpes vulgaris; la troisième par Canis ferus et un certain nombre d'espèces de chiens qui commencent à se domestiquer. Cette phase voit s'éteindre L. spelæus, L. Neschersensis, V. minor, et de plus on n'y trouve plus Cuon Edwardsianus, observé dans la première et dans la deuxième. Enfin, dans la quatrième phase, il n'existe plus que Lupus vulgaris, avec de nombreuses espèces de chiens domestiques qui paraissent descendre de quelques types de Canis ferus.

Pampas. — M. Burmeister a décrit les chevaux fossiles dont les restes ont été retrouvés dans la formation diluvienne des Pampas. Ces chevaux appartiennent à deux genres, le genre Equus représenté par E. curvidens et E. Argentinus, et le genre Hippidium, représenté par H. principale et H. neogæum.

La formation des Pampas a fourni jusqu'ici 54 espèces de mammifères, parmi lesquels les édentés dominent de beaucoup. Les quadrumanes et les cheiroptères font défaut. Les proboscidiens sont au nombre de deux : Mastodon Humboldti et M. Antium.

Formations glaciaires.

Iles Britanniques. — M. Jamieson a cherché à montrer que l'étude de la distribution de la glace pendant l'époque glaciaire prouve que les plus grandes accumulations de neige se sont produites précisément dans les districts qui, aujourd'hui encore, sont caractérisés par les plus fortes chutes de pluie. Suivant l'auteur, tous les districts des îles Britanniques, de Scandinavie, d'Europe, d'Asie et de l'Amérique du Nord où l'on remarque de nos jours des pluies excessives ont été, à l'époque glaciaire, les centres de

dispersion de grands systèmes de glaciers. Ce fait serait tout à fait d'accord avec les idées déjà développées par M. Tyndall et Dana relativement à la cause des phénomènes glaciaires.

Écosse. — M. James Geikie (1) considère le *till* ou *boulder-clay* comme une moraine profonde qui s'est formée sous une calotte continue de glace. A cette manière de voir, on a objecté que souvent le boulder-clay recouvre des sables et des graviers, c'est-à-dire des dépôts meubles, qui n'auraient pas dû pouvoir résister à la pression de la glace. M. Geikie fait remarquer que ces intercalations de sables ne se trouvent jamais dans les pays où la glace était très épaisse et se mouvait avec une vitesse relativement considérable. Dans ces conditions, les sables interglaciaires sont à l'état d'exception, n'ayant été préservés que dans certains petits bassins. Au contraire, ils abondent de plus en plus à mesure qu'on se rapproche du bord de la calotte glaciaire présumée, ou lorsque, d'une contrée accidentée, riche en roches moutonnées, on passe à une large vallée, où la vitesse de la glace devait être amortie. M. Geikie ajoute que les anciens glaciers des Alpes ont souvent empâté dans leurs dépôts des fragments de marnes pliocènes fossilifères sans leur faire subir de destruction.

Néanmoins M. J. Young (2) ne trouve pas que l'hypothèse d'une moraine profonde explique suffisamment le dépôt d'une boue fine à cailloux ayant jusqu'à 30 mètres d'épaisseur. Il croit plutôt à une moraine terminale déposée dans une mer tranquille et protégée par les glaces.

Cheshire. — M. Shone (3) distingue trois étages dans les dépôts glaciaires de l'ouest du Cheshire.

A la base est le boulder-clay inférieur, reposant immédiatement sur la surface ravinée du Keuper. C'est une argile compacte, avec nombreux blocs striés de grandes dimensions; la faune est scandinavienne et les gastéropodes sont remplis d'un limon à microzoaires. Au-dessus viennent les sables et graviers moyens, ou drift interglaciaire de l'auteur; la faune de cet étage est celtique. Enfin, l'ensemble est couronné par le boulder-clay supérieur, où les pierres striées sont plus rares et plus petites. La faune en est scandinavienne.

Bretagne. — M. Ch. Barrois (4) croit avoir reconnu des traces

(1) *Geol. Mag.*, 1878, 73.
(2) *Geol. Mag.*, 1878, 612.
(3) *Geol. Society*, 21 novembre 1877.
(4) *Ann. Soc. géol. du Nord*, IV, 186.

de l'époque glaciaire en certains points des côtes de la Bretagne, notamment dans la baie de Kerguillé, au sud de la grande anse de Dinan. Suivant l'auteur, il y aurait eu d'abord une période dite continentale, pendant laquelle se seraient formées les tourbières de Morlaix et de Guernesey. Ensuite le sol se serait abaissé de 10 mètres au-dessous de son niveau actuel et des glaçons de charriage auraient donné lieu à la formation du poudingue de Kerguillé. Ensuite serait venue une nouvelle période continentale ou de soulèvement, précédant une dernière période d'affaissement qui s'est terminée par l'état géographique actuel.

Genève. — M. Alph. Favre (1), en dressant la carte géologique du canton de Genève, s'est occupé principalement de la distribution des formations glaciaires et alluviennes. Il distingue, à la base, l'*alluvion ancienne*, offrant ce caractère de s'être déposée à des niveaux qui varient de 200 à 300 mètres, et dans laquelle l'auteur a trouvé récemment quelques cailloux striés. Elle contient aussi des intercalations de *terrain glaciaire*. Ce dernier, qui la surmonte normalement, est formé d'une argile compacte avec cailloux striés et blocs plus ou moins volumineux. D'après M. Favre, le terrain glaciaire du bassin du Genève serait dû entièrement au glacier du Rhône, celui de l'Arve n'ayant pas dépassé le Salève. Enfin la surface est occupée par les *alluvions post-glaciaires*, sables et graviers disposés en terrasses le long du lac et des cours d'eau. Les cailloux, en se décomposant, se rubéfient et donnent un sol rouge analogue au diluvium rouge de la région parisienne.

M. Favre pense que l'alluvion ancienne a du se former à mesure de l'extension des anciens glaciers, à une petite distance en avant de leur moraine frontale.

M. Lory (2) n'admet cette explication que pour la partie supérieure de l'alluvion ancienne. Il estime que les alluvions préglacières des Alpes et du Dauphiné offrent une régularité trop grande pour qu'on n'y reconnaisse pas un phénomène très général. Il croit donc à une époque d'affaissement qui aurait amené la mer tout près des Alpes, où ses eaux se seraient mêlées avec celles des torrents, puis à un relèvement par suite duquel les vallées, d'abord remplies d'alluvions anciennes, ont été affouillées, parfois de plus de 300 mètres.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 465.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 468.
(3) *Geol. Society*, 6 février 1878.

Ischia. — M. Vanden Broeck (3) a reconnu 27 espèces de foraminifères dans une marne formant un dépôt post-pliocène à l'île d'Ischia. Ce dépôt, déjà mentionné par Lyell et étudié par M. Waters, se présente à une altitude d'environ 600 mètres. Tous ces foraminifères appartiennent à des espèces vivantes; mais leurs analogues sont plus répandus dans l'océan Atlantique ou dans l'océan Arctique que dans la Méditerranée. M. Vanden Broeck pense que ce dépôt d'Ischia a dû se former dans une eau peu profonde, après les marnes subapennines; la petite taille des individus et la prédominance des formes septentrionales lui font penser, qu'à cette époque, l'influence réfrigérante des glaciers se faisait sentir.

Scandinavie. — M. Milne (1) avait attribué à l'action des glaces côtières les phénomènes glaciaires de la Scandinavie et de la Finlande. M. Linnarsson (2) a cherché à faire voir que cette hypothèse était tout à fait inconciliable avec les faits observés. D'abord, les découvertes de coquilles arctiques, telles que Yoldia arctica, dans les argiles stratifiées de la Suède, et la présence, constatée par M. Nathorst, d'une flore semblable à celle du Spitzberg dans les dépôts lacustres du Danemarck, établissent clairement qu'à l'époque glaciaire, le climat devait être tel qu'une calotte générale de glace couvrait alors la Scandinavie. D'ailleurs la constance de la direction des stries sur les roches, le mélange confus des blocs du till au milieu d'une argile tenace, le peu de puissance des courants dans la Baltique et la dureté des roches qui forment les côtes sont, pour M. Linnarsson, autant de raisons de repousser l'intervention des glaces côtières.

Canada. — M. Dawson (3) classe de la manière suivante, de haut en bas, les dépôts quaternaires du Canada :

f. Sable à Saxicaves, tantôt sans fossiles, tantôt contenant quelques coquilles littorales, de type boréal ou Acadien.
e. Sable et argile supérieure à Leda, ou couches d'Uddewalla, contenant beaucoup de coquilles subarctiques ou boréales, voisines de celles qui habitent aujourd'hui le littoral du Labrador.
d. Argile inférieure à Leda, avec un petit nombre de coquilles nettement arctiques, dont les analogues se trouvent aujourd'hui dans les mers fortement chargées de glace.
c. Boulder-Clay et sables non stratifiés avec blocs. Faune nettement arctique.
b. Sables et graviers inférieurs, stratifiés.
a. Surface terrestre tourbeuse, antérieure au boulder-clay.

(1) *Geol. Mag.*, 1877, 289.
(2) *Geol. Mag.*, 1878, 93.
(3) *American Journal* [3], XV, 478.

M. Dawson maintient que le froid de l'époque glaciaire a été causé, non par une calotte continentale, mais par des glaciers locaux sur les hautes terres et des glaces flottantes amenées par les courants arctiques sur les plaines canadiennes, alors submergées.

Amérique du Nord. — D'après M. J. D. Dana (1), l'étude des cartes faisant connaître la distribution des pluies en Amérique montre que, dans le nord de cette contrée, il y a un certain rapport entre les régions dépourvues de drift glaciaire et celles où règne le maximum de chaleur et de sécheresse. Cela s'explique, car, dans ces dernières, les glaciers ne pouvaient s'avancer vers le sud. Le district du Wisconsin où il n'y a pas de diluvium coïncide avec une région où les pluies d'hiver ne dépassent pas 5 à 10 centimètres, et forme comme un golfe entouré par des districts où les précipitations atmosphériques sont plus abondantes. A l'époque glaciaire, ce district était entièrement entouré de glaciers qui s'étendaient de l'Iowa jusqu'au lac Michigan. Si cette manière de voir est fondée, il fallait qu'à l'époque glaciaire l'axe terrestre eût la même position qu'aujourd'hui.

Terres polaires. — M. Feilden (2) a décrit les plages émergées de la terre de Grinnel et du Groenland septentrional, déjà signalées par MM. Howorth et Gwyn Jeffreys. Ces plages consistent en graviers contenant les coquilles qu'on trouve sur les bords du Saint-Laurent dans les dépôts de Champlain, Saxicava rugosa, Mya truncata, Pecten Groenlandicus, etc. On les observe, reposant sur les couches miocènes, à des altitudes d'au moins 300 mètres, qui attestent, par conséquent, que la région a subi, depuis leur dépôt, un soulèvement de cette amplitude. Le fait est général pour toutes les terres qui entourent le pôle Nord.

MM. Feilden et de Rance (3) ont fait connaître une observation recueillie lors de l'expédition arctique de l'amiral Nares et qui peut jeter un certain jour sur le mode de formation du *Boulder-clay*. Les côtes du Groenland et de la terre de Grinnel sont couvertes de dépôts, aujourd'hui émergés par suite du soulèvement continu de ces côtes, et contenant, jusqu'à des hauteurs de 300 mètres, les coquilles qui vivent aujourd'hui dans le canal de Kennedy. Ces dépôts, dont l'épaisseur atteint 100 mètres, doivent

(1) *Americ. Journ.*, 1878, XV, 250.
(2) *Americ. Journ.*, [3], XV, 219.
(3) *Geol. Society*, 17 avril 1878.

leur origine au sable et à la boue charriés, pendant l'été, par les torrents qui débouchent dans la mer. Les fjords étant couverts de glaces flottantes chargées de pierres et de graviers, ces glaces fondent sous l'action des eaux plus chaudes des torrents, et la charge qu'elles portaient tombe sur la boue d'alluvion qui se dépose au foud des embouchures.

QUATRIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.

La quatrième partie de cette Revue restera consacrée à l'examen des descriptions et des cartes géologiques; on y analysera les travaux qui ont plus spécialement pour but de faire connaître la constitution géologique d'un pays ou d'une région.

EUROPE.

ESPAGNE.

Gibraltar. — MM. Ramsay et James Geikie (1) ont étudié la géologie de Gibraltar. Le calcaire qui forme la masse principale du district paraît d'âge *jurassique*. A la surface du sol règne un agglomérat de calcaire sans fossiles, où les auteurs voient la preuve qu'un climat assez sévère a régné dans ces parages. Ce climat ne leur paraissant explicable ni par un exhaussement de la contrée, ni par une submersion du Sahara, ils l'attribuent aux causes générales qui ont déterminé l'extension des glaciers en Europe. Les brèches à ossements de Gibraltar correspondraient à une période interglaciaire.

Huesca. — Dans les mémoires accompagnant la carte géologique de l'Espagne, M. L. Mallada donne, avec de grands détails, la

(1) *Geol. Society*, 6 mars 1878.

description physique et géologique de la province Huesca. D'après l'ensemble de ses études, ce géologue résume ainsi les périodes d'*émergence* et de *submersion* auxquelles cette province aurait été soumise:

1° Émergence vers le milieu du dévonien; 2° Submersion au commencement des terrains secondaires; 3° Émergence lente de la fin du grès rouge jusqu'au crétacé inférieur; 4° Submersion commençant pendant le crétacé inférieur et devenant très générale au commencement du turonien; 5° Émergence très faible vers la fin du crétacé; 6° Submersion très profonde à l'origine des terrains tertiaires; 7° Émergence très énergique entre l'éocène lacustre et le miocène; elle a donné lieu au système des Pyrénées d'Élie de Beaumont.

Baléares. — D'après les études de M. H. Hermite (1), les îles Majorque et Minorque ont été fréquemment immergées et émergées.

A l'époque dévonienne, Minorque était recouverte par des eaux marines, peu profondes, ainsi que l'attestent la nature des sédiments et les nombreux débris de végétaux terrestres qu'on y rencontre.

On ne connaît encore rien de précis pour l'époque carbonifère; mais l'absence de dépôts permiens démontre qu'à cette époque ces îles se trouvaient émergées. Pendant la période triasique, elles sont immergées de nouveau, et elles se soulèvent au-dessus de la mer à l'époque de l'infralias et du lias inférieur. Elles sont de nouveau couvertes par les eaux pendant le lias moyen. A partir de cette époque, on ne peut rien affirmer jusqu'au moment où se sont déposées les couches à Amm. transitorius. Après la formation de ces dépôts, les îles Baléares auraient réapparu pour disparaître de nouveau pendant le néocomien inférieur, puis elles se soulèvent encore et elles restent émergées au-dessus des mers albienne, cénomanienne, turonienne, sénonienne et danienne.

Pendant toute l'époque éocène, Minorque est inondée, tandis que Majorque, émergée pendant l'éocène inférieur, est recouverte par la mer de l'éocène moyen, sauf la chaîne montagneuse qui se trouve au nord de cette île.

Une nouvelle oscillation ramène Majorque à la surface de la mer, pendant l'éocène supérieur. Les deux îles restent émergées jusqu'à l'époque du miocène moyen. A ce moment elles sont de nouveau immergées, à l'exception de leurs points les plus élevés. Cet état subsiste encore pendant la durée du miocène supérieur.

(1) *Comptes rendus*, 30 déc. 1878, 13 janv. 1879. *Études géologiques sur les îles Baléares*, (Extrait par M. Poirier.)

La mer du pliocène ne paraît pas avoir recouvert ces îles. A cette époque on ne constate que l'existence d'un petit lac situé à l'est de Palma. A l'époque quaternaire, de nombreuses vallées étroites et profondes sont creusées en grande partie par la mer, qui dépose des sédiments marins où se trouvent enfouis des mollusques terrestres vivant sur le rivage.

Enfin, au commencement de l'époque actuelle, Majorque et Minorque se retrouvent émergées, et depuis ce moment leur configuration orographique n'a pas sensiblement changé.

ILES BRITANNIQUES.

IRLANDE. — M. Hull (1) a publié une description géologique de l'Irlande. Cette contrée n'avait été, jusqu'à présent, l'objet d'aucune publication d'ensemble. L'ouvrage de M. Hull contient trois parties : la première et la plus détaillée est relative aux formations géologiques de la contrée ; la seconde est consacrée à la géographie physique ; enfin la troisième a pour objet les phénomènes glaciaires.

SHETLAND. — M. le professeur Heddle (2) a fait paraître une carte géologique détaillée des îles Shetland. La charpente de ces îles présente des *roches métamorphiques*, appartenant aux gneiss et aux schistes cristallins, qui sont traversées par des veines de calcaire : de la serpentine et du gabbro leur sont associés et par-dessus viennent des conglomérats ainsi que des grès attribués à l'*old red sandstone*. Des *roches éruptives* forment d'ailleurs des massifs ou des filons, qui sont intercalés dans les roches précédentes, et se rapportent au granite, à la syénite, à la diorite. Dans l'ouest, il existe en outre des roches feldspathiques vitreuses, auxquelles MM. Horne et Peach attribuent, de beaucoup, la date la plus récente.

ÉCOSSE. — M. Archibald Geikie (3) a publié une nouvelle carte géologique de l'Écosse, en tenant compte de tous les résultats nouveaux obtenus par la Commission géologique officielle dont l'auteur est le chef. Au dessus du gneiss, la nouvelle carte distingue la formation des schistes argileux primitifs ; l'étage inférieur et l'étage moyen du vieux grès rouge y sont réunis en une seule formation ; quant à l'étage supérieur, il est regardé comme

(1) *The Physical Geology and Geography of Ireland*. London, Stanford, 1878.
(2) *Mineralogical Soc. of Great Britain and Ireland*, 1879.
(3) *Geological map of Scotland*. Édimbourg, 1876.

faisant partie du carbonifère inférieur, dont il renferme les fossiles. Les roches éruptives sont distinguées par des variétés de deux teintes fondamentales, suivant qu'elles appartiennent à la série acide ou à la série basique, c'est-à-dire pyroxénique.

ÉCOSSE OCCIDENTALE. — Il existe, sur la côte occidentale d'Écosse et dans les Hébrides, des lambeaux de formations secondaires, isolés entre le gneiss et les roches volcaniques de la période tertiaire : déjà l'on savait que le lias et l'oolithe s'y trouvaient représentés. M. Judd (1) a reconnu que ces lambeaux, extraordinairement disloqués, affectés par de nombreuses failles et parfois réduits à l'état de blocs au milieu des tufs volcaniques, forment une série très complète de dépôts, où le *permien*, l'*infrà-lias*, le *lias*, l'*oolithe*, l'*oxfordien*, le *grès vert* et la *craie blanche*, sont nettement indiqués par leurs fossiles. La puissance totale de ces dépôts n'a pas dû être inférieure à 1.500 mètres. La craie blanche aujourd'hui silicifiée, mais bien reconnaissable à ses foraminifères ainsi qu'aux genres Inoceramus, Spondylus, Belemnitella, est intercalée au milieu de formations d'estuaire, avec combustible fossile.

L'importante conclusion à laquelle M. Judd est conduit par ces découvertes, consiste à admettre que la plus grande partie des îles Britanniques, y compris les Highlands d'Écosse, a été couverte par des dépôts secondaires, et que l'état actuel de leur surface résulte de dénudations dont la plus grande partie a eu lieu probablement à l'époque pliocène.

AYRSHIRE. — M. Bonney (2) a étudié les *serpentines* et les *porphyrites* de la côte d'Ayrshire, que M. J. Geikie (3) avait considérées comme des sédiments métamorphiques. Selon M. Bonney, ces conclusions ne sont justifiées ni par l'étude stratigraphique, ni par l'examen microscopique de ces roches. Les serpentines sont d'intrusion et résulteraient d'une modification éprouvée par une roche d'olivine-enstatite. Les porphyrites ont aussi tous les caractères de roches éruptives et sont accompagnées de tufs. L'auteur pense que ces porphyrites d'Écosse sont de l'âge du vieux grès rouge et que les serpentines sont un peu plus récentes, bien que toujours paléozoïques.

LONDRES. — Un sondage exécuté au-dessous de Tottenham Court Road, près de Londres, a atteint, à moins de 300 mètres de la sur-

(1) *Geol. Society*, 23 janv. 1878.
(2) *Geol. Society*, 22 mai 1878.
(3) *Geol. Society*, XXII, 513.

face, des couches dévoniennes avec leurs fossiles caractéristiques, Spirifera disjuncta, Rhynchonella cuboïdes, etc. Déjà en 1876, le sondage de Kentish Town avait montré qu'immédiatement au-dessous du gault, il y a des grès et des argiles de couleurs rouges ou bariolées que M. Prestwich avait rapportés au vieux grès rouge. D'après M. Godwin-Austen (1), tandis que la craie qui les recouvre est en couches horizontales, les assises dévoniennes plongent sous un angle de 30 degrés. La coupe correspond exactement à celle du nord de la France et M. Godwin-Austen pense que, dans la direction du Nord, on trouverait probablement reposant sur le dévonien, d'abord le calcaire carbonifère, ensuite le terrain houiller.

Telle est aussi la conclusion de M. Prestwitch (2). Il est porté à croire que, en prolongeant jusqu'à Hardinghen la grande faille d'Auchy-au-Bois et en poursuivant cette direction à travers le détroit jusqu'en Angleterre, on définirait à peu près la limite méridionale d'un bassin houiller pouvant s'étendre sous le district nord de Londres. La coupe du sondage est la suivante :

Craie	200m,00	Grès vert inférieur	19m,00
Grès vert supérieur	8 ,50	Schistes dévoniens rouges et verts	24 ,00
Gault	49 ,00		
Lit de nodules phosphatés	1 ,00		301 ,50

Le grès vert ne s'est pas montré aquifère dans ce sondage, mais plutôt argileux.

Ainsi que l'avait annoncé depuis longtemps M. Godwin-Austen, la série jurassique fait entièrement défaut dans ces parages.

M. Dewalque (3) pense que les couches dévoniennes rencontrées dans le sondage de Tottenham pourraient très bien être la prolongation de celles de la bande de Rhisnes, dans le bassin de Namur; auquel cas, contrairement à l'opinion de MM. Prestwich et Godwin-Austen, ce serait au midi et non au nord qu'il conviendrait de rechercher le terrain houiller.

FRANCE.

Mont Saint-Michel. — M. de Lapparent (4) a constaté que le mont Saint-Michel est formé, non par le granite ordinaire du Cotentin, mais par une masse de *granite* granulitique à mica blanc et à tourmaline, semblable au granite à étain du Cornouailles.

(1) *British Association*, 1877. — *Geol. Mag.*, 1877, 474.
(2) *Geol. Society*, 19 juin 1878.
(3) *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, LXVII.
(4) *Bull, Soc. géol.* [3], VI, 143.

Le même auteur, en étudiant les relations du granite de Vire avec les roches encaissantes, a été amené à attribuer l'éruption de ce granite à une époque comprise entre le dépôt des phyllades cambriens de Saint-Lô et celui du terrain silurien.

Bas Boulonnais. — M. Rigaux (1) a publié une liste détaillée des *brachiopodes* du bas Boulonnais, avec indication des localités où on les rencontre. Cette liste comprend 56 espèces dévoniennes, 7 carbonifères, 15 bathoniennes, 9 oxfordiennes, 8 coralliennes ou astartiennes, 4 kimméridiennes, 4 portlandiennes, 2 aptiennes 3 albiennes et 12 de la craie marneuse.

La Capelle. — Un sondage entrepris à la Capelle (Aisne) a rencontré, d'après M. Gosselet (2), les schistes *dévoniens* à 91 mètres de profondeur; ces schistes sont séparés des *sables verts* à nodules phosphatés par 2 mètres d'une argile bleue qui, sans doute, appartient au *crétacé inférieur*. Le terrain *jurassique* n'existe donc pas en profondeur dans cette région.

Valmondois. — MM. Dollfus et Vasseur (3) ont donné une coupe géologique détaillée du chemin de fer de Méry-sur-Oise entre Valmondois et Bessancourt. Cette coupe, à l'échelle de $\frac{1}{1000}$ pour les longueurs et de $\frac{1}{100}$ pour les hauteurs, comprend depuis la base du calcaire grossier jusqu'aux meulières de Montmorency.

Reims. — M. Lemoine (4) a fait une étude paléontologique des couches de l'*éocène* des environs de Reims qui sont inférieures au calcaire grossier. Les couches explorées comprennent les sables de Châlons-sur-Vesle, les sables et calcaires de Rilly, le conglomérat de Cernay, les marnes de Villers et le calcaire lacustre de Saint-Thierry, les argiles à lignite et les sables de Cuise.

La faune trouvée dans ces couches a été désignée sous les noms de faune éocène inférieure, suessonienne, paléocène, et aussi orthrocène (Gervais).

Les mammifères paraissent pouvoir se rapporter aux genres Arctocyon, Provivera, Lophiocærus, Plesiadapis, Pleuraspidotherium, Pachynolophus, Lophiodon, Dichobune, Sciurus. Des fragments plus défectueux rappellent les genres Paloplotherium, Pliolophus, Hyracotherium, Caimotherium, et d'autres types du groupe

(1) *Geol. Mag.*, 1878, 436.
(2) *Ann. Soc. géol du Nord*, V, 4.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 243.
(4) Extrait d'une lettre à M. Delesse. Juin 1879.

des porcins. Les débris d'oiseaux semblent indiquer cinq espèces de taille différente, dont une comparable au Gastornis. Les crocodiliens paraissent se rapporter aux genres Crocodile et Caïman; les sauriens, au genre Varan et à un type que l'on croyait éteint depuis longtemps, celui des simosauriens : c'est le genre Simædosaurus.

Les tortues, assez nombreuses comme espèces et quelques-unes de très forte taille, appartiennent aux Emydes et aux Trionyx. L'existence des serpents à cette époque est indiquée par des vertèbres de trois dimensions différentes; le genre Bufo, par plusieurs humérus. Quant aux poissons, ils paraissent se rapporter plus particulièrement aux groupes des sparoïdes, des siluroïdes, des lépisostéides, des pycnodontes, des squalides et des myliobatides.

M. Lemoine a encore étudié un grand nombre d'invertébrés (insectes, crustacés, annélides, mollusques, bryozoaires, polypiers, foraminifères).

De plus, il a trouvé des empreintes végétales dans les grès des couches inférieures des sables de Bracheux, dans une localité qui est voisine de Rilly, et qui renferme les fossiles de cet étage, dans le conglomérat de Cernay, ainsi que dans les argiles à lignites. Ces végétaux fossiles sont des algues, des conferves, des champignons, des lichens, des chara, des jungermanés, des mousses, des prêles, des fougères, ainsi que des conifères, des cycadées et des dicotylédonées.

La paléontologie de l'*éocène inférieur* est d'autant plus intéressante à étudier qu'elle a été le point de départ d'une série de types se rapprochant de plus en plus de ceux qui peuplent maintenant notre globe.

MEURTHE-ET-MOSELLE. — La géologie du département de Meurthe-et-Moselle a déjà fait l'objet des recherches de Levallois, Guibal, Eugène Jacquot, Terquem, Lebrun, Delbos, etc. Dans ces derniers temps, M. A. Braconnier vient de publier, sous les auspices du conseil général du département, un ouvrage destiné à vulgariser les connaissances pratiques et à servir de répertoire général des substances utiles que le sol peut fournir à l'agriculture, aux arts et à l'industrie (1). Il donne une coupe générale, très minutieusement étudiée, des terrains stratifiés, depuis le grès rouge jusqu'au calcaire à astartes. Le grès rouge repose, à

(1) *Description des terrains qui constituent le sol du département de Meurthe-et-Moselle.* (Extrait par l'auteur.)

stratification discordante, sur les couches plissées du dévonien; les autres terrains lui sont superposés à stratification concordante et présentent une légère pente d'ensemble vers le centre du bassin de Paris.

Sous le parallèle de Nancy, les terrains stratifiés se succèdent dans l'ordre et avec les puissances ci-dessous indiquées :

TERRAINS.	ZONES.	ASSISES.	
		mètres.	
Étage astartien, 88 mèt.	Z. à O. deltoïdea.	2,50	Calcaires gréseux.
		2,50	Argile.
		5,00	Calcaires lithographiques.
		8,00	— saccharoïdes terreux.
	Z. à Diceras arietina.	18,00	— finement oolithiques.
		10,00	Calcaires avec nodules siliceux et saccharoïdes.
		44,00	Calcaires crayeux oolithiques.
Étage corallien, 28 mèt.	Z. à Ter. inconstans.	14,00	Calcaires oolithiques.
		14,00	— saccharoïdes.
Ét. oxfordien sup., 40 m.	Z. à Trig. clavellata	40,00	Marnes sableuses avec lits de rognons calcaires.
Ét. oxfordien inf., 81 m.	— O. dilatata.	71,00	Marnes.
	— B. hastatus.	40,00	Marnes sableuses avec rognons calcaires.
Ét. callovien, 3 mètres.	Z. à A. macrocephalus.	3,00	Calcaires argilo-sableux
Ét. bathonien sup., 10 m.	Z. à Tereb. varians.	10,00	Argiles.
Ét. bathonien moy, 45m,65	Z. à Pect. vagans.	4,00	Calcaires oolithiques.
	— Pent. Dargniesi.	7,20	— —
	— Ter. decorata.	7,40	— —
	Z. à A. Parkinsoni	19,00	Calcaires oolithiques et marnes calcaires.
		4,75	— gréseux.
		3,30	Marne sableuse avec lits calcaires.
Ét. bathonien inf., 28m,80	Z. à Trig. costata.	28,00	Calcaires oolithiques.
		0,80	Marne oolithique.
Ét. bajocien, 73m,40.	Z. à O. crenata.	21,50	Calcaires saccharoïdes et oolithiques.
	— Pect. disciformis.	24,10	— à entroques.
	— A. Humphriesianus.	12,30	— dits roche rouge.
	— Pect. personatus.	5,50	— et marnes gréseuses.
Marnes supraliasiques, 1e partie, 15m,93.	Z. à O. pectinoïdes.	3,50	Argiles.
	— A. Murchisonœ	0,85	Calcaire ferrugineux.
	— Pect. personatus.	1,05	Minerais de fer et marne.
	— O. polymorpha.	3,98	— —
	— A. opalinus	2,55	— —
	— Trig. navis.	4,00	Grès argileux.
Marnes supraliasiques, 3e partie, 81 mètres	Z. à Trochus duplicatus.	5,00	Argiles sableuses avec ovoïdes calcaires.
	— A. Jurensis.	33,00	— — —
	— A. bifrons.	35,00	— schisteuses avec ovoïdes calcaires.
	— Posid. Bronni	5,00	Schistes bitumineux avec petits lits calcaires.
	— Bel. accuarius.	3,00	Argiles sableuses avec lignite.
Marnes supraliasiques, 4e partie, 37m,50.	Z. à A. spinatus.	12,00	Argiles sableuses avec lits de nodules calcaires.
	— A. Margaritatus.	4,00	Argiles avec ovoïdes ferrugineux.
	— T. numismalis.	18,50	— avec minces lits calcaires.
	— A. raricostatus.	3,00	— sableuses avec ovoïdes calcaires.

TERRAINS.	ZONES.	ASSISES.	
		mètres.	
Marnes supraliasiques, 1re partie, 20 mètres.	Z. à A. Davæi.	1,00	Calcaire argileux.
	— A. planicosta	1,00	— argileux.
	— Ter. Turneri.	2,00	Argiles sableuses.
	— Hippop. ponderosum.	16,00	Argiles.
Lias, 12m,05.	Z. à Bel. brevis.	1,20	Calcaires argileux et argiles.
	— Gr. arcuata.	7,00	— — —
	— A. angulatus.	3,00	— — —
	— A. planorbis.	1,05	— — —
Grès infraliasique, 37m,15		5,00	Argiles de Levallois.
		18,85	Grès friable à grains fins.
		2,05	Grès avec nodules calcaires.
	Z. à Avicula contorta.	11,25	Grès à gros grains avec cailloux roulés.
Marnes irisées supérieures, 70m,25.		64,25	Argiles dolomitiques et gypseuses avec bancs de gypse et de dolomie.
		6,00	Dolomie de Beaumont.
Marnes irisées moyennes, 164m,75.	Z. à Posidon. minuta.	2,00	Argile.
		9,65	Grès argileux dolomitique.
		6,30	Dolomies argileuses.
		15,25	Argiles avec gypse.
		49,40	Argiles salifères avec gypse.
		21,30	Sel gemme et argile gypseuse.
		32,75	Argiles salifères avec gypse.
		23,00	Argiles avec gypse.
		5,10	Gypse.
Marnes irisées inférieures, 34m,45.		6,00	Argiles.
		17,00	Marnes sableuses et dolomitiques.
		7,40	Argiles gypseuses et dolomitiques.
	Z. à Lingula tenuissima.	4,05	Dolomies sableuses.
Muschelkalk supérieur, 77m,25.	Z. à Myop. Goldfussi.	3,65	Calcaires à Myophoria Goldfussi.
		3,00	Argiles.
	Z. à Tereb. vulgaris	16,50	Calcaires à T. vulgaris et Lima stodaei.
		8,50	Argiles.
		16,00	Calcaires à Ceratites nodusus.
		24,00	Calcaires à Gervillia socialis.
	Z. à Ter. vulgaris.	2,20	— à encrines.
		1,20	— à stylolithes.
		2,20	— à Tereb. vulgaris.
Muschelkalk inf., 40m,30.		40,30	Argiles avec gypse et sel gemme.
Grès bigarré, 59m,50.	Z. à Trig. vulgaris et Venus nuda.	3,60	Grès dolomitiques.
		43,50	Grès argileux en bancs minces.
		12,40	Grès argileux en bancs puissants.
Grès vosgien, 370 mètres.		30,00	Grès quartzeux à grain fin.
		15,00	Poudingue.
		305,00	Grès quartzeux avec cailloux roulés.
		20,00	Grès quartzeux à grain fin.
Nouv. grès rouge, 52m,30.		6,80	Grès argileux à grain fin.
		3,15	— à ciment dolomitique.
		42,45	— à grains fins avec cailloux anguleux.

Ces divers étages, lorsqu'on passe du sud au nord du département, ou de l'est à l'ouest, subissent de grandes variations tant dans leur puissance que dans leur composition : par exemple,

pour les divers étages de l'oolithe inférieure, en allant du sud au nord, la puissance augmente ainsi que la proportion des éléments détritiques. Les variations, constatées d'une manière générale par l'analyse chimique et par des nivellements d'une assez grande précision, permettent de se rendre compte assez exactement des terrains que l'on aurait à traverser en un point quelconque du département.

Deux grandes périodes. — D'après la nature même des dépôts successifs, M. Braconnier pense qu'il y aurait lieu de considérer dans leur histoire deux périodes distinctes : la première, allant du commencement du grès rouge jusqu'à la fin des marnes irisées; la seconde, débutant avec l'infralias et embrassant les terrains supérieurs. La première est caractérisée par la fréquence des dépôts de sel gemme, de gypse et de dolomie; la seconde l'est par leur absence complète. Dans la première, le sol du département de Meurthe-et-Moselle faisait ordinairement partie d'un golfe communiquant par une étroite ouverture avec une mer intérieure : les oscillations du sol faisant varier son altitude modifiaient la nature des dépôts et déterminaient leur importance.

La seconde période ne comprend que des terrains déposés par des mers largement ouvertes; les variations dans la composition minéralogique des assises superposées trahissent bien de très nombreuses oscillations du sol; mais aucun de ces mouvements ne paraît avoir produit des golfes analogues à ceux de la première période.

Phénomènes geysériens. — Les sources siliceuses ont fait leur apparition à différentes époques : ce sont des sources de cette nature qui, tout autour de la base du Donon, ont transformé le grès rouge en une sorte de porphyre extrêmement dur.

On retrouve d'importants dépôts de silice dans les larges fissures orientées N. 2° 1/2 O. et E. 21° N. qui sillonnent au nord de Longuyon, les plateaux des étages bajocien et bathoniens inférieur et moyen; ordinairement le quartz est disséminé en petits cristaux dans le minerai de fer que contiennent ces poches; dans certaines localités, cependant, le quartz est isolé en masses compactes d'un assez grand volume. Les sources qui ont produit ces dépôts ne paraissent avoir exercé sur les calcaires encaissants qu'une action dissolvante.

Les minerais de fer sont parmi les dépôts geysériens de beaucoup les plus nombreux et les plus importants : en première ligne, viennent les minerais oolithiques de la partie supérieure des marnes supraliasiques (zones à A. opalinus, Pect. demissus, Pect.

personatus, O. polymorpha, A. Murchisonæ) qui occupent une hauteur variant entre 0 et 25 mètres et présentent tous les caractères d'un dépôt littoral. Cette formation, étudiée dans ses moindres détails, attire spécialement l'attention, tant par l'importance de sa production annuelle, laquelle dépasse actuellement un million de tonnes, que par les espérances, paraissant aujourd'hui très justifiées, d'employer ces minerais pour la fabrication économique de l'acier.

Les minerais oxydés, hydratés ou carbonatés, sont indiqués dans un assez grand nombre d'étages : grès vosgien, en filons; calcaire du lias, en couches; en ovoïdes de carbonate à différents niveaux des marnes supraliasiques; dans les fissures des calcaires bajocien et bathonien; en couches, à la partie supérieure des calcaires bathoniens.

L'acide phosphorique et l'oxyde de fer paraissent être les agents à l'aide desquels des sources geysériennes ont profondément modifié les marnes supraliasiques de Thelod.

Phosphates. — L'acide phosphorique se présente, d'après M. Braconnier, dans la proportion de 1 à 2 centièmes dans certains rognons des marnes oxfordiennes et dans les minerais oolithiques; de 2 à 6 p. 100 dans certains rognons marneux de ces minerais oolithiques; il paraît abondant, en général, à la partie supérieure de la zone à Gr. arcuata, dans laquelle on exploite du reste des nodules de phosphate de chaux près de Chatenois (Vosges).

Systèmes de cassures et failles. — Les systèmes de lignes de cassure qui ont laissé l'empreinte de leur action sont les suivantes : E — 1° — N; E — 21° — N; E — 35° — N; 60° 1/2 — N; N — 2° 1/2 — O; N — 22° — O; N — 37° 1/2 — O; ils se répartissent en quatre groupes, chacun, de deux systèmes de directions sensiblement perpendiculaires, sans doute contemporains. Parmi ces groupes il en est un, celui des systèmes

N — 37° 1/2 — O et E — 35° — N,

dont l'empreinte est tout à fait caractéristique pour le département de Meurthe-et-Moselle. Les effets de ces deux systèmes, bien constatés sur le terrain avant la fin de l'année 1877, sont, jusque dans les plus petits détails, conformes aux résultats des expériences dont M. Daubrée a rendu compte à l'Académie des sciences. Les nombreuses lignes de cassure décomposent le sol en compartiments rectangulaires, qui se sont très fréquemment élevés ou affaissés indépendamment les uns des autres : de là les variations brusques d'amplitude que présentent les nombreuses failles

connues. Les lignes de cassure représentant les artères du sol, la détermination de leur orientation présentait un intérêt tout particulier au point de vue de la recherche des eaux potables, de la recherche des filons d'eau salée saturée et même pour le captage de certaines sources minérales sulfatées calciques du groupe de celles de Contrexéville. Les lignes de cassure suffisent pour se rendre compte de la très haute antiquité des cours d'eau actuels, prouvée par les dépôts d'alluvions anciennes échelonnés au sommet des collines, le long des principales rivières.

Alluvions anciennes. — Lorsque le sol géologique n'est pas à nu, il est recouvert par les alluvions anciennes formées par des débris de terrains enlevés par dénudation et transportés par les eaux à une certaine distance : sur les points où les diverses sortes d'alluvions sont superposées, on les trouve toujours dans l'ordre suivant, de bas en haut :

1° Grouine, ou sable calcaire, formée par la destruction des terrains calcaires;
2° Terre rouge, avec minerais de fer en grains;
3° Argile sableuse, sable et galets quartzeux provenant principalement des grès vosgien et bigarré.

La grouine se rencontre depuis les marnes supraliasiques moyennes jusqu'au calcaire astartien inclusivement; la terre rouge, depuis les marnes supraliasiques inférieures jusqu'au terrain callovien exclusivement; la troisième alluvion, désignée sous le nom d'alluvion vosgienne, se rencontre sur tous les terrains et forme des dépôts d'autant plus importants qu'ils sont plus rapprochés des montagnes des Vosges.

Roches éruptives. — Les seules roches éruptives de Meurthe-et-Moselle sont les basaltes de la côte d'Essey, remarquables par leur teneur en acide phosphorique (2 p. 100), au contact desquels les marnes irisées, le grès infraliasique et le lias manifestent un métamorphisme très net qui a été étudié par M. Delesse (1).

Belfort. — M. Parisot (2) a donné la description du territoire de Belfort. A son mémoire, accompagné de coupes, est joint une carte géologique, sur laquelle le relief du sol est figuré par des courbes horizontales espacées de 10 mètres.

Rien n'est plus varié que la géologie du territoire de Belfort. L'existence du cambrien et du silurien n'a pas été jusqu'ici entièrement démontrée; mais, à partir du dévonien, on y trouve tous

(1) *Annales des mines* 1857 : V. tome XII, page 461.
(2) *Bulletin de la Société belfortaise d'émulation*, 3e année, 1877.

les terrains, à l'exception du crétacé qui manque entièrement.

Le *dévonien* se montre bien développé dans le vallon de la Luzine, entre Chagey et Chenebier, et sa puissance paraît dépasser 2.700 mètres. M. Parisot y a trouvé Phacops lævis, Orthis Michelini, des Retzia et des spirifères.

Le *carbonifère* comprend : 1° le carbonifère inférieur, étudié déjà par MM. Kœchlin-Schlumberger et Schimper; il forme la plus grande partie des montagnes du territoire et il est souvent représenté par des grès métamorphiques, ressemblant à la grauwacke feldspathique de Thann (1); 2° il y a aussi le terrain houiller proprement dit, mais il se montre seulement dans deux petits affleurements.

Le *permien* se compose du grès rouge avec quelques couches calcaires et du grès vosgien qui le recouvre. Tandis que le grès rouge est en stratification discordante avec le terrain houiller, le grès vosgien se montre avec lui en stratification concordante; c'est une des raisons que l'on peut faire valoir pour le réunir au permien, comme le faisait Élie de Beaumont.

Le *trias* est représenté par ses trois étages, parmi lesquels celui des marnes irisées ne contient pas de sel, mais de la dolomie et du gypse, parfois exploité.

Dans ces marnes irisées on rencontre Avicula speciosa et Pecten Lugdunensis, ce qui prouve qu'elles sont au moins en partie d'origine marine.

Le terrain *jurassique*, en stratification concordante avec le trias, joue un rôle fort important dans la géologie du pays, et l'on y compte treize étages, dans lesquels on peut encore distinguer des sous-étages. Ses couches étant presque exclusivement calcaires, c'est par les fossiles qu'elles ont dû être repérées. Pour le jurassique supérieur, les divisions adoptées sont celles proposées par M. Contejean pour les environs de Montbéliard.

A la fin du jurassique, le territoire de Belfort a été fortement disloqué et de plus émergé par le soulèvement de la Côte-d'Or, de sorte qu'il n'a pas reçu de dépôts appartenant au crétacé; mais on y trouve encore des *terrains tertiaires*, consistant surtout en dépôts lacustres.

L'*éocène* supérieur est représenté par des argiles à minerai de fer pisiforme et par un calcaire d'eau douce avec Melania Escheri et Planorbis rotundatus.

Au *miocène* inférieur doivent être rapportés : 1° des marnes et

(1) *Annales des mines* (1853), III, 747.

grès marins; 2° les schistes à Meletta de Froidefontaine, étudiés par MM. Daubrée, Delbos, Sauvage et Oustalet; 3° le calcaire lacustre de Chatenoy, dans lequel on n'a rencontré qu'un seul fossile, l'Helix osculum.

A la fin du miocène, le soulèvement des Alpes occidentales a exhaussé de nouveau le territoire de Belfort, et complétant son relief, il l'a définitivement éloigné des rivages maritimes.

Quant aux *terrains quaternaires*, ils comprennent : 1° le diluvium rhénan; 2° le diluvium vosgien; 3° des dépôts glaciaires signalés d'abord par Renoir et Ed. Collomb.

— Les roches cristallines jouent aussi un rôle assez important dans la géologie du territoire de Belfort; citons particulièrement la *syénite*, le *porphyre*, la *diorite* et le *mélaphyre*.

En ce qui concerne le mélaphyre, on sait que Jourdan y a trouvé, près Plancher-les-Mines, des fossiles du terrain carbonifère; et par conséquent, dans ce gisement, on doit le classer parmi les roches métamorphiques. M. Parisot le regarde comme un grès métamorphique. Cette hypothèse, vraisemblable pour la grauwacke feldspathisée, en particulier pour celle de Thann, ne peut guère être admise pour le mélaphyre qui contient au plus 55 p. 100 de silice. Il faut remarquer d'ailleurs que, sur le terrain on voit le mélaphyre porphyrique passer insensiblement à des schistes; en particulier, c'est ce qui a lieu à Ternuay (1). Le mélaphyre de Plancher résulte donc du métamorphisme de schistes fossilifères; il appartient à ces roches métamorphiques que M. Dana nomme *méta-mélaphyres*.

Le mémoire de M. Parisot sur le territoire de Belfort donne encore des détails sur les applications des différentes roches à l'industrie et à l'agriculture.

Bresse. — M. Tardy (2) a fait une étude géologique de la Bresse et de la Dombes. Cette étude peut être résumée par le tableau suivant :

(1) Delesse. *Annales des mines* [4], XII, 293.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 698.

BRESSE DU NORD.	BRESSE DU SUD et Dombes.	VALLÉE DU RHÔNE en amont de Lyon.
		Arrivée du Mammouth.
		Moraines du Bugey.
		Second creusement du fleuve.
Erratique de Nalafretaz. .	Moraines de la Dombes. . .	Premier groupe de Moraines.
		Alluvions anciennes.
		Glacier de Saint-Clair.
Sables de Saint-André-d'Huriat et dernières marnes blanches.	. . . . .	Premier creusement de la vallée.
Marnes de la Dombes. . .	Marnes de Bagé à Montrevel.	Déplacement du Rhin.
Couche aquifère des puits de la Dombes.	Sables de Foissiat.	
Marnes et tufs de Loyes. .	Marnes à tuf de N. D. de Bellor.	
Série sableuse de Mollon. .	Sablons et sables de Couzance, Sanciat, Orbagne.	Lignites de Hauterive.
Mollasses de 300 mèt. d'altitude.	Mollasses de Varambon. . .	Mollasses à Nassa Michuadi et Pecten benedictus.
Mollasses de 240 à 260 mèt.	Mollasses de Prizy.	
Calcaires à Helix Ramondi.		

CANTAL. — Une *carte oro-hydrographique* du département du Cantal vient d'être publiée par MM. Rames et Bouygues. On doit aussi à M. Rames une *topographie raisonnée* du Cantal.

HAUTE-LOIRE. — M. Félix Robert (1) a terminé ses études sur les *volcans* de la Haute-Loire (2) par la description des *volcans à scories* (Courant, Peyre-Amont, Boury, Bar, Sainte-Anne, Solilhac), contemporains du pliocène à Mastodon Borsoni, M. Avernensis, Rhinoceros Etruscus et par celle des *volcans basaltiques modernes*, ou de l'époque quaternaire. A ces derniers appartient celui de Denise, dont les coulées bréchiformes recouvrent des ossements humains associés aux Elephas primigenius, Rhinoceros tichorinus, Hippopotamus major.

AIX. — M. Collot (3) a dressé la carte géologique des environs d'Aix en Provence. Le squelette de la région est formé par les terrains *jurassique* et *néocomien*. On distingue dans le premier la *zone à Avicula contorta*, le *lias*, l'*oolithe inférieure*, les calcaires à Ammonites tripartitus, les marnes à fossiles *calloviens* et *oxfordiens*, les zones à Ammonites transversarius et A. polyplocus, puis les calcaires a Terebratula insignis.

Le *néocomien*, qui succède aux formations précédentes, est recouvert par les étages moyen et supérieur de la grande série lacustre qui commence à la base des *lignites de Fuveau* et se termine avec les couches *éocènes* à Strophostoma lapicida et Planorbis pseudo-ammonius du Montaiguet; au-dessus viennent le terrain à *gypse*, la *mollasse* et quelques dépôts caillouteux.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], VI, 40.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], II, 245, III, 355.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], V, 448.

PYRÉNÉES CENTRALES. — Sous la direction de M. Mille, inspecteur général des ponts et chaussées, M. Guillier a étudié des profils géologiques suivant les tracés de chemins de fer projetés à travers les Pyrénées centrales (1).

1° *Vallée de la Garonne* (de Toulouse au Plâ-de-Beret, Espagne). — Le projet se détache de la ligne de Luchon, près de Saint-Béat; le chemin construit, circulant jusque-là sur des terrains de transport, n'a pas rencontré de difficultés; les tranchées sont insignifiantes, et pour se rendre compte de la nature du sous-sol, il faut étudier les coteaux environnants. On constate ainsi, d'abord l'énorme dépôt de *mollasse* de la plaine de Toulouse; puis, successivement, les couches redressées et repliées sur elles-mêmes du *nummulitique* et du *crétacé*, un pointement d'*ophite*, et le *jurassique* près de Salechamp. Une faille se présente alors avec une source thermale; viennent ensuite les schistes *siluriens* et le *granite*, conduisant au raccordement du projet avec la voie construite à 4 kilomètres de Saint-Béat.

Les environs de cette ville, dit M. Guillier, sont des plus intéressants : le granite se poursuit jusqu'à 1 kilomètre environ; là, une nouvelle faille amène au jour le marbre statuaire si connu; on remarque ensuite un filon d'ophite, un représentant peu net du trias et les marbres griottes de Cierp.

A moins de 2 kilomètres après Saint-Béat, on attaque une puissante formation de schistes avec calcaires gris ou bleuâtres, à Encrines et Orthocères, qui semblent appartenir au terrain *silurien;* cette formation se poursuit jusqu'au faîte, le Plâ-de-Beret. Ici, le marbre, associé au schiste, prend exactement l'aspect du marbre statuaire de Saint-Béat, ce qui tend à faire considérer ce dernier comme *silurien*. On peut en voir un très beau développement aux sources mêmes du Rio-Malo, affluent de la Garonne.

Des filons *granitiques* se rencontrent au milieu des schistes à Bossost (Espagne), à mi-chemin de Saint-Béat au faîte.

2° *Vallées du Gave de Pau, du Gave d'Oloron, du Rio-Aragon*

(1) Lettre à M. Delesse, avril 1879.

et du Rio-Gallego (de Pau à Saragosse). — Dans cette direction, les deux versants des Pyrénées ont été étudiés par M. Guillier.

Le tracé du chemin de fer projeté se détache à Pau de la ligne construite; il suit jusqu'à Gan la vallée du Nées; là, les difficultés commencent : il faut passer la ligne de partage des eaux du Gave de Pau et du Gave d'Oloron, on coupe le *nummulitique*, puis le *crétacé* avec recouvrements *miocènes;* on rencontre près de Herrère un filon d'*ophite* et on descend à Oloron; on entre alors dans la vallée d'Aspe et on remonte le Gave.

Jusqu'à Bedons, alternances de différents étages *crétacés* et *jurassiques* avec failles et filons d'*ophite;* les pentes sont encore relativement faibles. A Bedons, la vallée s'élargit et forme une riche plaine; au delà, les pentes rapides commencent avec les terrains anciens, constitués par des schistes et des marbres *siluriens* et *dévoniens*.

En approchant du Somport, on voit apparaître des grès et schistes rouges avec amandes calcaires appartenant au *trias;* ce terrain s'appuie d'abord sur le *dévonien*, puis sur les schistes *siluriens* qui affleurent près de la maison du cantonnier. Le faîte du Somport est sur le *trias*, et un tunnel projeté aurait à traverser ce terrain ainsi que les schistes *siluriens* sous-jacents.

La constitution géologique du versant espagnol, également étudiée par M. Guillier, est beaucoup plus simple que celle du versant français; après le sommet et reposant sur le *trias* qui plonge alors vers l'Espagne, on rencontre d'abord le terrain *crétacé* qui se poursuit jusqu'au delà de Canfranc. Ce terrain supporte la grande formation *nummulitique* dont Jaca occupe le centre; en avançant, un plongement en sens inverse fait reparaître le *crétacé* avec rudistes, au pied de la Sierra de Guera, vers Nueno; puis, par suite d'une faille, le *nummulitique* revient et porte à son tour, depuis Huesca, la *mollasse* gypsifère de l'Ébre; enfin les *alluvions* du Gallego conduisent à Saragosse dont la position géologique rappelle celle de Toulouse.

BELGIQUE ET LUXEMBOURG.

M. Dewalque vient de publier une *Carte géologique*, à l'échelle de $\frac{1}{500.000}$, qui comprend la Belgique et les régions avoisinantes. Elle résume ses études personnelles pendant 15 années, et elle tient compte des progrès réalisés par MM. Cornet, Briart, Gosselet, etc. La petitesse de son échelle, commandée par sa destination à l'enseignement, a forcé de réduire le nombre des divisions géologiques adoptées.

— MM. Wies et Siegen (1) ont fait la carte du grand-duché de Luxembourg, qui est à l'échelle de $\frac{1}{40.000}$.

Dans le terrain triasique, ils admettent les divisions suivantes: Le *grès bigarré* auquel ils rattachent, avec M. Dewalque, *les marnes gypsifères* du grès bigarré, tandis que, suivant M. Benecke, ces dernières devraient appartenir au muschelkalk; le calcaire du *muschelkalk* se partageant en trois assises, séparées par deux assises marneuses; le keuper se divisant en quatre étages, les *marnes irisées inférieures*, le *grès moyen* du keuper, les *marnes irisées supérieures* et enfin le *grès supérieur* du keuper (*Rhät*). Ce dernier étage, est celui qu'en Belgique on nomme *cailloux et grès de Martinsart*, et qu'on range dans le lias.

Le lias comprend sept divisions :

Le *calcaire infra-liasique*, correspondant à la *marne d'Helmsingen* des géologues belges et par place à celle de *Jamoigne;* le *grès de Luxembourg*; le *calcaire à Gryphées arquées*, correspondant en Belgique à la *marne de Strassen;* dans le lias moyen on a les *marnes à ovoïdes ferrugineux*, le *calcaire à Gryphées Cymbium* ainsi que le *grès supérieur* du lias (*macigno d'Aubange*); après vient le lias supérieur proprement dit qui est formé par le *schiste bitumineux;* les géologues belges le désignent de la même manière et lui rapportent aussi la *marne de Grand'-Cour*.

Enfin l'*oolithe inférieure* comprend trois divisions :

L'*oolithe ferrugineuse*, prolongement de la limonite oolithique de Mont-Saint-Martin (Belgique); des *marnes* gris-bleu dans la profondeur, jaunâtres à la surface, qui, d'après M. Dewalque, se réduisent en Belgique à une épaisseur de quelques mètres; et une troisième assise, correspondant au *calcaire de Longwy*.

SUISSE.

M. Greppin (2) a observé de nombreuses roches de provenance vosgienne qui se rencontrent dans certains dépôts *miocènes* du Jura et de la Suisse. L'auteur y reconnaît des eurites, des leptynites, du granite, de la grauwacke et du grès vosgien. A l'époque de la mollasse et des sables à Dinotherium, pendant laquelle se formaient ces dépôts, les Alpes et le Jura n'avaient pas encore de relief fortement accentué, tandis que les Vosges et la Forêt-Noire existaient et envoyaient sur la Suisse des courants dirigés du Nord au Sud.

---

(1) Dewalque, *Ann. Soc. géol. de Belgique*, V, p. LVI.
(2) *Revue géol. suisse*, VIII, 57.

— M. A. Favre (1) a signalé la découverte d'une défense d'éléphant au bois de la Bâtie, près de Genève. Cette dernière, qui paraît appartenir plutôt à l'Elephas antiquus qu'à l'Elephas primigenius, se trouvait dans une assise d'un massif d'*alluvion* ancienne. A cette occasion, M. A. Favre mentionne les principales localités de la Suisse, dans lesquelles des débris d'éléphants ont été rencontrés; elles sont au nombre de 53, parmi lesquelles il faut citer les villes de Zurich, Lucerne, Soleure, Berne et Fribourg.

ITALIE.

Les divisions adoptées dans les terrains pour la carte géologique de l'Italie ont été discutées dans un congrès de géologues italiens et il nous paraît utile de les faire connaître, puisqu'elles résument, en définitive, les caractères spéciaux à la géologie de ce pays.

Dépôts actuels.
Quaternaire... Postglaciaire, glaciaire, préglaciaire.
Sables jaunes subapennins.
Tertiaire... Pliocène supérieur, moyen, inférieur; Miocène supérieur ou sulfurifère, inférieur (mollasse, lignite, conglomérats); Éocène supérieur, moyen, inférieur.
Crétacé... Scaglia, Turonien, Cénomanien, Urgonien, Néocomien, Tithonique.
Jurassique... Kimméridgien, Oxfordien, Callovien, Bathonien.
Lias supérieur, moyen, inférieur.
Infralias supérieur, inférieur.
Trias... Supérieur, moyen, inférieur.
Permien... Zone des conglomérats, zone des schistes.
Carbonifère... supérieur, inférieur.
Zone des marbres Apuens.
Silurien... Calcaire, schistes.
Zone des pierres vertes et du gneiss central.
Roches schisteuses, avec quartz et argile : micaschistes, schistes argileux, quartzites
Roches calcarifères : calcaires saccharoïdes, schistes calcaires.
Roches magnésiennes : schistes talqueux, schistes chloriteux, schistes serpentineux, amphibolites.
Roches massives anciennes : avec orthose et quartz : granite, protogine, gneiss, porphyre quartzifère...; avec orthose sans quartz : syénite...; avec oligoclase : diorite, porphyre, mélaphyre...; avec labrador : diabase, euphotide, hypersthénite, porphyre labradorique... : serpentine.
Roches éruptives récentes : avec orthose et quartz : trachyte quartzifère...; avec orthose sans quartz : trachyte, phonolite...; avec oligoclase : andésite amphibolique, andésite pyroxénique...; avec labrador et néphéline : basalte, dolérite, néphélinite, leucitophyre...; vitreuses : obsidienne, perlite, retinite, ponce.
Roches volcaniques clastiques... Tufs, peperino, lapilli et cendres.
Terrain sidérolithique.

(1) *Archives des sciences physiques et naturelles*, Genève, 1878.

Lombardie. — Curioni (1) a publié une description géologique de la Lombardie, accompagnée d'une carte à l'échelle de $\frac{1}{172.800}$, qui comprend aussi la Suisse méridionale. Ce travail embrasse la région qui s'étend du lac Majeur au lac de Garde et à l'Adamello. Les terrains les plus anciens sont des *gneiss* et des *micaschistes*, surmontés par des gneiss amphiboliques, des schistes chloriteux et talqueux. Le *silurien* et le *dévonien* manquent; mais les terrains *carbonifère, permien, secondaires* et *tertiaires* sont représentés. Les roches éruptives, échelonnées depuis les terrains anciens jusqu'à l'infralias, consistent en *granite, syénite, diorite, porphyre quartzifère* et *serpentine.*

Haute Italie. — M. Stoppani a récapitulé, dans une nouvelle publication (2), les diverses observations faites, dans ces dernières années, sur les *terrains glaciaires* de la haute Italie et, plus particulièrement sur ceux des environs du lac de Côme.

Les glaciers des vallées qu'occupent aujourd'hui les lacs de Lugano et de Côme ont barré ces vallées, par leurs moraines terminales, vers leur débouché dans la grande dépression qui, après avoir été un golfe de la mer pliocène, est devenue la vallée du Pô. On admettait autrefois, et beaucoup de géologues l'admettent encore, que l'époque glaciaire et les dépôts morainiques correspondants sont postérieurs au soulèvement régional qui a mis à sec la plaine du Pô. M. Stoppani soutient, au contraire, que le développement maximum des glaciers est antérieur à ce soulèvement, et qu'une partie au moins des moraines terminales s'est déposée dans la mer.

Une vaste terrasse, actuellement découpée par les érosions des torrents, s'est étendue au pied des Alpes lombardes; le plateau de la Groana, au sud de Côme, en est un des fragments. Or le terrain qui constitue la Groana, le *ferretto*, est un détritus de diverses roches où dominent les porphyres des environs de Lugano et qu'agrège un ciment argilo-ferrugineux : ce tuf contient des coquilles marines; M. Mercalli y a trouvé la Perna Soldani bien conservée, et l'Ostrea edulis paraît former des bancs presque à sa surface. M. Stoppani voit dans cette ancienne terrasse le bas-fond, originairement sous-marin, correspondant à ceux qui se forment actuellement dans les régions arctiques en avant des glaciers qui aboutissent à la mer (3).

(1) *Geologia delle provincie Lombarde*, 1877. — *Revue géol. suisse*, VIII, 8.
(2) *Geologia d'Italia*, par Stoppani et Negri. (Extrait par M. de Cossigny.)
(3) Voir, relativement aux appareils glaciaires sous-marins, la partie de la *Revue* consacrée à la géologie dynamique.

Sur la terrasse dont il vient d'être question, et dans la partie la plus voisine des lacs, s'élève une triple série demi-circulaire de collines; ce sont les lambeaux des moraines frontales proprement dites. Les bases de ces collines ainsi que les dépressions comprises entre elles sont grossièrement stratifiées et contiennent des blocs glaciaires, des cailloux striés, des sables, des galets, des cailloux perforés par des lithophages, enfin des coquilles marines; c'est à cette zone qu'appartiennent les gisements qui ont déjà fourni plus de 150 espèces. Quant aux parties culminantes des moraines, elles présentent tous les caractères de celles des glaciers purement terrestres.

PIÉMONT. — D'après les études de M. Louis Bruno, contrôlées par M. Stoppani (1), l'amphithéâtre glaciaire de la Doire-Baltée, près d'Ivrée, est composé de *moraines* entièrement *sous-marines* à l'exception de quelques points culminants qui se sont élevés un peu au-dessus du niveau des eaux. Ici encore on trouve, en beaucoup de points des fossiles marins; la Venus umbonaria est particulièrement abondante.

LAC DE GARDE. — Au nord du lac de Garde, dans la vallée de la Sarca, se trouve un groupe de collines, appelé les *Marocche*, dont la constitution géologique a donné lieu à quelques discussions. M. Omboni (2) a démontré que ce sont d'anciennes *moraines* partiellement recouvertes par des éboulements récents provenant des montagnes calcaires voisines.

ITALIE CENTRALE. — M. Ponzi a déjà donné un mémoire sur les *Volcans* du Latium (3) accompagné d'une carte géologique qui met en évidence l'ordre de succession des phénomènes volcaniques. Le même auteur vient de publier un travail analogue sur la Toscane romaine et sur les montagnes de la Tolfa (4).

L'ensemble de ces recherches constitue une description géologique presque complète de la zone volcanique de l'Italie centrale.

FROSINONE. — M. Branco (5) a décrit les formations volcaniques des environs de Frosinone dans l'Italie centrale. On n'y compte pas

(1) Stoppani et Negri : *Geologia d'Italia*.
(2) *Annuario della Societa Alpina del Trentino*, 1875. — *Atti R. Instituto Veneto*. 1876. (Extrait par M. de Cossigny.)
(3) *Storia dei vulcani Laziali*. — *Atti della R. Acad. dei Lincei*, série 2, t. II.
(4) *Neues Jahrb*, 1878, 561.
(5) *La Tuscia romana e la Tolfa. Acad. dei Lincei*, série 3, t. II.

moins de huit *volcans*, qui ont été en activité pendant ou avant l'époque des alluvions anciennes. Un seul offre encore un cratère distinct. La plupart de ces volcans sont constitués par un mélange de lave et de tuf. Toutes les laves sont riches en augite et en amphigène et par là se relient à la série des laves du Latium.

ISTRIE.

M. Taramelli a publié une description de l'Istrie et des îles Quarnero avec une carte géologique au 288.000e (1). Les terrains qui constituent cette région sont le *crétacé* supérieur et l'*éocène* inférieur et moyen, auxquels il faut joindre pour la partie méridionale de la péninsule, un *terrain sidérolithique* plus récent.

RUSSIE.

CRIMÉE. — M. Ernest Favre (2) a donné une carte au 250.000e et une description géologique de la partie sud-ouest de la Crimée, où l'on distingue l'étage *sarmatique*, l'étage *nummulitique*, la *craie supérieure*, la craie moyenne ou *grès vert*, le *néocomien*, le *jurassique* supérieur, moyen, inférieur, enfin des *roches éruptives*, telles que Diabase, Mélaphyre et Porphyre. Plusieurs échinodermes nouveaux, recueillis par M. Favre, ont été décrits par M. de Loriol.

TURQUIE D'EUROPE.

BALKANS. — D'après M. Toula (3), la partie occidentale des Balkans, d'Osmanich à Ak-Palanka, se compose des formations suivantes : le *granite* occupe l'axe de la chaîne et est entouré des deux côtés par les schistes azoïques *primaires* (gneiss, schistes chloriteux, schistes argileux). Au-dessus apparaît le grès rouge du *permien* inférieur, avec Odontopteris obtusiloba, Cyatheites arborescens, Alethopteris gigas, Tæniopteris abnormis, Walchia piniformis. Le *muschelkalk* est représenté par des calcaires à entroques avec Retzia trigonella et Waldheimia vulgaris.

Le terrain *jurassique* est bien développé au sud de Belogradcik. On y observe des grès à Monotis elegans, puis des calcaires à Ammonites polyplocus, A. Doublieri, A. Holbeini, Aptychus latus, etc.

(1) *Descrizione geognostica dell'Istria*. Milan, Vallardi, 1878.
(2) *Étude stratigraphique de la Crimée*, etc., 1877.
(3) *Neues Jahrb.*, 1878, 763.

Le terrain *crétacé* est représenté par des couches à Orbitolines, à Caprotines et à Pyrina pygæa, au-dessus desquelles apparaissent les grès de la craie.

SANTORIN.

M. Fouqué (1) vient de publier l'ensemble de ses longues recherches sur l'île de Santorin.

L'*éruption récente de* 1866 a, comme la plupart des éruptions volcaniques, donné naissance à deux catégories de produits : 1° des matières volatiles ; 2° des laves épanchées en fusion plus ou moins parfaite, ou projetées à l'état de débris pulvérulents ou scoriacés.

La composition des gaz émis a beaucoup varié durant le cours de l'éruption.

Au début des phénomènes, les laves étant encore au-dessous du niveau de la mer, les mélanges gazeux étaient riches en éléments combustibles et surtout en hydrogène libre provenant de la dissociation de l'eau ; ils s'enflammaient au contact des roches incandescentes et flamboyaient au milieu des blocs. L'éruption étant plus avancée, l'air pénétrait facilement dans les interstices des blocs et la combustion des gaz hydrogénés se faisait à l'intérieur même des laves, à l'abri du regard des observateurs.

A côté de l'hydrogène libre et du gaz des marais, l'éruption a émis les gaz volcaniques ordinaires, acide chlorhydrique, acide sulfureux, acide carbonique, acide sulfhydrique, azote.

Les deux premiers gaz ne se sont présentés que dans les points d'émission dont la température était supérieure à 100° ; les trois autres se sont toujours montrés quelque fût la température.

L'eau à l'état de vapeur a joué un grand rôle dans les diverses phases de l'éruption ; elle doit être considérée comme la cause immédiate des explosions.

Sur les points du volcan sièges d'une vive incandescence, le spectroscope a permis à M. Fouqué de reconnaître la présence de sels de soude et de potasse volatils. Après la cessation des phénomènes éruptifs, ces sels qui s'étaient déposés autour des orifices des fumerolles, ont été analysés. Leurs éléments constitutifs se sont trouvés être du chlorure de sodium, du chlorure de potassium, des sulfates de soude et de potasse, des carbonates de soude et de magnésie. Or, l'eau de la mer, après évaporation laisse un résidu, qui par volatilisation fournit un dépôt analogue.

(1) F. Fouqué : *Santorin et ses éruptions*, 1879 (extrait par M. Poirier).

Ce fait vient donc à l'appui de la théorie qui considère l'eau de la mer comme agent immédiat ordinaire des éruptions.

Parmi les substances volatilisées dans les conduits volcaniques, il en est qui sont susceptibles de réagir les unes sur les autres et de produire des composés fixes. C'est ainsi que sont engendrés les oxydes de fer hydratés, le fer oligiste, le soufre, l'acide sulfurique libre, l'alun, le sulfate de chaux. Mais outre ces produits dont le mode de formation est bien connu, on trouve à la surface intérieure de cavités tubulaires semblables à des fulgurites, des cristaux d'anorthite, de sphène, et de pyroxène sous forme de fassaïte et d'augite. Ces cristaux n'ont pu être déposés que par voie de volatilisation.

D'autres silicates cristallisés se rencontrent accidentellement dans les mêmes laves. Ces cristaux proviennent de la transformation de blocs calcaires arrachés au sous-sol de la région et enclavés dans les laves. Les principaux de ces minéraux sont : l'anorthite, l'augite, la fassaïte, le sphène, le grenat mélanite et surtout la wollastonite.

Pour l'analyse des laves, M. Fouqué a eu recours à deux procédés : le premier, fondé sur l'emploi d'un électro-aimant puissant, permet d'isoler le feldspath ; le second, basé sur l'usage de l'acide fluorhydrique concentré, permet l'extraction du fer oxydulé et des silicates ferro-magnésiens.

L'étude des laves récentes de Santorin a montré que la cristallisation des minéraux s'était opérée en deux temps : d'abord se sont développés des cristaux de grande taille ; puis se sont produits des cristaux de dimensions bien moindres.

Les plus petits (*microlithes*) englobent et contournent les grands cristaux.

D'après M. Fouqué, les microlithes feldspathiques appartiennent en général à un terme plus élevé de la série des feldspaths, que les grands cristaux qu'ils accompagnent.

Les minéraux qui se présentent à l'état de microlithes dans la lave commune de 1866 sont le feldspath et le fer oxydulé titanifère.

Le feldspath microlithique est l'albite mélangé à une assez forte proportion d'oligoclase.

Le feldspath qui domine à l'état de grands cristaux est le labrador avec un peu d'anorthite, d'oligoclase et de sanidine.

Le tout est cimenté par une matière vitreuse, représentant le résidu de la cristallisation. Cette matière amorphe présente une composition peu différente de celle du feldspath albite, elle est toutefois un peu plus riche en silice et en potasse.

L'ordre de cristallisation des minéraux de la roche a été le suivant : 1° fer oxydulé en grands cristaux ; 2° apatite ; 3° silicates ferro-magnésiens (augite et hypersthène); 4° feldspaths en grands cristaux; 5° granules microlithiques de fer oxydulé titanifère; 6° microlithes feldspathiques.

Les minéraux de la lave commune de 1866 contiennent presque toujours des inclusions microscopiques cristallines ou amorphes. Les inclusions cristallines sont formées de pyroxène, de fer oxydulé, d'apatite ou même de feldspath triclinique. Les inclusions de substance amorphe sont des portions ténues de la matière ambiante qui s'est trouvée englobée dans les cristaux au moment de leur production. Une bulle de gaz accompagne presque toujours les inclusions amorphes.

La substance qui remplit les bulles de ces inclusions vitreuses ne serait pas simplement gazeuse; il y aurait encore là, d'après M. Fouqué, une matière analogue par ses propriétés aux matières organiques.

A plusieurs reprises des cendres ont été projetées durant la dernière éruption de Santorin. Les cendres volcaniques présentent les mêmes caractères que les laves, puisqu'elles ne sont que de la lave pulvérisée par la sortie brusque des gaz et des vapeurs qui l'ont traversée pendant qu'elle était plus ou moins fluide. Il y a cependant à remarquer que les cendres sont toujours plus riches que la lave, en matière amorphe, les gaz et les vapeurs traversant de préférence les parties de la lave, les plus fluides, par conséquent où la cristallisation est moins avancée.

Cette éruption de 1866 a été aussi accompagnée de *mouvements du sol* très remarquables. L'effet général a été un phénomène d'affaissement, accompagné d'ouvertures de fentes, de dégagements de gaz, d'écoulements de sources d'eau chaude et d'une élévation notable de la température du sol.

L'examen de divers échantillons provenant d'*éruptions sub-aériennes plus anciennes* a montré à M. Fouqué qu'il existe dans ces laves plusieurs feldspaths différents à l'état de grands cristaux; l'un de ces feldspaths domine toujours. Le feldspath dominant est triclinique, tantôt c'est le labrador, tantôt l'anorthite. Avec le labrador, on trouve comme éléments constants : l'hypersthène, l'augite, le fer oxydulé en grands cristaux, l'albite, l'oligoclase, le fer oxydulé et titané en microlithes. En outre le tridymite et l'opale sont très fréquents.

Avec l'anorthite se montrent en grands cristaux : l'augite, le fer oxydulé et l'olivine; à l'état de microlithes, on trouve le labrador, l'augite, le fer oxydulé et le fer titané.

Aux laves à grands cristaux de labrador se rattachent des ponces qui recouvrent tout l'archipel Santorinote.

A côté de ces laves d'origine sub-aérienne on rencontre dans la partie méridionale de l'île de Théra des *produits d'origine sous-marine*. La plupart des déjections de formation sous-marine appartiennent à un type de roches tout à fait différentes de celles des déjections sub-aériennes. Ce sont des laves acides.

Le labrador est encore prédominant parmi les grands cristaux, mais l'hornblende est devenu le silicate ferro-magnésien caractéristique, l'augite est moins abondant, l'hypersthène et le fer oxydulé sont rares, l'olivine manque. Les microlithes sont formés par de l'oligoclase, de l'albite et du sanidine.

Ces laves appartiennent à la famille des andésites amphiboliques; tandis que les laves sub-aériennes appartiennent aux andésites augitiques.

En outre la plupart de ces roches de formation sous-marine se chargent de silice, principalement sous forme d'opale.

De nombreux blocs arrachés au sous-sol de la région se trouvent dans les cendres situées à la base des falaises de Thérasia et de Théra. Ces blocs se présentent comme des agrégats de minéraux cristallisés. M. Fouqué les considère comme se rattachant à la série granitoïde du commencement de la période tertiaire.

M. Fouqué consacre ensuite un dernier chapitre à la *genèse* de Santorin.

Contre un premier îlot composé de marbres et de micaschistes se sont fait jour des éruptions sous-marines : puis un soulèvement considérable s'est produit, les éruptions devenues sub-aériennes ont répandu d'abondantes déjections et ont donné naissance à une grande île. Un effondrement violent, accompagné et suivi d'explosions et de projections de ponces, a creusé une baie. Enfin les éruptions qui se sont produites depuis le commencement de l'époque historique y ont fait surgir les Kaménis.

En terminant, M. Fouqué fait observer que la *théorie des cratères de soulèvement* ne peut être appliquée à Santorin qui semblait en offrir le type et qu'elle doit par conséquent être complètement abandonnée.

AFRIQUE.

CHOTTS. — M. Pomel (1) a étudié la géologie de la petite Syrte et de la région des Chotts tunisiens. Il a reconnu que le bassin des Chotts est encaissé entre des chaînes de hauteurs formées par le terrain *crétacé* à Inocérames. Quant à la partie déprimée du seuil de Gabès, elle est occupée par un remarquable ensemble de formations diluviennes, *quaternaires*, absolument dépourvues de fossiles marins et attestant la puissance que devaient avoir à l'époque quaternaire, les pluies de cette région. M. Pomel considère que l'ancienne pénétration de la mer dans les Chotts, où elle aurait formé le *Palus tritonidis*, est une hypothèse absolument démentie par les faits. D'ailleurs, pour atteindre la cote zéro dans le Chott Gharsa, il faudrait, d'après les derniers nivellements, aller jusqu'à 175 kilomètres du rivage actuel de la mer.

ZANZIBAR. — Une collection d'ammonites, recueillie par M. Hildebrandt et provenant de Mombassa, sur la côte de Zanzibar, a été étudiée par M. Beyrich (2). Ces ammonites se répartissent parmi les groupes des Heterophylli, Fimbriati, Inflati, Hybonoti et Planulati, ce dernier étant dominant. On y trouve une espèce très voisine d'Amm. Silesiacus, de Stramberg; il y a aussi trois autres ammonites déjà indiquées par M. Waagen dans le *jurassique* de l'Inde, et caractéristiques de la zone à Ammonites acanthicus.

MAURICE. — M. Power (3) a décrit la géologie de Maurice, l'ancienne île de France. Cette île se compose d'un plateau central, bordé par un mur incomplet de roches *volcaniques*, qu'entoure un récif *corallien ;* à l'extérieur est un banc de coraux vivants. L'île Gabriel est entièrement corallienne et les prétendus arbres fossiles qu'on y avait signalés sont dus à l'isolement de portions dures de roche à coraux, qui font saillie au-dessus de la masse. L'île Maurice était autrefois un volcan actif; depuis elle a été soulevée avec l'ancien récif qui l'entourait.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3] VI, 217.
(2) *Neues Jahrb.*, 1878, 976.
(3) *Geol. Society*, 20 fév. 1878.

ASIE.

ARMÉNIE. — M. Abich (1) a fait l'étude du *calcaire carbonifère* de l'Arménie. Dans la vallée de l'Araxe, près de Djoulfa, ce calcaire, qui consiste en carbonate de chaux, contenant seulement quelques centièmes de sable argileux, se montra très riche en fossiles, que M. Abich répartit en 4 groupes. Le 1er comprend les espèces connues qui, dans toutes les parties du monde, caractérisent le calcaire carbonifère inférieur ; elles appartiennent surtout aux céphalopodes, aux brachiopodes, aux polypiers. Le 2e réunit des formes nouvelles de brachiopodes, qui se rapprochent de celles qu'on connaissait déjà dans le calcaire carbonifère. Le 3e est représenté par un très grand nombre d'individus appartenant à un Productus nommé intermedius, qui semble être le précurseur du Productus horridus, si caractéristique du terrain du Zechstein.

Le 4e groupe comprend beaucoup de céphalopodes nouveaux, appartenant aux nautilides et aux ammonitides, qui, par les dessins de leurs lobes doivent être rapportés aux goniatites et aux véritables cératites; or, jusqu'à présent ces dernières étaient considérées comme caractéristiques du trias.

Comme l'observe M. Abich, sous le rapport de la faune, le terrain carbonifère de l'Arménie, qui est si spécial et si différent de celui de l'Europe, se rapproche au contraire de celui de l'Inde et de l'extrême Orient.

Les modifications qu'il présente dans sa faune sont analogues à celles qui ont été observées à Saint-Cassian et dans le trias des Alpes. Elles donnent un nouvel exemple de ces associations anormales qui réunissent des fossiles habituels d'un terrain, avec ceux qui sont considérés comme caractéristiques de terrains plus récents.

Relativement au terrain carbonifère, M. Abich observe en outre qu'il est stérile et ne contient pas de houille dans l'Arménie, non plus que dans tout l'isthme qui sépare la mer Noire de la Caspienne. Pour trouver du combustible minéral, il faut remonter jusque dans des grès et des psammites jurassiques, qui ont des empreintes de plantes et quelquefois de la houille. Dans ces régions, et même dans les montagnes de l'Elbrouz Persan, c'est donc dans les grès jurassiques que le combustible minéral doit être recherché.

(1) *Geologische Forschungen in den Kaukasischen Ländern*, 1re partie, 1878.

— En explorant l'Arménie Russe et les pays voisins, M. Abich (1) a encore observé dans la vallée de l'Araxe, sur le plateau de Karassu, à Tabriz et dans le bassin du lac d'Ourmiah, un ensemble de couches composé de conglomérats et de grès, recouverts par des marnes bigarrées contenant du gypse ainsi que du sel gemme. La couleur rouge de ces couches et leurs caractères minéralogiques sembleraient indiquer qu'elles appartiennent au trias ou même au vieux grès rouge; mais M. Abich a constaté, d'après l'étude de leurs fossiles, qu'elles se classent dans l'étage falunien, par conséquent dans le terrain *tertiaire moyen*. Il étend cette conclusion aux autres gîtes de sel gemme de l'Asie Mineure. Il pense d'ailleurs que la formation de ces gîtes doit plutôt être attribuée à la volcanicité qu'à une simple évaporation des eaux de la mer.

Dans ces mêmes régions, M. Abich s'est également occupé de l'étude paléontologique du terrain nummulitique qui se rencontre au-dessous du précédent.

Liban. — M. Lewis (2) a donné des détails précis sur les gîtes de poissons fossiles du Liban, dont il a recueilli une collection considérable, et renfermant des échantillons supérieurs à ceux qui ont été décrits par Pictet et Humbert. Les deux localités depuis longtemps connues sont Hâckel et Sahel Alma. M. Lewis en a découvert une troisième, Hazhûla, où se rencontrent Aspidopleurus cataphractus, Eurypholis Boissieri, Cyclobatis oligodactylus, etc.

INDE.

MM. Medlicott et Blanford viennent du publier un important ouvrage qui résume nos connaissances actuelles sur la géologie de l'Inde (*A manual of the geology of India*).

Un premier volume est spécialement consacré à la Péninsule de l'Inde; il décrit le terrain azoïque et métamorphique, le paléozoïque (Talchir, Damuda), le triasique (Panchet), le jurassique (Chari, Umia) et les trapps contemporains, le crétacé avec ses trapps (Cutch, Bâgh, Arialur, Deccan), le tertiaire comprenant la latérite des hauts niveaux, les lignites de la côte occidentale, le nummulitique (Cutch, Guzerat); le post-tertiaire se composant de

(1) *Das Steinsalz und seine Stellung in Russischen Armenien.* Acad. de Saint-Pétersbourg, VII, 1857.
(2) *Geol. Mag.*, 1878, 214.

la latérite des bas niveaux, des dépôts des cavernes ainsi que des dépôts anciens du Gange et les alluvions.

Dans le deuxième volume, MM. Medlicott et Blanford donnent la description de vastes régions qui entourent l'Inde et, autant que possible, ils font connaître le synchronisme de leurs terrains avec ceux de la Péninsule indienne et de l'Europe. Les régions explorées sont le Sind, le Punjab, l'Himalaya et même le Thibet, le Bas-Himalaya ainsi que les collines Sub-Hymalayennes, l'Assam et une partie de la Birmanie.

Des planches représentent d'ailleurs les fossiles animaux et végétaux qui sont les plus caractéristiques des terrains de l'Inde.

Enfin l'ouvrage est accompagné d'une carte à l'échelle de $\frac{1}{4.055.040}$, qui est très intéressante et qui a été dressée par le *Geological Survey* d'après les documents géographiques et géologiques les plus récents.

Gondwana, Kach. — M. Feistmantel (1) annonce que, dans le groupe de Kach, dont les céphalopodes, d'après M. Wagen, sont ceux de l'étage *jurassique supérieur*, la flore, au contraire, appartient au *jurassique moyen*. Dans le groupe de Jabalpur, dont la flore équivaut à celle de Kach, on trouve le genre *Glossopteris*, autrefois considéré comme paléozoïque. Or, ce genre a été retrouvé par M. Feistmantel dans le groupe de Kajmahal, que ses fossiles animaux rattachent au *lias*, et dans celui de Panchet, qui, par ses dicynodontes et ses labyrinthodontes, semble indiquer le *Keuper*. Du reste, Glossopteris se rencontre également dans l'Afrique méridionale, au milieu des couches de Karoo (*trias*) et en Australie, dans des couches houillères dépourvues de fossiles marins.

— M. Blanford (2) a contesté les assimilations que M. Feistmantel (3) avait cru pouvoir établir, d'après l'étude des plantes fossiles, entre les dépôts secondaires de l'Inde et ceux de l'Europe. Si l'on se bornait à ces seules analogies, il faudrait, selon M. Blanford, regarder la série inférieure de Gondwana, comme plus récente que le Gondwana supérieur. On peut dire que ce dernier étage correspond à peu près à l'ensemble du *jurassique* européen, tandis que le premier équivaut au *permien* et au *trias*; mais M. Blanford ne pense pas qu'on puisse aller plus loin.

(1) *Neues Jahrb.*, 1878, 809.
(2) *Geol. Survey of India*, XI, 1878. — *Geol. Mag.*, 1878, 315.
(3) *Revue de géologie*, XV, 155.

PUNJAB. — M. Wynne (1) a fait connaître la composition géologique du Punjâb supérieur. Le *cambrien* et le *silurien* paraissent représentés, ainsi que le *carbonifère*, où l'on a trouvé les plus anciennes ammonites jusqu'ici connues. Le *trias* est calcaire et dolomitique, avec Dicerocardium, Megalodon et Nerinæa. Les dépôts *jurassiques*, plus localisés, renferment des bélemnites, des ammonites et des sauriens. Les dépôts *crétacés*, dépourvus de fossiles, sont difficiles à distinguer du groupe *nummulitique*, où l'on trouve des schistes charbonneux et des gîtes de sel dépassant 800 mètres d'épaisseur. Le *miocène* et le *pliocène* sont d'une puissance énorme et renferment des fossiles terrestres ou marins.

SUMATRA. — M. Verbeek (2) a fait connaître, sur la côte ouest de Sumatra, l'existence d'une formation de schistes marneux avec poissons fossiles. D'après MM. Geinitz et von der Marck (3), ces poissons permettent de paralléliser les schistes de Sumatra avec les couches tout à fait supérieures du crétacé de Westphalie et de Syrie, et en même temps avec les couches à poissons de Monte Bolca. Ces schistes formeraient donc une zone de transition entre le *crétacé* et l'*éocène*.

Cependant M. Günther indique, parmi les poissons de ces schistes, plusieurs espèces qui vivent encore aujourd'hui dans les mers voisines.

JAPON.

L'exploration géologique du Japon se poursuit sous la direction de MM. Lyman et Munroe (4). Dans l'île de Yesso, la formation la plus ancienne est formée de quartzites *métamorphiques*, de schistes talqueux et quartzeux, de serpentines noires. Ces roches sont stratifiées, très contournées et dépourvues de fossiles.

La *série d'Horumui*, qui leur succède, se compose de grès et de schistes avec couches de houille. On y a trouvé des Ptychoceras et quelques Ammonites. Cette série appartiendrait, soit au sommet du *crétacé*, soit à la base du *tertiaire*.

Ensuite viennent les *roches volcaniques anciennes*, trachytes porphyriques avec feldspath vitreux, puis le groupe de *Toshibet*, formé de tufs et conglomérats, enfin les *roches volcaniques modernes* et les *alluvions*.

(1) *Geol. Society*, 20 fév. 1878.
(2) *Geol. Mag.*, 1878, 443.
(3) *K. K. g. R.* Vienne, 31 août 1876.
(4) *Reports of Progress*, etc., 1874 à 1877. Tokei.

— La formation *jurassique* existe également au Japon, où elle est représentée par un gisement de plantes fossiles, parmi lesquelles M. Geyler (1) a reconnu les genres Asplenium, Adiantites, Pecopteris, Zamites, Podozamites, Cycadeospermum et Gingko.

AUSTRALIE.

M. Tate (2) a annoncé la découverte d'une Salenia, S. tertiaria et d'une bélemnite, Bel. senescens, dans les couches tertiaires *miocènes* de l'Australie méridionale. La première trouvaille comble une lacune, dans nos connaissances, entre les salénies crétacées et la salénie vivante signalée par M. Wyville Thomson pendant l'expédition du Challenger.

AMÉRIQUE SEPTENTRIONALE.

La commission géologique d'exploitation des Territoires, sous la direction de M. Hayden, a publié le septième volume de ses mémoires, sur les plantes tertiaires de l'Ouest, ainsi qu'un grand atlas à la fois géologique et géographique, relatif au Colorado et aux territoires adjacents. Les cartes détaillées sont à l'échelle de 1 pouce pour 4 milles, soit à peu près $\frac{1}{250.000}$. La publication est accompagnée de vues panoramiques dans lesquelles il est fait un excellent usage du figuré, à la fois géologique et pittoresque, si heureusement adopté dans tous les travaux de la Commission des Territoires.

— M. Wheeler (3) a fait paraître un nouveau rapport sur l'exploration des États situés à l'ouest du centième méridien (Californie, Nevada, Nebraska, Utah, Arizona, Colorado, Nouveau-Mexique, Wyoming et Montana). Le volume contient un travail de M. Cope sur la géologie du Nouveau-Mexique, avec description de plusieurs mammifères nouveaux. En outre, M. Loew y donne une description géologique et minéralogique sommaire de diverses parties du Colorado et du Nouveau-Mexique.

— M. le professeur P. Lesley poursuit, avec le concours de divers savants, l'étude géologique de l'État de Pennsylvanie; et dans la première partie d'un rapport spécial, qui est relatif aux

(1) *Palæontographica. — Neues Jahrb.*, 1878, 975.
(2) *Quarterly Journal. Geol. Society*, XXXIII, 256.
(3) *Annual report*, etc. Washington, 1875.

trapps et aux roches azoïques de cet État, M. T. Sterry Hunt (1) a donné une histoire générale de l'ensemble des *roches présiluriennes*, tant en Amérique qu'en Europe. Ce travail nous parvenant tardivement, nous sommes obligé de nous borner à en faire mention.

GROENLAND.

Giesecke qui, de 1806 à 1813, a fait un séjour de huit années au Groenland, envoyait au gouvernement danois un journal très détaillé de ses nombreux voyages dans ce pays, alors très peu connu. Ce document si intéressant était resté enfoui dans les archives, mais il vient d'être publié par M. F. Johnstrup (2).

Un autre volume, qui a aussi été publié récemment, rend compte des recherches qui ont été faites de 1876 à 1879 sur la géographie et sur la géologie du Groenland. On y trouvera des cartes nouvelles dresssées par M. D. Jansen qui a exploré la glace continentale jusqu'à plus de 75 kilomètres de la côte; une *carte géologique*, relevée par M. A. Kornerup, qui comprend la partie de la côte occidendale entre Godthaab et Tiaïngnertok; enfin un résumé fait en français par M. F. Johnstrup, dans lequel il mentionne les recherches de MM. Steenstrup, Rink, Torell et autres savants. Il décrit notamment les caractères spéciaux à la *glace continentale* qui peut présenter des moraines formant des lignes arquées et provenant de moraines de fond ramenées à la surface.

GÉOLOGIE AGRONOMIQUE (*).

Classification des terres arables.

PAS-DE-CALAIS. — M. Pagnoul (3), dans le Pas-de-Calais, divise les terres arables en douze types qui sont basés sur la quantité de calcaire que les terres renferment, et aussi sur ce qu'il nomme leur *degré argileux*.

(1) *Special Report on the trap dykes and azoic rocks of Southern Pennsylvania*, 1re partie.

(2) Gieseckes : *Mineralogiske Raise i Gronland*, 1878. — *Meddeleser om Gronland*, 1879.

(*) Cette partie a été traitée par M. Delesse.

(3) *Station agricole du Pas-de-Calais. Compte rendu*, 1876.

Pour déterminer ce degré dans une terre, M. Pagnoul se sert d'un tube de légivation, ayant 1 centimètre carré de section et une longueur de 35 centimètres, qui est divisé en centimètres et en millimètres. D'abord on introduit, dans ce tube, 4 grammes de la terre à essayer avec une eau de source suffisamment calcaire. On agite vivement et on complète le volume de 20 centimètres cubes. On agite de nouveau et on laisse reposer pendant 10 minutes. Alors le liquide se divise nettement en une partie supérieure limpide et en une partie inférieure trouble. La longueur de cette dernière partie est d'autant plus grande que la terre est plus argileuse.

Ainsi, les terres sablonneuses donnent un nombre de millimètres moindre que 45; dans les terres à briques il y en a près de 100, et dans les argiles les plus fortes, on en trouve jusqu'à 200. Ces nombres lus sur le tube divisé en millimètres, représentent *le degré argileux* de la terre.

Le tableau suivant donne, pour le Pas-de-Calais, la définition des 12 types de terres arables proposés par M. Pagnoul, la proportion de carbonate de chaux qu'ils renferment et les notations par lesquelles on peut les représenter sur des cartes agronomiques :

NATURE DES TERRES.	CALCAIRE p. 100.	DEGRÉ au tube de légivation.	NOTATION adoptée.
Calcaire	100 à 70	200 à 0	C
Calcaire argileux	70 — 20	200 — 120	C A
Calcaire sablonneux	70 — 20	70 — 0	C S
Calcaire argilo-sablonneux	70 — 20	120 — 70	C A S
Argile	4 — 0	200 — 120	A
Argile calcaire	20 — 4	200 — 120	A C
Argile sablonneuse	4 — 0	120 — 70	A S
Argile sablonno-calcaire	20 — 4	120 — 70	A S C
Sable	4 — 0	45 — 0	S
Sable argileux	4 — 0	70 — 45	S A
Sable calcaire	20 — 4	45 — 0	S C
Sable argilo-calcaire	20 — 4	70 — 45	S A C

Influence du sol sur les cultures.

VERDUN. — M. Neucourt (1) a fait connaître la composition d'un grand nombre de terres végétales recueillies dans l'arrondissement de Verdun et dans le bassin de la Meuse; il indique en même temps les cultures qui leur sont habituelles. Voici les principaux résultats auxquels l'auteur est arrivé.

M. Neucourt divise les terres qu'il a examinées en 4 catégories qui sont basées uniquement sur l'orographie ; mais, d'après la

(1) *Société d'agriculture de l'arrondissement de Verdun*, 1878. (Extrait par M. Nivoit.)

carte de M. Buvignier et d'après les indications de M. Nivoit, nous ferons connaître les terrains auxquels ces terres sont superposées :

1° *Terres de côtes ou de plateaux*, reposant sur le coral-rag et le calcaire à astartes. Ces terres sont généralement fortes, argileuses, jaune-rougeâtres ; cependant l'auteur y réunit aussi des terres blanches ou grisâtres, argilo-sableuses, formées surtout aux dépens de couches argileuses intercalées dans le calcaire astartien. Comme les terres de plateaux s'égouttent difficilement, il est avantageux de les drainer. Le blé y vient bien, surtout dans les années sèches ; il en est de même de la luzerne ; les autres cultures réussissent moins bien. C'est sur ces terres que s'étendent les plus grandes forêts du bassin de la Meuse.

2° *Terres de versants*, qui, comme l'indique leur nom, s'étendent sur les pentes des côtes. La culture la plus intéressante à laquelle elles sont affectées est celle de la vigne, alternant avec celle des prairies artificielles. Aux environs immédiats de Verdun le vignoble comprend 500 hectares.

3° *Terres de vallées latérales*. — Les vallées de la rive droite de la Meuse sont creusées dans le corallien, et celles de la rive gauche dans le calcaire à astartes. On y trouve beaucoup de prairies, dont quelques-unes sont marécageuses.

4° *Terres de la vallée de la Meuse*. Le sol de cette vallée est formé en partie de débris vosgiens, en partie de débris des roches encaissantes appartenant au corallien. Il a une composition extrêmement variée, mais contient toujours en proportion suffisante tous les éléments nécessaires à la nutrition des plantes. Il se prête à presque toutes les cultures ; il est apte surtout à porter des prairies naturelles ou artificielles ; on y cultive également avec succès les céréales, notamment le blé et l'orge.

Le calcaire ne fait défaut dans aucune de ces terres. La magnésie y existe souvent en proportion plus considérable qu'on ne serait porté à le croire. L'acide phosphorique et la potasse présentent les variations suivantes, sur 100 parties de terre :

	ACIDE PHOSPHORIQUE.			POTASSE.		
	Minimum.	Maximum.	Moyenne.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.
Terres de plateaux	0,016	0,098	0,053	0,045	0,679	0,109
— de versants	0,051	0,945	0,166	0,010	0,109	0,054
— de vallées latérales	0,071	0,704	0,253	0,009	0,280	0,062
— de la vallée de la Meuse	0,038	0,424	0,168	0,030	0,665	0,326

Si l'on accepte la classification fixée par M. de Gasparin, on voit que les terres de plateaux sont pauvres en acide phosphorique, que les terres de versants sont moyennement riches, les terres de vallées latérales très riches et les terres de la vallée de la Meuse riches.

Quant à la potasse, les terres de la vallée de la Meuse en contiennent, en moyenne, une quantité beaucoup plus grande que les autres ; ce fait nous paraît d'ailleurs s'expliquer par la présence d'argile et de roches feldspathiques des Vosges, dans les alluvions de cette rivière. D'un autre côté les terres argileuses rougeâtres des plateaux sont également assez riches en potasse, dont elles ont en moyenne plus de 1 millième de leur poids.

Les matières organiques et l'azote font partie de la composition de ces terres dans les proportions moyennes suivantes :

	MATIÈRES organiques.	AZOTE.
Terres de plateaux	2,704	0,459
— de versants	1,895	0,332
— de vallées latérales	1,722	0,403
— de la vallée de la Meuse	2,880	0,700

Ce sont encore les terres de la vallée de la Meuse qui sont les plus riches sous ce rapport.

La chaleur spécifique de toutes ces terres a également été déterminée par M. Neucourt, et elle est donnée par le tableau suivant :

	MINIMUM.	MAXIMUM.	MOYENNE.
Terres de plateaux	0,2333	0,2830	0,2556
— de versants	0,2241	0,2726	0,2479
— de vallées latérales	0,2071	0,2766	0,2461
— de la vallée de la Meuse	0,2375	0,3229	0,2855

Les terres de la vallée de la Meuse sont celles qui possèdent le maximum de chaleur spécifique. Si l'on rapproche ce résultat des précédents, on comprend parfaitement leur supériorité sur les autres terres.

Meurthe-et-Moselle. — M. Braconnier (1), dans sa description géologique du département de Meurthe-et-Moselle, insiste sur ce fait que les divers compartiments géologiques forment autant

(1) *Description des terrains qui constituent le sol de Meurthe-et-Moselle*, avec figures et fossiles caractéristiques, et avec une carte géologique agronomique. — Nancy. - 1879.

de divisions naturelles au point de vue agricole; il établit que le sol arable est partout constitué par le mélange en proportions variables des terrains de l'étage géologique correspondant, des éboulis des formations supérieures et des alluvions anciennes.

Les alluvions anciennes sont formées des débris des divers étages géologiques renfermés dans le département même, enlevés par dénudation successivement et pendant une très longue période de temps et transportés par les eaux à une certaine distance; sur les points où les diverses sortes d'alluvions sont superposées, on les trouve toujours dans l'ordre suivant, de bas en haut :

1° *Grouine*, ou sable calcaire, formée par la destruction des terrains calcaires;

2° Terre rouge, avec minerai de fer en grains;

3° Argile sableuse, sable et galets quartzeux, provenant principalement de la décomposition des grès vosgien et bigarré.

La *grouine* se rencontre depuis les marnes supraliasiques inférieures jusqu'au calcaire astartien inclusivement. La terre rouge, depuis les mêmes marnes jusqu'aux calcaires calloviens exclusivement.

La troisième alluvion, qu'on peut désigner sous le nom d'alluvion vosgienne, se rencontre sur tous les terrains et forme des dépôts d'autant plus importants qu'ils sont plus rapprochés des montagnes des Vosges; plus on s'éloigne de ces montagnes, mieux on remarque que les dépôts de cailloux roulés sont toujours à proximité des principales rivières actuelles, tandis que les argiles sableuses, dont on trouve toujours des bancs intercalés dans les amas de cailloux roulés, ou superposés à ces amas, s'étendent à de grandes distances de ces rivières.

Par ce mode de formation, dit M. Braconnier, l'on s'explique pourquoi tous les étages géologiques renferment, en proportions variables, les trois sortes de sols arables que l'on distingue ordinairement : les terres fortes, les terres moyennes et les terres légères, dénominations basées sur la proportion d'argile contenue dans les sols.

M. Braconnier croit pouvoir réduire à peu près aux quinze types suivants les terrains qui, soit isolés, soit mélangés, constituent la terre végétale à la surface des divers étages géologiques dans le département de Meurthe-et-Moselle : a, argile; a^1, argile ferrugineuse ou *terre rouge*; a^2, argile sableuse; a^3, argile sableuse pauvre en acide phosphorique; a^4, argile très sableuse; b, marne argileuse; b^1, marne; b^2, marne riche en acide phosphorique; b^3, marne calcaire; b^4 marne dolomitique; c, sable; c^1, sable

argileux; c^2, sable argilo-ferrugineux; d, grouine et calcaires; d^1, calcaire magnésien. Selon M. Braconnier, la composition chimique de ces 15 types serait donnée dans le tableau ci-dessous :

	a	a^1	a^2	a^3	a^4	b	b^1	b^2	b^3	b^4	c	c^1	c^2	d	d^1
Eau et matières organiques	8	13	15	7	6	10	6	4	4	8	2	3	6	2	1
Sable et silice	14	28	42	48	62	14	34	34	17	17	88	74	54	3	2
Oxyde de fer	1	10	6	6	4	7	5	6	9	10	2	4	25	1	3
Carbonate de chaux	2	3	1	0,3	0,3	10	23	32	56	21	0,1	0,3	2	84	45
Carbonate de magnésie	0	0,6	0,2	0	0,1	0,6	1	0,4	0,2	9	0	0	0,1	0,2	28
Acide phosphorique	0,1	0,3	0,1	0,03	0,03	0,1	0,1	0,9	0,1	0,3	0,02	0,1	0,1	0,05	0,04
Argile	74	45	35	38	27	58	30	22	13	34	7	18	12	2	10

A l'aide du tableau de la page suivante, l'on peut se rendre compte, pour les différents étages géologiques, de l'influence que la composition du sol exerce sur les produits agricoles : pour plus de simplicité, M. Braconnier l'a dressé seulement pour les trois arrondissements de Lunéville, Nancy et Toul qui forment le corps principal du département de Meurthe-et-Moselle.

Les grandes lettres en tête des colonnes verticales désignent les étages géologiques successifs, à savoir : C, nouveau grès rouge; D, grès vosgien; E, grès bigarré; F, muschelkalk inférieur; G, muschelkalk supérieur; H, I, J, marnes irisées inférieures, moyennes, supérieures; K, infralias; L, lias; M, N, O, P, première, deuxième, troisième, quatrième parties des marnes supraliasiques; Q, bajocien; R, bathonien inférieur; S, bathonien moyen; T, bathonien supérieur et callovien; U, V, oxfordien inférieur, supérieur; W, corallien; X, astartien.

Ce tableau ne comprend pas les étages K, P, V, dont les affleurements sont toujours en très forte pente et généralement masqués par des éboulis.

	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	Q	R	S	T	U	W	I
a	»	»	»	»	0,10	0,15	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
a^1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,15	0,03	0,15	0,18	0,30	0,35	»	»	»	»
a^2	0,33	»	»	0,30	0,20	0,10	0,15	»	0,18	»	»	0,40	»	»	»	»	»	»	0,[illegible]
a^3	»	»	0,07	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,30	»	0,08	»
a^4	»	0,01	0,20	»	»	»	0,10	»	»	0,10	0,08	0,16	0,12	0,25	0,30	0,15	»	»	»
b	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,45	0,08	»	»	»	»	»	»	»	»
b^1	»	»	»	»	0,50	»	0,32	»	»	»	0,66	»	»	»	»	»	0,40	»	0,[illegible]
b^2	»	»	»	»	»	»	»	»	0,65	»	»	»	»	»	»	»	0,15	»	»
b^3	»	»	»	0,06	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
b^4	»	»	»	»	»	0,16	0,10	0,65	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
c	»	0,90	0,20	0,10	0,10	0,15	0,05	0,05	0,03	0,15	0,01	»	»	»	0,01	0,05	0,08	»	»
c^1	0,67	»	0,53	0,50	0,05	0,40	0,10	0,20	0,05	0,04	0,03	»	0,04	0,04	0,06	0,30	0,20	0,01	»
c^2	»	»	»	»	»	»	0,10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
d	»	»	»	0,04	0,05	»	»	»	0,10	0,10	0,10	0,30	0,66	0,41	0,28	0,20	0,08	0,88	0,[illegible]
d^1	»	»	»	»	»	0,04	0,08	0,10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
e	a^1	c	c^1	a^2	d	a	b^1	b^4	b^2	b	b^1	a^2	d	d	d	a^3	b^1	d	[illegible]
f	»	0.90	0,33	0,09	0,10	0,30	0,12	0,15	0.09	0,22	0,20	0,10	0,65	0,70	0,45	0,15	0,18	0,85	0,[illegible]
f^1	»	»	»	0,50	0.50	0,30	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,20	0.33	0,33	0,33	0,50	0,66	0,35	0,[illegible]
f^2	»	0,05	0.60	0,50	0.60	0,30	0,20	0,20	0,40	0,10	0,10	0,80	0,67	0,67	0,67	0,30	0,15	0,65	0,[illegible]
f^3	»	»	0.40	»	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	0,10	0,10	»	»	»	»	0,10	0,19	»	»
f^4	»	0,95	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
f^5	»	4,5	3	3	3	3	3	3	3,5	3,7	3,5	3,2	2,8	3.2	3	4,2	4,5	3,7	3,[illegible]
g	0,10	0,02	0.04	0.03	0,09	0,03	»	0,04	»	»	»	0,10	0,10	0,05	0,05	»	»	0,08	0,[illegible]
g^1	0,50	0,08	0,47	0,51	0,20	0,32	0,18	0,12	0,10	0,10	0,09	0,12	0,06	0,10	0,12	0,12	0,07	0,07	0,[illegible]
g^2	0,20	»	0,12	0,08	0.46	0,16	0.23	0,20	0,71	0,15	0,50	0,30	0,17	0,12	0,32	0,40	0,30	»	0,[illegible]
g^3	»	»	0,04	0,29	0,15	0,18	0,47	0,49	0,10	0,75	0,12	0,38	0,02	0,03	0,06	0,33	0,45	»	0,[illegible]
g^4	»	»	0,05	0,20	0,20	0,20	0,30	0,20	0,32	0,30	0,26	0,16	0,02	0,07	0,17	0,32	0,27	»	0,[illegible]
g^5	0,40	0,02	0,06	0,09	0,06	0,13	0,06	0,03	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02	»	0,01	0,[illegible]
g^6	»	0,01	0,11	0,19	0,10	0,13	0,17	0,15	0,20	0,14	0,18	0,12	0,08	0,05	0,14	0,19	0,23	0,03	0,[illegible]
g^7	0,20	0,02	0,18	0,24	0,21	0,21	0,17	0 09	0,16	0.19	0,16	0,02	0,01	»	»	0,11	0,18	0,2	0,[illegible]
g^8	»	0,03	0,03	0,08	0,16	0,05	0,09	0 09	0,12	0,07	0,09	0,05	0,05	0,08	0,09	0,02	0,04	»	0,[illegible]
g^9	0,30	0,02	0.20	0,05	0,06	0,04	0,06	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,01	0,05	0,06	0,08	0,02	0,[illegible]
h	10	9,5	9,5	9	11	12	18	17,5	13,7	15	15	16	14,5	17	11	16	17	8	9
h^1	13	»	11,7	15	23	18	28	21	29	23,7	18	24	25	23	26,5	19,5	22	»	[illegible]
h^2	»	»	10.5	11	9,5	9	12	18,5	13.3	16	13	17	16	27	18	11	14	»	[illegible]
h^3	11	9,5	9,7	10,6	17,8	12,6	17,4	19	25,6	22	17,2	19,5	21,5	21	21	16	17,2	8	11
K	»	»	11	12 5	16	12	11,5	12,9	16	12	13,5	11,5	10,5	11	8,5	10	16	»	[illegible]
K^1	12	10,5	12	11	11,5	11	10,5	12,7	11,5	12	11,5	11,2	9,5	9,5	8,5	9	8	9,5	9
K^2	»	8,5	12	9,5	8	8	9	10,5	10,7	10	10	10,5	9,5	9,6	8	10	9	9,5	[illegible]
K^3	35	34	32	30	35	32	35	33	40	40	25	27,5	27,5	27,5	22	31	32	»	[illegible]
K^4	»	39	45	43	52	40	40	40	55	43	31	43	35	41	30	52	40	35	15
K^5	150	130	125	125	115	115	140	130	150	142	137	142	125	100	85	85	130	110	90

Les petites lettres qui commandent les lignes horizontales, ont les significations que nous allons indiquer : a, a^1, a^2, a^3, a^4, b, b^1, b^2, b^3, b^4, c, c^1, c^2, d, d^1, désignent respectivement les proportions approximatives dans lesquelles, suivant M. Braconnier, les divers terrains, définis précédemment, entrent dans la composition moyenne de la terre végétale; e, la nature du sous-sol ; f, la superficie relative plantée en forêts ; f^1, f^2, f^3, f^4 les proportions respectives de chênes, hêtres et charmes, bois blancs, arbres résineux dans les forêts ; f^5, le rendement annuel moyen des forêts en mètres cubes par hectares ; g, la surperficie relative en friches et pierriers ; g^1, g^2, g^3, les superficies relatives en terres légères, moyennes et fortes ; g^4, g^5, g^6, g^7, g^8, g^9, les superficies relatives cultivées en blé, seigle, orge et avoine, prairies naturelles, prairies artificielles, pommes de terre ; h, h^1, h^2, le prix moyen en francs de l'are de terres

légères, moyennes et fortes ; h^3, le prix moyen de l'are de terre en général ; k, k^1, k^2, k^3, k^4, k^5, les rendements moyens de l'are en kilog. pour le blé, le seigle, l'orge et l'avoine, les prairies naturelles, les prairies artificielles, les pommes de terre.

On voit, par ce tableau, que, d'un étage géologique à un autre, les conditions générales de la culture sont en rapport avec la composition minéralogique des roches. En thèse générale, les terrains pour lesquels la proportion de forêts est la plus faible, celle de blé la plus forte et les chiffres de rendements les plus élevés sont ceux constitués par des marnes, renfermant une proportion notable de calcaire intimement divisé ainsi que d'acide phosphorique, et la fertilité augmente avec la proportion de ces deux dernières substances.

Parmi ces divers terrains l'on remarque surtout le lias L où le prix moyen de l'hectare de terre cultivable atteint la valeur maximum de 2.500 francs et pour lequel tous les chiffres concordent en indiquant un maximum de fertilité. Ce lias est formé d'alternances de bancs minces de calcaires argileux, riches en acide phosphorique, et de marnes riches en calcaire et en acide phosphorique; il possède la compacité suffisante pour retenir l'humidité : il est en même temps assez perméable pour rendre tout drainage inutile. Il est bon de rappeler d'ailleurs que ce terrain du lias est pourvu de potasse ; qu'il peut renfermer comme dans les Vosges et l'Auxois des gisements de nodules de phosphate de chaux et enfin qu'il est fertile dans toute la France.

En groupant entre eux les étages géologiques qui présentent le plus d'analogie au point de vue agricole, M. Braconnier observe qu'on retrouve très bien les grandes divisions naturelles de la géographie physique dans le département de Meurthe-et-Moselle, à savoir, en allant de l'Est à l'Ouest :

1° La *Montagne*, formée par le grès vosgien et occupée par les forêts de sapins ;

2° La *Plaine*, formée par les étages successifs depuis le grès bigarré jusqu'aux marnes supraliasiques, consacrée à la culture des céréales et présentant deux maximums remarquables de fertilité. L'un dans le muschelkalk supérieur l'autre dans le lias : il est à remarquer que c'est dans deux étages géologiques qui sont argilo-calcaires, pourvus de potasse et en outre riches en acide phosphorique ;

3° La *Haye*, grand plateau formé par les calcaires de l'oolithe inférieure et consacré à la culture des forêts de hêtres, chênes et charmes ;

4° La *Woèvre*, grande plaine argileuse, consacrée à la culture des céréales et formée par les étages situés à la base de l'oolithe moyenne;

5° Les *Plateaux de Toul*, qui sont constitués par les calcaires corallien et astartien et sont occupés par des forêts analogues à celles de la Haye (1).

NORWÉGE. — D'après le Dr Broch, en Norwége, lorsque le schiste argileux s'émiette facilement, il produit de bons pâturages dans les montagnes, et dans les vallées il donne une terre favorable à la culture des grains. Cette terre est surtout fertile quand le schiste se trouve accompagné de calcaire.

Le quartzite donne, au contraire, une terre maigre et stérile qui naturellement doit être très pauvre en argile.

Influence du sol sur la composition des cendres des végétaux.

M. H. Le Châtelier a fait l'analyse des cendres de divers végétaux, provenant du Sahara algérien, qui se sont développés dans la région des Chotts, sur un sol formé de grès gypseux.

La proportion des cendres est en général notablement supérieure à celle que l'on obtient dans nos climats. En effet, pour le Zeïta (Limoniastrum Guyonianum), on en a trouvé dans l'écorce 8,2 p. 100; dans le bois, 5,6 p. 100; et dans la racine, 3 p. 100. Dans le bois du Dhomrân (Traganum nudatum), la proportion des cendres est de 4,1 p. 100.

Quant à la composition de ces cendres, les deux analyses suivantes la font connaître : A se rapporte au bois du Zeïta, et B au bois du Dhomrân.

	SiO^2	CaO,SO^3	CaO,CO^2	NaCl	NaO,CO^2	KO,CO^2	PhO^5	Fe^2O^3	MgO
A	7,8	71,0	13	0,5	3,0	1,2	2,0	1,0	1
B	12,2	7,5	59	3,3	6,8	2,5	3,2	2,5	3

Les analyses des cendres de ces deux arbustes des Chotts accusent une teneur en sulfate de chaux qui peut être très forte; il y a donc une relation évidente entre la nature des cendres et celle du sol, qui est gypseux. D'un autre côté, on trouve peu de chlorure de sodium, bien qu'il y en ait dans les eaux souterraines, qui sont salées; mais conformément à une observation de M. Nolte, on sait

(1) Relativement à l'arrondissement de Toul, voir la carte agronomique de M. Eugène Jacquot et le texte qui l'accompagne.

qu'une partie du chlore est éliminée par volatilisation, lorsque les cendres d'un végétal sont acides par l'acide phosphorique. En somme, les alcalis sont en très faible quantité dans ces arbustes des Chotts, et même la potasse peut y exister seulement à l'état de traces.

Comparaison du sol et du sous-sol.

METTRAY. — M. Leclerc (1), directeur du laboratoire agronomique de la colonie de Mettray, a fait l'analyse du sol et du sous-sol pris dans le terrain d'expériences. Tous deux appartiennent au limon des plateaux recouvrant le calcaire lacustre de Mettray. Les résultats suivants ont été obtenus en traitant les échantillons par l'acide azotique bouillant :

	Résidu insoluble.	CO^2	PhO^5	Al^2O^3 et Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	Eau volatile au rouge et matières organiques.	Eau volatile à 110°.	Somme.
A	87,63	0,26	0,09	3,38	0,38	0,01	0,02	6,17	2,06	100,00
A'	87,00	0,18	0,07	4,59	0,27	0,07	0,11	2,31	5,40	100,00

L'échantillon du sous-sol a été pris à la profondeur de $0^m,35$. Il est à remarquer que sa composition est très voisine de celle du sol; il a toutefois une richesse un peu plus grande en potasse, en magnésie, en alumine et fer.

AUBE. — Des terres végétales, recueillies par M. de Cossigny dans différentes localités du département de l'Aube, ont été analysées au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, sous la direction de M. L. Durand-Claye.

A Terre végétale prise à Lusigny. — A' Sous-sol de la terre précédente, reposant sur un diluvium ancien d'origine jurassique.

B Terre végétale d'un champ attenant à la ballastière de Saint-Julien près Troyes. — B' Sous-sol de la terre précédente, formé par une alluvion crayeuse, reposant sur le gravier de la Seine, à Eléphas primigenius et à silex taillé.

(1) *Bulletin de la société des agriculteurs de France*, 1878.

	A		A'		B		B'	
1° PRODUITS VOLATILS OU COMBUSTIBLES.								
Eau	3,00		5,05		3,35		3,15	
Azote	0,11		0,04		0,16		0,08	
Autres produits	3,49		3,43		6,99		8,37	
Total	....	6,60	....	8,52	....	10,50	....	11,60
2° CENDRES.								
Résidu insoluble dans les acides	68,18		29,64		45,82		33,36	
Alumine et peroxyde de fer	13,80		8,39		7,60		7,97	
Chaux	7,28		32,57		22,20		29,29	
Magnésie	0,47		0,73		0,80		0,79	
Acide phosphorique	0,12		0,12		0,09		0,17	
Potasse	0,03		0,01		0,03		0,03	
Acide carbonique et produits non dosés	3,52		20,02		16,89		16,89	
Total	....	93,40	....	91.48	....	93,43	....	88,50
Totaux		100,00		100,00		103,93		100,10

On voit que le sol a moins de carbonate de chaux que le sous-sol; d'un autre côté, il contient plus d'azote : dans les acides, il laisse un résidu insoluble beaucoup plus grand, et plus riche en parties siliceuses. Ces résultats s'expliquent facilement et s'accordent avec ceux obtenus déjà pour des terrains agricoles analogues.

Effets nuisibles résultant du lavage de matières minérales.

Le débourbage et le lavage des minerais de fer, du kaolin, et en général des matières minérales, produisent dans les cours d'eau des effets qui sont nuisibles aux poissons et aux terres cultivées riveraines. Ces effets s'observent, même lorsqu'on opère le lavage des minerais de chaux phosphatée. On peut se demander toutefois s'ils doivent être attribués à ce que la composition chimique des eaux se trouve altérée; c'est en particulier ce que M. L. Durand-Claye a cherché à reconnaître pour le lavage du kaolin de la mine des Colettes (Allier).

Dans ce but, il a analysé l'eau du ruisseau le Belon, près du point où se fait le lavage du kaolin des Colettes (I) et à une distance de 11 kilomètres avant son embouchure dans la Bouble (II).

	Résidu resté sur le filtre, par litre.	RÉSIDU DE LA FILTRATION, en centièmes.					Résidu de l'évaporation de l'eau filtrée, par litre.	RÉSIDU de l'évaporation.		
		Partie argileuse insoluble.	Al^2O^3 et Fe^2O^3	CaO	Perte et produits non dosés.	Somme.		CaO	Produits non dosés.	Partie insoluble
I	221g,80	88,30	0,55	traces	11,15	100,00	0,188	0,082	0,083	0,023
II	0 ,43	78,85	2,85	fortes traces	18 30	100,00	0,090	0,050	0,021	0,019

Comme cela devait être, le kaolin tenu en suspension dans l'eau de lavage diminue rapidement à mesure qu'on s'éloigne; et, par suite du départ qui s'est opéré, le kaolin, très fin, qu'on recueille à 11 kilomètres, est beaucoup plus attaquable par les acides que celui qui est pris à la sortie immédiate du lavoir.

Quant à la composition chimique de l'eau, elle est certainement modifiée par le lavage ; toutefois, dans le lavage du kaolin, les matières minérales qui sont dissoutes ne dépassent pas la proportion de celles qu'on trouve dans les bonnes eaux potables.

Il est donc naturel de penser que le dommage causé aux végétaux et aux animaux, par l'eau ayant servi au lavage du kaolin des Colettes, doit surtout être attribué à l'obstruction de leurs pores par les parcelles argileuses maintenues en suspension.

Cartes agricoles et géologiques agronomiques.

ÉDIMBOURG. — M. Ralph Richardson a dressé une carte agricole du comté d'Édimbourg. Comme pour la carte agricole de la France publiée précédemment (*Revue de géologie*, XIII, 185) et pour celle de Seine-et-Marne, c'est le revenu moyen donné par chaque culture pendant une année, qui a servi de base, et des couleurs différentes avec teintes dégradées en montrent la répartition. Le revenu moyen varie d'ailleurs beaucoup, ce qui tient aux inégalités que présente la composition minéralogique du sol et surtout à l'orographie très accidentée du comté d'Édimbourg. A la carte est jointe une notice, résumant les données principales relatives à la géologie, à la météorologie, ainsi qu'à l'agriculture du comté d'Édimbourg.

SEINE-ET-MARNE. — Dans l'exécution de la carte agronomique du département de Seine-et-Marne, M. Delesse s'est basé surtout sur le revenu des terres. Chacune des cultures est représentée par une couleur conventionnelle distincte; les nuances sont d'autant plus foncées que le revenu est plus considérable.

Les chiffres exprimant dans chaque commune le revenu moyen ont permis, en ayant égard à la nature physique et minéralogique du sol, aussi bien qu'à son relief, de tracer les courbes limitant les terres pour lesquelles le revenu reste le même.

D'un autre côté, comme la composition minéralogique de la terre végétale exerce une grande influence sur sa fertilité, il fallait compléter les recherches précédentes par son étude. Dans ce but, l'on a pris des échantillons de terre végétale sur toute l'éten-

due du département. Après les avoir fait dessécher, on en soumettait d'abord un poids déterminé à la lévigation. Le résidu donnait par son poids la proportion de sable ou de gravier contenu dans la terre. Son examen à la loupe permettait d'en déterminer la composition minéralogique.

Enfin l'essai de la terre végétale par un acide faisait reconnaître si elle contenait ou non du calcaire.

Voici les principaux résultats auxquels ces recherches ont conduit M. Delesse.

Le calcaire manque généralement sur le haut des collines, ainsi que sur les terrasses qui bordent la Seine ou la Marne. Le terrain de transport qui recouvre le plateau de la Brie n'en contient que lorsque le calcaire de Brie se rencontre lui-même à une faible profondeur. On en trouve dans la terre végétale qui s'étend sur les flancs des collines calcaires, notamment lorsque ces collines sont formées par de la craie et par des calcaires friables ou marneux.

L'argile, en y comprenant la silice impalpable, constitue la plus grande partie de la terre végétale dans le département de Seine-et-Marne. Il y en a beaucoup dans l'arrondissement de Meaux et sur tout le plateau de la Brie.

Le sable est habituellement l'élément dominant de la terre végétale vers le S.-O. du département et dans toute la région occupée par les Sables supérieurs ou de Fontainebleau. Il en est de même vers l'affleurement des sables moyens ou de Meaux. En outre, le long du terrain diluvien de la Seine et de la Marne, la terre végétale devient sableuse ou même graveleuse.

— Sous le rapport de la fertilité, les terres présentent de grandes inégalités dans toute l'étendue du département de Seine-et-Marne. Très fertiles dans l'arrondissement de Meaux, aux environs de la Ferté-sous-Jouarre, de Melun, de Provins et de Donnemarie, elles ne donnent qu'un faible revenu dans une partie de l'arrondissement de Fontainebleau.

Les terres arables sont généralement meilleures sur les plateaux que dans les vallées. Il faut surtout citer celles qui, étant limoneuses et d'une grande épaisseur, reposent sur un sous-sol facilement perméable. Telles sont les terres du Mesnil-Amelot, de Juilly, de Charny, qui sont superposées à des calcaires lacustres perméable, en sorte que leur drainage s'opère spontanément.

Généralement, les terres marneuses ou marno-sableuses sont de bonne qualité; celles de Vareddes, déposées près des bords de la Marne, qui entretient toujours leur humidité à un degré convenable, ont même une fertilité exceptionnelle.

Quand les terres deviennent très graveleuses ou très sableuses, elles sont habituellement de qualité médiocre. Ainsi, on voit le revenu diminuer autour des collines de sable de Fontainebleau. Une grande proportion de sable tend donc à diminuer la fertilité d'une terre, et les zones de faible revenu sont souvent en rapport avec les zones de sable.

Les terres qui contiennent du calcaire sont assez généralement de bonne qualité; mais des terres qui en sont dépourvues appartiennent cependant aux meilleures du département. Telles sont celles de Juilly et du Mesnil-Amelot, dans lesquelles ce défaut est du reste corrigé par le marnage.

En résumé, la carte agronomique de Seine-et-Marne permet de comparer le revenu des terres arables, des vignes, des prés, des bois, et elle montre comment la fertilité du sol varie dans toute l'étendue du département. Elle donne aussi des notions sur la terre végétale, indiquant si elle contient du calcaire et quel est le résidu de sa lévigation. Enfin elle permet d'apprécier les rapports qui existent entre les caractères physiques ou chimiques de la terre végétale et la constitution géologique du sol.

Prusse. — D'après les ordres du Ministre des travaux publics de la Prusse, M. le professeur G. Berendt vient de publier 9 cartes géologiques agronomiques, qui sont accompagnées chacune d'un texte, et qui font connaître la région au nord-ouest de Berlin. Ce grand travail, commencé par von Benningsen-Förder, a été continué par M. G. Berendt avec le concours de M. le professeur Orth, secondé, pour la partie chimique, par MM. Laufer, Dulk, Wahnschaffe, et par l'ingénieur des mines E. Schulz.

La carte topographique qui a servi de base aux recherches géologiques et agronomiques, est celle levée par l'État-Major prussien en 1868. Son échelle est de $\frac{1}{25.000}$.

Les cultures permanentes, telles que les forêts, les prairies, les jardins, y sont représentées au moyen de la gravure.

Le relief du sol y est figuré par des hachures et de plus par des courbes horizontales, espacées de 15 en 15 pieds. Il y a aussi un grand nombre de cotes du sol qui sont également exprimées en pieds.

La région comprise dans les cartes publiées jusqu'à présent, s'étend au nord-ouest de Berlin, entre les villes de Spandau, Oranienburg, Cremmen et Nauen. L'étude de son orographie apprend que l'altitude, au-dessus du niveau de la Baltique, y varie de 105 à 135 pieds; et la courbe à l'altitude de 120 pieds, y marque à peu près la limite du diluvium avec l'alluvium.

Comme le professeur Girard l'a fait remarquer, les trois grands fleuves qui arrosent cette région, l'Oder, l'Elbe et la Vistule, étaient autrefois réunis et formaient un même système fluvial.

L'étude géologique montre que le sol appartient exclusivement au terrain quaternaire, dans lequel on a distingué le diluvium et l'alluvium. De nombreuses subdivisions y ont d'ailleurs été établies et elles sont résumées dans le tableau suivant :

Alluvium moderne.

En alternances diverses. { Tourbe et terre de marais. Minerai des prairies. Marne des prairies. Terre à infusoires. Lehm des rivières. Sable des rivières. Gravier des rivières. Cailloux des rivières. } Sable des dunes. Éboulements et dépôts sur les pentes.

Alluvium ancien.

Sable des vallées représentant du sable des Landes.

Diluvium supérieur.

A blocs pyramidaux (Dreikantener).

a recouvrant *b* ou l'un de ces dépôts remplaçant l'autre, sans toutefois qu'il y ait alternance. { *a*. Sable diluvien supérieur (Decksand, Geschiebesand) avec gravier et couches de cailloux roulés. *b*. Marne diluvienne supérieure (Lehmmergel), avec un recouvrement de Lehm.

Diluvium inférieur.

Avec Paludina diluviana et cailloux souvent striés.

En alternances multiples. { Sable diluvien inférieur. { Sable du Nord ou sable diluvien ordinaire (Spathsand) Sable micacé. Sable brun. Marne diluvienne inférieure (Schluffmergel). Marne diluvienne argileuse, sans cailloux, mais pouvant passer à une marne sableuse. Gravier diluvien, cailloux et blocs.

La carte d'état-major de Prusse ayant déjà un dessin topographique assez compliqué, pour parvenir à y représenter à la fois la géologie et l'agronomie, il était nécessaire d'avoir recours a des notations bien méthodiques.

En ce qui concerne la géologie, l'alluvium moderne est laissé en blanc; l'alluvium ancien est représenté en vert pâle ; le diluvium supérieur en jaune clair ; le diluvium inférieur en gris. Dans l'ensemble, ces teintes sont d'autant plus foncées que le dépôt correspondant est plus ancien,

Les subdivisions de ces 4 étages sont ensuite distinguées entre elles par des signes qui ont été choisis, de manière à indiquer la nature minéralogique des dépôts. Ainsi, des hachures noires, inclinées, plus ou moins espacées, ou interrompues, figurent l'argile; pour le calcaire, ces hachures sont bleues. Les dépôts sableux sont représentés par des points. Aux formations riches en humus correspondent des petits traits horizontaux.

Grâce à ces diverses notations, il devient possible de distinguer, avec un peu d'habitude, les nombreux dépôts désignés dans la légende géologique donnée précédemment, et de connaître même en partie, leur composition minéralogique.

Les dépôts meubles qui garnissent les pentes et les dépôts d'éboulements ont tous été représentés par la même couleur; on sait toutefois que leur composition minéralogique est très variable et qu'elle dépend de celle des roches voisines dont les débris ont contribué à former ces dépôts.

M. G. Berendt donne dans son travail une description pétrographique des divers dépôts qui constituent le terrain quaternaire. Il résume les résultats de leur analyse chimique, exécutée spécialement au point de vue agronomique, c'est-à-dire en recherchant les substances que l'agriculteur a surtout intérêt à connaître.

Les données relatives à l'agronomie ou à la *Pédologie*, pour employer l'expression allemande, ont été représentées d'après la méthode de M. le professeur Orth.

Sur un grand nombre de points de la carte, on a dressé des profils agronomiques destinés à faire connaître le sol ainsi que le sous-sol. Ces profils sont résumés par des légendes, imprimées en rouge, afin de les rendre bien visibles. La nature minéralogique y est indiquée par des lettres conventionnelles, qu'on réunit 2 à 2 ou 3 à 3, suivant qu'elle est plus ou moins complexe.

On distingue dans les couches celles qui sont sableuses, graveleuses, argileuses, calcaires, humifères et aussi celles qui résultent des combinaisons de ces divers éléments.

A la suite des légendes algébriques, donnant la composition minéralogique des couches, l'épaisseur de ces couches est exprimée en décimètres.

Pour un même point, les légendes de chaque couche se succèdent dans l'ordre naturel de superposition; elles sont seulement séparées l'une de l'autre par un trait.

Comme les légendes algébriques représentant les profils agronomiques paraissent un peu vagues, lorsqu'on n'est pas habitué à les lire, on a figuré les principaux de ces profils, sur la marge gauche de la carte, en employant les couleurs, ainsi que les lettres et les signes conventionnels qui font connaître à la fois la nature minéralogique et géologique des diverses couches.

M. Berendt signale spécialement les modifications que le sol éprouve par suite de l'action des eaux atmosphériques. Ainsi, dans la région qu'il a étudiée au nord-ouest de Berlin, lorsque le sol est formé par la marne diluvienne sableuse, cette dernière perd son calcaire par ablation, en sorte que le sol passe d'abord à une argile sableuse ou à un lehm qui est fortement coloré par de l'oxyde de fer. D'un autre côté, selon M. Berendt, le sol perd une partie de son argile que les eaux atmosphériques entraînent avec elles en s'y infiltrant, en sorte qu'il passe ensuite à un sable argileux (Lehmiger Sand).

L'épaisseur de la couche de lehm superposée à la marne diluvienne est très inégale ; mais elle paraît d'autant plus grande que la marne diluvienne sous-jacente a été dépouillée de son calcaire jusqu'à une plus grande profondeur. Divers savants ont déjà donné une explication analogue des différences que présentent, dans leurs caractères minéralogiques, les couches se trouvant près du sol et au-dessous de la terre végétale.

En résumé, par la méthode suivie par MM. G. Berendt et Orth, il est possible, en se livrant à de patientes recherches et en employant des aides pour l'exécution du travail, de représenter, sur une même carte, les principales données qui intéressent à la fois la géologie et l'agronomie ; on parvient alors à dresser une *carte géologique agronomique*.

La même méthode peut d'ailleurs être avantageusement employée pour l'étude spéciale d'un domaine agricole.

CINQUIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE DYNAMIQUE.

ATMOSPHÈRE.

Variations de l'acide carbonique dans l'air, pendant les différents mois de l'année.

D'après les recherches de M. A. Lévy (1), la quantité d'acide

(1) *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*, 1879.

carbonique contenue dans 100 mètres cubes d'air est en moyenne de 32lit,7 pour une année ; mais un écart, en plus ou en moins, s'observe pendant les divers mois, comme le montre le tableau suivant dans lequel l'année commence en septembre 1877 :

Septembre 1877.	Octobre.	Novembre.	Décembre.	Janvier 1878.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.
+4lit,7	−5,8	−1,9	+1,7	+0,6	+0,8	−0,5	+0,4	+3,2	+2,4	+1,5	+2,3

En définitive, la moyenne est seulement de 31,2 pendant le semestre froid, tandis qu'elle s'élève à 34,2 pendant le semestre chaud. De plus, le *minimum* est atteint en octobre et le *maximum* en mai.

Poussières de l'atmosphère.

D'après M. A. Lévy (1), les poussières d'origine minérale sont très nombreuses dans l'atmosphère ; elles renferment toujours du charbon, du silex, des sels terreux, alcalino-terreux et alcalins ; en outre, contrairement à l'opinion de quelques auteurs, elles contiennent des cristaux possédant des formes géométriques parfaites. Une espèce très fréquente paraît appartenir au 5e ou au 6e système cristallin. Parmi les granules de fer météorique, dont l'existence ne semble pas douteuse, on observe aussi des sphérules noires, non attirables à l'aimant. Ces dernières paraissent appartenir à la classe de ces substances qui adoptent par sublimation ou précipitation une forme parfaitement sphérique ; elles ne doivent pas être confondues avec les microbes de nature organisée dont elles affectent la forme.

Boulogne-sur-Mer. — M. G. Tissandier (2) a analysé une pluie de poussière, grise, farineuse, tombée à Boulogne-sur-Mer, le 9 octobre 1876 :

SiO^2	Al^2O^3 (*)	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Substances organiques.	Résidu.	Somme.
55,21	1,84	30,57	2,21	9,75	0,45	100,00

(*) Traces de Fe^2O^3.

L'examen microscopique montre que les substances organiques

(1) *Comptes rendus*, LXXXIII, 1184.
(1) Marié-Davy : *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*, 1877.

de cette poussière sont formées de débris d'algues, et les substances inorganiques de parcelles de quartz et de calcaire, ayant 0,02 à 0,03 millimètres de diamètre.

Différences dans la flore sur les deux versants d'une chaîne de montagnes.

MONTAGNES-ROCHEUSES. — D'après le Dr Gray et sir J. Hooker, dans l'Amérique septentrionale, les flores humides du versant de l'Atlantique et du versant du Pacifique diffèrent complétement l'une de l'autre, non seulement sous le rapport des espèces, mais aussi sous celui des genres.

La flore des Montagnes Rocheuses est également distincte des deux précédentes; cependant elle renferme quelques types de la région orientale et un plus grand nombre encore appartenant à la région occidentale.

Ces grandes différences entre la flore des deux versants d'une chaîne de montagnes montrent bien que des dépôts, renfermant des plantes fossiles distinctes, peuvent parfaitement être synchroniques.

Composition de l'eau de pluie.

MONTSOURIS. — L'analyse chimique des eaux météoriques tombées durant l'année météorologique 1877-1878, a été faite par M. Albert Lévy (1) avec le concours de M. P. Allaire. On sait que divers chimistes se sont déjà occupés de ces analyses, particulièrement M. J. A. Barral.

Les nouvelles recherches ont porté surtout sur l'azote ammoniacal, sur l'azote nitrique et sur les matières organiques; ces dernières étant calculées d'après le poids d'oxygène employé pour les brûler à 100°.

Toutes ces substances ont été évaluées en milligrammes et se rapportent à la quantité de pluie tombée sur un mètre carré:

	Hauteur de pluie.	Ammoniaque.	AzO^5	Oxygène employé à brûler les matières organiques.
Saison froide 1877. .	227mm,4	514,5	361,0	505,0
Saison chaude 1878.	372 ,7	881,2	194,2	937,7
Somme. . .	600mm,1	1.395,7	555,2	1.443,2

La proportion d'ammoniaque varie avec les saisons et avec les années; elle diminue loin des grandes villes. La matière organique

(1) Marié-Davy : *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*, 1879.

varie d'un mois à l'autre, sans suivre une loi uniforme dans les années successives; cependant la moyenne générale reste à peu près la même chaque année.

Quant au poids d'acide nitrique, il comprend non seulement l'acide nitrique des nitrates dissous dans l'eau, mais l'acide nitreux des nitrites transformés en nitrates, en même temps que les matières organiques sont brûlées par le permanganate de potasse.

TOSCANE. — M. Bechi (1) a fait également des recherches en 1872 sur les quantités d'ammoniaque et d'acide nitrique contenues dans les eaux de pluie. Elles ont eu lieu comparativement à Florence et à Vallombrosa, station des Apennins Toscans qui est située à 957 mètres au-dessus de la mer.

La quantité de pluie tombée a été rapportée à un hectare et exprimée en mètres cubes.

	Florence.	Vallombrosa.
Pluie	12.909 mèt. cubes	20.278 mèt. cubes
Ammoniaque. . . .	12.917 grammes	10.433 grammes
Acide nitrique. . .	13.057 —	11.726 —

100 litres d'eau de pluie recueillis dans un jardin situé dans la partie la moins peuplée de Florence, ont donné par évaporation un résidu de 4g,123 dont la moitié consistait en matières organiques et sels ammoniacaux, un quart en gypse et sel marin.

Augmentation du chlore dans l'eau de pluie au voisinage de la mer.

M. Pagnoul (2) a constaté que la quantité de chlore se trouvant dans l'eau de pluie, augmente beaucoup lorsqu'on se rapproche de la mer. Ainsi, l'eau de pluie recueillie à Boulogne, contient dix fois plus de chlore que celle qui tombe à Arras.

Influence de la pluie sur les sources.

M. Meurdra (3) a constaté, conformément aux règles formulées par Belgrand, que les pluies des mois de juin, juillet et août sont sans influence sur le débit des sources de la région havraise. Ces sources, retenues par le gault ou la gaize, mettent de quarante-cinq à cinquante jours pour ressentir l'influence d'une pluie de la saison froide. En outre, l'écoulement de l'eau fournie aux sources

(1) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873, 186.
(2) *Station agricole du Pas-de-Calais*, compte rendu pour 1875.
(3) *Association française*, 1877, 467.

par les pluies des hivers les plus humides, tels que ceux de 1867 et de 1873, dure au moins trente mois. En général, le débit total des sources, à un moment donné, comprend les contingents fournis par deux hivers, dont un croissant et un décroissant. M. Meurdra a comparé le débit des sources avec les hauteurs pluviométriques : les deux séries de chiffres ne sont pas concordantes, et, selon lui, l'explication des anomalies exige qu'on fasse entrer en ligne de compte l'existence, dans le terrain crayeux, de réservoirs qui peuvent se vider brusquement quand certains siphons sont amorcés.

Fontaine de Vaucluse. — Des observations précises et régulières ont été entreprises depuis 1873, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Hardy et sont continuées par son successeur M. Bouvier, dans le but de découvrir les liaisons qui existent entre le régime de la fontaine de Vaucluse et les quantités d'eau météorique tombant sur le bassin qui alimente cette source.

D'après M. Barral, les résultats auxquels on est arrivé font supposer que l'eau météorique rencontre, en s'infiltrant dans un sol calcaire, des cavernes et des canaux largement ouverts qui lui permettent d'arriver facilement à son point d'émergence.

Sur son parcours souterrain, il existe vraisemblablement des réservoirs en forme de siphon dans lesquels elle s'emmagasine pour s'en échapper lorsque le siphon est amorcé (1).

Origine atmosphérique du sel marin.

Quelques géologues ont cherché dans l'atmosphère l'origine partielle, sinon totale, de certains dépôts de sel marin. On sait que le sel marin existe dans l'air et qu'il y en a surtout dans l'eau de pluie; lorsque cette dernière tombe dans des bassins fermés et sans écoulement à la mer, elle doit donner du sel en s'évaporant. Telle pourrait être l'origine du sel dans les étangs de la Camargue. Il est également assez naturel de se demander si le sel du *loess* de la Chine n'a pas la même origine (2).

Mais c'est surtout aux déserts de l'Amérique du Nord, avec terrains et lacs salés, que M. F. Posepny (3) a appliqué cette théorie de la formation du sel marin.

Il existe, en effet, des bassins fermés à l'ouest de l'Utah, dans

(1) J. A. Barral : *Les irrigations dans le département de Vaucluse.*
(2) *Revue de géologie*, XV, page 36.
(3) *Sitzb. der K. Akad. der Wissensch.*, LXXVI, 1877.

le Nevada, au sud-ouest de l'Orégon, et dans la Californie. Dans le sud de ce dernier État se trouve le mont Whitney, qui atteint 4.570 mètres, tandis que le fond de la vallée de la Mort est à 53 mètres au-dessous du niveau de la mer. En définitive, on a des bassins fermés offrant des conditions plus ou moins analogues à celles de la mer Morte et de la région des *Chotts*; l'on conçoit donc que le sel entraîné avec les pluies et venant de l'atmosphère s'ajoute à celui qui imprègne les roches, et qu'il contribue à engendrer des dépôts salins dans le fond de ces bassins fermés (1).

GLACIERS.

Glaciers à moraines sous-marines.

Régions arctiques. — M. Amund Helland (2) a fait une étude spéciale, tant des glaciers du Groënland qui se prolongent actuellement jusque dans la mer, que de ceux de la Norwége, autrefois dans le même cas, dont les portions de moraines, originairement sous-marines, se trouvent actuellement à sec par suite d'un soulèvement de la contrée.

Un glacier qui atteint le rivage commence par repousser l'eau de la mer, en restant en contact avec le sol et en étendant sur la plage sa moraine de fond. Parvenu au point où la profondeur de l'eau égale les $\frac{6}{7}$ environ de l'épaisseur de la glace, le glacier peut se prolonger encore de plusieurs kilomètres en mer; mais le prolongement est alors détaché du sol et supporté par l'eau. D'ailleurs, de vastes cavernes analogues aux portes des glaciers des Alpes permettent à la mer de s'insinuer, en certains points, même au delà des limites où le glacier est entièrement détaché du sol. Dans tout l'espace ainsi recouvert par la glace, il se forme des dépôts composés de détritus appartenant à la moraine de fond, auxquels se mêlent des corps d'origine marine. A une certaine distance du rivage, le glacier se termine à pic, l'avancement dû à son mouvement de progression étant compensé par des éboulements intermittents de blocs de glace qui sont peu à peu entraînés, par les courants, à l'état d'*icebergs*. Quant aux matériaux superficiels que charrie le glacier, quelques-uns, adhérents à la glace, sont emportés par les blocs flottants. La majeure partie tombe au fond de l'eau, sur l'escarpement circulaire, le long duquel ont lieu les éboulements. La mer remanie et étale les moins volumineux de ces

(1) *Revue de géologie*, XV, 183.
(2) *Ueber die Gletscher Nordgrondlands. — On the Fiords, Lakes and Cirques in Norway and Greenland.* (Extrait par M. de Cossigny.) — *Revue de géologie*, XV, p. 172.

débris, et il se forme ainsi, en avant du glacier, un bas-fond en forme de terrasse sous-marine qui s'exhausse successivement, sans toutefois dépasser jamais le niveau de la marée basse, et qui contient un mélange de matériaux glaciaires et de matériaux marins. Mais les blocs d'un certain poids, ne pouvant être déplacés par la mer, s'accumulent devant le front du glacier; des matériaux glaciaires d'un volume moindre se trouvent emprisonnés dans leurs interstices, ainsi que des galets et des coquilles momentanément soulevés par les flots. Ainsi se forme, au-dessus de la terrasse dont il vient d'être question, une véritable moraine frontale, grossièrement stratifiée dans les intervalles compris entre les gros blocs. Cette moraine atteint parfois le niveau de la marée haute, ou le dépasse même. Au-dessus de ce niveau, les choses se passent comme dans les glaciers terrestres, et la partie supérieure de la moraine frontale affecte les mêmes caractères que dans les Alpes.

Haute Italie. — M. Stoppani (1), en étudiant, sur le versant italien des Alpes, les traces des anciens glaciers disparus, a cru reconnaître toutes les dispositions indiquées ci-dessus, et en a conclu que les glaciers dont il s'agit débouchaient dans la mer. Cette conclusion, appuyée par quelques géologues (2), a été combattue par beaucoup d'autres (3). Du reste, on ne doit pas s'étonner que les savants, qui sont précisément le plus familiarisés avec les moraines de la Suisse, n'aient pu les reconnaître dans les dépôts, en partie stratifiés, qui se trouvent à la base des moraines lombardes, et qu'ils y aient vu une alluvion ou des dépôts littoraux torrentiels. Quant à M. Stoppani, les faits qu'il accumule depuis plusieurs années le confirment de plus en plus dans les idées qu'il a émises antérieurement (4), et il soutient notamment que le mélange constant, à la base des moraines italiennes, de blocs glaciaires volumineux, de cailloux finement striés, de sable, de galets discoïdaux, de coquilles marines souvent parfaitement conservées,

(1) Stoppani et Negri. *Geologia d'Italia*. Milan, 1878, (Extrait par M. de Cossigny.)

(2) Desor : *Le paysage moraimique*, etc., Neufchatel, 1875. — Mercalli : Observazioni geologiche sul terrens glaciale dei dintorni di Como, *Atti. Soc. ital. di scien. nat.*, 1876.

(3) Renevier : *Bull. Soc. géol.*, [3], IV, 187. — Ch. Mayer : *Idem*, 199. — A. Favre : Note sur le terrain glaciaire, etc., *Archives de Genève*, 1876 — Sordelli : La fauna marina di Cassina Rizzardi, *Atti. Soc. ital.* XVIII, 1875 et 1876, et *Revue de géologie*, XV, 150. — Rütimeyer : *Ueber Pliocen und Eisperiode auf beiden Seiten der Alpen*, 1876,

(4) Il mare glaciale a piéi delle Alpi, *Revis ital.*, 1874. — Sui rapporti del terreno glaciale col pliocene nei dintorni como, *Atti. Soc. Ital.*, VIII, 1875.

est absolument incompatible avec tout dépôt diluvien ou torrentiel (1).

Influence du climat sur l'extension des glaciers.

D'après M. Stoppani (2), les glaciers du revers méridional des Alpes, à l'époque de leur plus grand développement, se terminaient à la mer. Les terrains glaciaires des environs de Côme ont déjà fourni un assez grand nombre de fossiles pliocènes dont l'ensemble indique un climat au moins aussi chaud que le climat actuel du midi de l'Europe, et dont un certain nombre appartiennent à des espèces encore vivantes dans la Méditerranée et l'Adriatique. Il en résulterait, si toutefois les idées de M. Stoppani sont confirmées, que le climat général de la région méditerranéenne, à l'époque dite *glaciaire*, aurait différé très peu de ce qu'il est aujourd'hui; ce qui viendrait à l'appui de cette idée, déjà émise par plusieurs auteurs, que l'extension des glaciers dépend bien moins de la température que de l'évaporation annuelle et de la quantité de vapeur contenue dans l'atmosphère.

Date de la période glaciaire.

M. Winchell (3) a cherché à estimer la date de la dernière période glaciaire en Amérique, d'après la rapidité avec laquelle se déplace la cascade de Saint-Anthony, près du confluent du Minnesota et du Missouri. La région est couverte de dépôts glaciaires qui occupent aussi l'ancienne vallée de la rivière, dont la gorge a été creusée postérieurement. D'après les renseignements qui ont été fournis, depuis 200 ans, par divers voyageurs, l'auteur estime à 6.300 ans environ le temps écoulé depuis l'origine du creusement.

LACS.

Origine des lacs.

Les bassins naturels où s'accumule l'eau des lacs ont des origines très diverses. Comme d'autres géologues, M. Stoppani a signalé le barrage des vallées par des moraines (4). Il arrive aussi que, lors du soulèvement des montagnes et du plissement des couches, par suite d'une compression horizontale, quelques portions

(1) Voir le chapitre de la *Revue* qui traite de la *géologie géographique*, article Lombardie.

(2) Carattere marino dei grandi anfiteatri morenici, etc., *Geologia d'Italia per Stoppani e Negri*. (Extrait par M. de Cossigny.)

(3) *Geol. Society*, 1878, 236.

(4) Stoppani : *Corsa di geologia*. — Stoppani e Negri : *Geologia d'Italia* Extrait par L. de Cossigny.)

de terrain restent relativement déprimées et privées d'écoulement. Ainsi, M. de Giorgi (1), en étudiant la vallée dite Campo Imperatore, dans les Abruzzes, a reconnu que cette vallée est le bassin desséché d'un ancien lac. Son bassin était formé par un relèvement des couches crétacées; mais le torrent émissaire du lac a creusé peu à peu, à travers ces couches, une gorge profonde par laquelle les eaux s'écoulent aujourd'hui librement.

RIVIÈRES.

Matières en suspension dans les rivières.

DURANCE. — M. Villot, ingénieur en chef des mines, et le Service des ponts et chaussées font déterminer chaque jour la quantité d'eau et de limon qui est débitée par la Durance. Déjà nous avons donné les résultats obtenus pour une période de 4 années antérieures à 1871 (2), et nous allons continuer à les résumer pour 7 nouvelles années, de 1871 à 1878 (3).

Comme précédemment, les expériences ont lieu au pont de Mirabeau, où l'on jauge chaque jour le nombre de mètres cubes d'eau. De plus, on prend, à midi et à 1 mètre au-dessous de la surface, 1 litre d'eau qui est versé sur un filtre taré, de manière à déterminer la quantité de limon desséché qu'il contient. Les résultats obtenus sont contrôlés par une autre méthode, dans laquelle on puise 5 litres d'eau, qui sont mis dans un récipient au fond duquel ils déposent leur limon, et ce dernier est pesé seulement tous les six mois. Les différences données par les deux méthodes sont généralement assez faibles. Ces expériences ayant été entreprises surtout en vue de l'emploi des eaux de la Durance aux irrigations, on a partagé l'année d'expériences en deux semestres : le premier, dit d'arrosage, va du 1er avril au 1er octobre; le second, de non arrosage, comprend du 1er octobre au 1er avril.

1° Si l'on considère d'abord le limon de la Durance, le tableau A donne la moyenne mensuelle et annuelle de son poids pour les sept années comprises de 1871 à 1878.

(1) *Boll. A. Comit. geol. d'Italia*, 1878, 272.
(2) *Revue de géologie*, VIII, 222.
(3) Extrait de notes communiquées par MM. Villot et Oppermann à M. Delesse.

A° — **Tableau des poids de limon tenus en suspension dans un litre d'eau de la Durance.**

MOYENNE PAR LITRE D'EAU.

Noms des mois.	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877
Janvier	0g,317	2g,234	0g,290	0g,009	1g,136	0g,055	0g,073
Février	0 ,153	0 ,354	0 ,120	0 ,250	0 ,062	0 ,0237	0 ,005
Mars	0 ,152	0 ,187	1 ,710	0 ,075	0 ,239	7 ,595	2 ,909
Avril	0 ,120	1 ,159	0 ,491	0 ,241	0 ,868	1 ,562	0 ,848
Mai	1 ,054	3 ,474	0 ,746	0 ,391	1 ,464	1 ,434	4 ,364
Juin	1 ,439	1 ,656	1 ,720	0 ,665	3 ,684	4 ,722	3 ,112
Juillet	0 ,329	0 ,537	1 ,179	5 ,862	1 ,122	2 ,128	1 ,308
Août	2 ,708	2 ,741	1 ,618	4 ,482	1 ,266	4 ,970	1 ,282
Septembre	3 ,796	0 ,312	0 ,925	0 ,971	0 ,707	0 ,092	0 ,106
Octobre	1 ,700	7 ,250	7 ,157	2 ,753	0 ,827	0 ,450	0 ,474
Novembre	6 ,074	0 ,434	5 ,482	0 ,0334	0 ,361	1 ,583	2 ,293
Décembre	0 ,141	2 ,985	0 ,0014	1 ,728	0 ,047	2 ,902	0 ,077
Moyenne annuelle	1 ,670	3 ,218	1 ,828	1 ,655	1, 934	2 ,879	,2 ,490

Le limon de la Durance est généralement en quantité très faible pendant les mois d'hiver. Il devient surtout abondant pendant les mois de mai à décembre; mais, c'est d'une manière intermittente, lorsqu'il y a des pluies d'orage et à l'époque de la fonte des neiges.

Tandis qu'en 1869, sa moyenne annuelle était seulement de 0g,686, en 1877 elle s'est élevée à 2g,190, et à 2g,879 en 1876; en 1872, elle a même atteint le chiffre très considérable de 3g,218.

2° La composition du limon de la Durance a de plus été déterminée au laboratoire du Service des mines à Marseille.

On a opéré sur le limon moyen provenant d'un semestre, et l'on s'est contenté de doser ses principaux éléments.

Les résultats obtenus sont résumés par le tableau B.

B. — Tableau donnant en moyenne et pour un semestre le poids, ainsi que la composition chimique, du limon contenu dans un litre d'eau de la Durance.

Semestres.	Pesées semestrielles.	ANALYSE DES RÉSIDUS.					
		SiO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO	CO^2, HO et matières organiques.	Somme.
Du 1er avril au 1er octobre 1871 . . .	1k,190	33,00	23,00	19,00	traces	24,00	99,00
Du 1er octobre 1871 au 1er avril 1872.	0 ,493	36,00	16,00	26,00	»	21,30	99,30
Du 1er avril au 1er octobre 1872 . . .	0 ,795	50,20		26,40	traces	23,50	1
Du 1er octobre 1872 au 1er avril 1873.	1 ,283	Pas d'analyse.					
Du 1er avril au 1er octobre 1873 . . .	0 ,760	35,40	19,20	18,60	traces	25,80	99,00
Du 1er octobre 1873 au 1er avril 1874.		Pas d'analyse.					
Du 1er avril au 1er octobre 1874 . . .	1 ,472	35,40	17,00	25,40	traces	21,70	99,50
Du 1er octobre 1874 au 1er avril 1875.	0 ,531	31,80	23,00	18,60	traces	26,10	99,50
Du 1er avril au 1er octobre 1875 . . .	1 ,513	33,50	20,30	19,70	»	21,50	95,00
Du 1er octobre 1875 au 1er avril 1876.	0 ,762	35,30	20,70	21,30	»	22,50	99,80
Du 1er avril au 1er octobre 1876 . . .	1 ,711	32,20	21,70	23,10	»	22,50	99,50
Du 1er octobre 1876 au 1er avril 1877.	0 ,525	34,50	20,20	24,50	»	20,80	100,00
Du 1er avril au 1er octobre 1877 . . .	1 ,200	34,30	19 20	25,40	»	21 10	100,00

La couleur seule du limon indique déjà des différences notables dans sa composition; car, suivant les affluents qui le fournissent, il est tantôt blanchâtre ou jaunâtre, tantôt brunâtre ou bleuâtre. La comparaison des essais donnés par le tableau met bien ces différences en relief.

3° Enfin il est intéressant de comparer le débit de la Durance avec le poids du limon qu'elle tient en suspension, et c'est facile à l'aide du tableau C.

Il fait connaître, en effet, pour un certain nombre de jours pendant lesquels la quantité de limon était très grande, le débit de la Durance tel qu'il résulte de son jaugeage et le poids total du limon qu'elle transporte. On a pris seulement les jours du semestre d'arrosage des deux années 1872 et 1874, pendant lesquels le limon tenu en suspension dans 1 litre était très élevé et supérieur à 5 grammes.

C. — Tableau donnant les quantités d'eau et de limon débitées par la Durance pour tous les jours où, dans les semestres du 1er avril au 1er octobre, pendant les deux années 1872 et 1874, le limon contenu dans un litre d'eau a été supérieur à 5 grammes.

JOURS ET MOIS.	DÉBITS de la Durance en mètres cubes.	POIDS du limon par litre.	POIDS TOTAL du limon transporté par la Durance.
Du 1er avril au 1er octobre 1872 :			
	mètres cubes.	grammes.	tonnes.
25 avril.	11.264.640	5,99	247.175
21 mai.	109.149.120	6,60	720.384
22 mai.	119.361.600	13,18	1.573.186
23 mai.	61.434.720	13,95	857.014
1er août.	30.399.840	19,90	604.957
2 août.	30.399.840	7,10	215.839
8 août.	16.696.800	9,00	150.271
20 septembre.	7.732.800	6,10	47.170
Du 1er avril au 1er octobre 1874 :			
12 juillet.	9.888.480	17,94	177.370
16 juillet.	14.126.400	8,97	126.756
17 juillet.	14.541.120	14,06	204.448
18 juillet.	16.372.800	10,79	176.663
19 juillet.	18.398.880	7,67	141.027
20 juillet.	24.217.920	12,05	291.826
21 juillet.	23.742.720	32,97	782.679
30 juillet.	17.128.800	18,47	316.283
4 août.	13.106.880	8,41	110.228
5 août.	12.702.960	6,77	85.935
8 août.	23.752 440	40,40	959.598
20 août.	9.840.960	7.78	76.513

Le poids du limon transporté par la Durance tend généralement à augmenter avec le volume d'eau qu'elle débite; mais il n'y a cependant pas proportionnalité. Ainsi, tandis que le poids très-élevé de 40g,4 de limon a été trouvé dans 1 litre d'eau de la Durance, lorsqu'elle débitait 23.742.440 mètres cubes, un poids, qui était seulement de 6g,6, correspondait à l'énorme débit de 109.149.120 mètres cubes.

Il importe d'observer aussi que le poids total du limon transporté par la Durance est un minimum calculé seulement d'une manière approximative; car il a été obtenu en multipliant le débit de la Durance par le poids de limon contenu dans 1 litre, pris à 1 mètre au-dessous de la surface de l'eau; or, ce poids varie avec la distance à la surface et de plus il augmente beaucoup vers le fond.

Matières en suspension et en dissolution dans les rivières. ELBE. — M. Breitenlohner (1) a déterminé, pour chaque mois

(1) *Jahresbericht uber die Fortschritte der Chemie für* 1876, p. 1297.

de l'année pluvieuse 1866, la nature et la proportion des matières suspendues ou dissoutes qui, à Lobositz, ont été enlevées à la Bohême par les eaux de l'Elbe. Il a trouvé que 1 mètre cube contenait en grammes, au maximum et au minimum :

	SUSPENDU.		DISSOUS.	
	Maximum.	Minimum.	Maximum.	Minimum.
Fixe.	333,20 en janvier.	2,13 en octobre.	106,20 en octob.	61,00 en avril.
Volatil. . . .	34,13 —	0,80 —	28,10 en juillet	18,30 en sept.
Total.	367,33 —	2,93 —	129,30 en octob.	82,20 en déc.

Pour la moyenne, on a obtenu :

	Fixe.	Volatil.	Somme.
Suspendu.	82,62	8,57	91,19
Dissous.	80,33	23,45	103,78
Somme. . . .	162,95	32,02	194,97

L'Elbe à Lobositz donne, en nombre rond, un débit de 6 milliards de mètres cubes par année, ce qui représente moins du quart de l'eau tombant sur la surface de la Bohême, laquelle correspond presque exactement à son bassin hydrographique. Ces 6 milliards entraînent en millions de kilogrammes :

	Fixe.	Volatil.	Somme.
Suspendu	495,72	51,42	547,14
Dissous	481,98	140,70	622,68
Somme. . . .	977,70	192,12	1.169,82

Certaines substances minérales, enlevées par l'Elbe à la Bohême, sont d'ailleurs représentées par les nombres suivants, qui expriment également des millions de kilogrammes :

	Suspendu.	Dissous.	Somme.
CaO.	2,98	137,40	140,38
MgO	1,73	26,40	28,13
KO.	24,34	30,18	54,52
NaO.	5,46	34,14	39,60
NaCl.	—	25,32	25,32
SO3.	0,27	45,42	45,69
PhO5.	1,50	—	1,50
Somme. . . .	36,28	298,86	335,14

Il est à observer que, dans ces calculs, on a seulement tenu compte des matières suspendues ou dissoutes dans l'Elbe, sans s'occuper de celles qui sont charriées sur son fond ; par conséquent, l'ablation annuelle produite en Bohême par ce fleuve et par les eaux atmosphériques, est encore beaucoup plus considérable.

MERS.

Dans un ouvrage intitulé *Voyages sur les côtes de France*, qui nous parvient trop tard pour être résumé, M. A. Burat s'occupe de l'étude détaillée de notre littoral, sur lequel il présente des considérations géologiques et économiques très intéressantes.

Région aralo-caspienne.

Pallas et, après lui, de Humboldt ont été conduits à admettre que l'Aral était autrefois réuni à la Caspienne et que cette vaste mer intérieure, s'étendant au nord du Caucase, communiquait aussi avec la mer d'Azof et avec la mer Noire.

Ces idées viennent d'être confirmées par plusieurs expéditions scientifiques du gouvernement russe, dont il est utile de mentionner les principaux résultats, et qui ont fait connaître d'une manière plus complète la région aralo-caspienne.

La mer Caspienne occupe une superficie de 460.000 kilomètres carrés et se trouve à 25m,50 au-dessous du niveau de la Méditerranée. Elle occupe la partie inférieure d'une grande dépression qui mesure 780.000 kilomètres carrés.

La mer d'Aral n'a que 68.000 kilomètres carrés de surface. Elle est à 74 mètres au-dessus de la Caspienne et à 48m,70 au-dessus de la Méditerranée. C'est, en effet, ce qui résulte d'un nivellement précis fait en 1874, sous la direction du colonel von Tillo, par MM. Solimani et Moschkow.

Les Kirghiz des bords de l'Aral ont constaté depuis longtemps que son niveau s'abaisse, et les expéditions russes ont aussi repéré d'anciennes lignes de côtes qui sont éloignées de ses bords actuels. En tenant compte de ce que l'évaporation annuelle est de 1.150 millimètres d'eau, tandis que l'atmosphère en rend seulement 856 millimètres; en observant en outre que l'Amou-Daria y apporte par an environ 50 kilomètres cubes d'eau et le Syr Daria 17, MM. C. Schmidt et F. Dorhandt ont été conduits à admettre que le niveau de l'Aral baisse de 70 millimètres par année. En réalité, la diminution doit être moindre; car, indépendamment des eaux superficielles amenées par le Syr et l'Amou, il faudrait pouvoir

(1) Léon Couturat. *Bull. de la Soc. de géographie d'Anvers*, III, 57. — *Geographische Mittheilungen*. — Vivien de Saint-Martin : *L'Année géographique*.

évaluer les eaux souterraines qui, s'infiltrant dans le sol, forment des nappes se rendant directement dans l'Aral. Quoi qu'il en soit, il est probable que l'Aral finira par disparaître ou par se réduire à un groupe de petits lacs.

L'étude de l'Amou se relie intimement à celle de la région aralo-caspienne. Ce grand fleuve, l'Oxus des anciens, se déversait primitivement dans la Caspienne; mais au xve siècle, les innombrables prises d'eau, utilisées pour les irrigations, paraissent avoir déterminé un ensablement de son lit, en sorte qu'il s'est jeté par un delta dans le sud de l'Aral. Il s'y rend par 3 branches, l'Oulkoun Daria, qui débite 7/9 de ses eaux, le Jauy-Ssou et le Taldyk, amenant chacun 1/9. Dans l'état actuel, les irrigations de l'oasis de Khiwa, qui ont lieu de mi-avril à fin juillet, et qui se font par des canaux s'éloignant d'une trentaine de lieues, lui enlèvent plus de la moitié de ses eaux, entre Pitujack à l'amont et Noukouss à l'aval.

L'ancien lit de l'Oxus ou l'Ousboï a une longueur de 550 kilomètres. Il occupe la partie la plus basse de la steppe turkomane, entre le plateau d'Ust-Urt et la steppe de Kara-Kun. Ses eaux venaient déboucher sur le bord oriental de la Caspienne, dans le golfe au sud du grand Balkan. Quelques lacs en jalonnent encore la trace, et les colonels Stebnitzki et Glowkhowsky, qui l'ont exploré, ont retrouvé facilement ses anciennes rives.

Le gouvernement russe a fait étudier la question du rétablissement de l'Oxus dans son ancien lit et de son retour à la Caspienne. Il ne paraît pas que ce travail présente de grandes difficultés, l'ancien lit se trouvant bien conservé et étant seulement occupé sur certains points par des sables que les vents ont amenés et que le fleuve entraînerait facilement. On peut craindre, il est vrai, que cette opération, privant forcément l'oasis de Khiva d'une partie de ses eaux d'irrigation, ne vienne nuire à sa prospérité. Mais, dans le cas où elle se réaliserait, on posséderait, comme dans l'antiquité, une voie commerciale facile entre la Caspienne et l'Asie centrale.

D'un autre côté, Pallas a depuis longtemps signalé l'existence d'une communication de la Caspienne avec la mer Noire; elle avait lieu sans doute par un détroit qui est actuellement comblé par les alluvions dans lesquelles on trouve des mollusques vivant encore dans la Caspienne; ce détroit suivait les bas-fonds dans lesquels coulent maintenant le Kouma et le Manytsch oriental, qui se rendent dans la Caspienne, tandis que le Manytsch occidental se déverse dans la mer d'Azof. Un canal creusé dans ce détroit paraît possible et rétablirait un état géologique antérieur; il mettrait d'ailleurs en communication la mer Noire avec la Caspienne et avec l'Asie centrale.

Changements subis par l'estuaire de la Garonne.

Dans le but d'étudier les changements qui s'opèrent dans l'estuaire de la Garonne, M. Artigues (1) a comparé les cartes hydrographiques de l'estuaire à différentes époques et a dressé en même temps des profils suivant une série de plans parallèles. Il constata ainsi que de 1825 à 1854, il y avait un affouillement de $0^m,042$ en moyenne par année, tandis que de 1854 à 1875 il s'est produit un exhaussement qui s'est élevé en moyenne à $0^m,052$ par année. Cette différence doit sans doute être attribuée à ce que des crues et des courants plus rapides ont balayé le fond de l'estuaire pendant la première période. M. Artigues a constaté de plus que, depuis 1825, les laisses des basses mers ont augmenté sur le littoral de la Gironde, et que l'ouverture de l'estuaire, qui était seulement de 4,700 mètres en 1785, a maintenant une largeur de 6.300 mèt.

En outre, comme l'observe M. l'ingénieur Pairier, depuis 1752 les bancs qui existaient dans la Gironde n'ont fait qu'augmenter et ont produit de nouvelles îles, tandis que les anciennes croissaient en surface et que des bancs nouveaux se formaient. Les courants ont donc été ralentis et sont actuellement moins efficaces pour entraîner les dépôts du fond qui tend sans cesse à s'exhausser.

Ainsi, la quantité d'eau amenée par le flot dans la Gironde a augmenté, et, d'un autre côté, la profondeur de l'estuaire a diminué. Il en résulte que les terres basses qui le bordent sont de plus en plus envahies par les eaux. Cet envahissement, attribué à un affaissement du sol, s'explique très bien, d'après M. Artigues, par l'érosion produite par la mer, qui a rongé les côtes et l'île de Cordouan, augmenté l'ouverture de la Gironde, tandis que le fond de l'estuaire subissait au contraire un exhaussement.

Variations de l'oxygène de l'eau de mer pendant les marées.

M. Gérardin (1) a constaté que la proportion d'oxygène dissous dans l'eau de mer varie très notablement avec la marée. Ainsi, dans la baie de la Somme, le titre oxymétrique était $8^{c.c.},6$ pour 1 litre à $2^h,15'$, et à $5^h,45'$, c'est-à-dire à l'arrivée du flot et à son reflux; tandis qu'il s'élevait à $11^{c.c.},4$ à $4^h,13'$ au moment où la mer était étale.

(1) *Soc. linnéenne de Bordeaux*, XXXI.
(2) Lettre à M. Delesse, 1879.

Par des marées de différentes hauteurs, le titre oxymétrique, pris à la pleine mer, augmente avec la hauteur.

ANNÉE 1874.	HAUTEUR de la pleine mer.	TITRE oxymétrique.
2 septembre.	4m,60	12cc,0
3 —	3 ,80	11 ,4
5 —	2 ,90	10 ,0
14 —	5 ,20	12 ,0

L'eau de mer qui roule sur les sables perd donc une partie notable de l'oxygène dissous; mais, au large, le titre oxymétrique se maintient constant et il s'élève à 12 centimètres cubes par litre. Lorsqu'il est inférieur, M. Gérardin a reconnu que la mer devient phosphorescente dans l'obscurité.

Répartition de la salure dans l'Océan.

Pendant l'expédition du Challenger, M. J. Y. Buchanan (2) a fait près de 2.000 déterminations, donnant pour densités extrêmes de l'eau de la mer 1,0240 et 1,0280.

A la surface, la densité est plus grande dans l'Atlantique que dans le Pacifique, plus grande aussi en général dans l'Atlantique nord que dans l'Atlantique sud, bien que le maximum absolu ait été obtenu dans cette dernière. Le long de l'équateur, dans l'Atlantique, la salure augmente de l'est à l'ouest; il en est de même dans le Pacifique, mais l'augmentation est moins marquée. Le maximum de concentration dans le Pacifique se trouve près de Taïti. Entre 40° S. et les glaces antarctiques, la densité est presque uniforme et de 1,0250.

En profondeur, dans l'Atlantique méridional et dans le Pacifique, la salure diminue jusque vers 1.460 ou 1.800 mètres, pour augmenter ensuite jusqu'au fond et arriver à une constante de 1,0257 ou 1,0259. Près des pluies équatoriales, la salure est maximum à 90 ou 180 mètres de profondeur. Près des pôles, la concentration augmente là où il se forme en hiver plus de glaces qu'il n'en fond en été; et, dans l'océan Antarctique, la densité est beaucoup plus grande au fond qu'à la surface.

Le contre-courant de Gibraltar déverse dans l'Atlantique des eaux plus denses venant de la Méditerranée, et l'Océan Indien reçoit probablement de la mer Rouge des additions de sel.

Dans l'Atlantique, il semble y avoir un courant du sud au nord

(1) *Royal geogr. Soc. Procedings*, XXI, 255.

jusqu'à environ 1.800 mètres de profondeur, et plus bas, un contre-courant, dirigé au contraire du nord au sud et chassant dans l'hémisphère austral l'excès de salure du nord.

PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES.

Geysers.

NOUVELLE ZÉLANDE. — M. Abbay (1) a décrit la *terrasse blanche* de Roto-Màhànà. C'est un dépôt de silice, formé par l'eau d'un geyser débouchant du flanc d'une colline de rhyolithe pourri, à 30 mètres au-dessus d'un lac d'eau chaude dans lequel l'eau finit par aboutir après une série de cascades dans une suite de bassins échelonnés. Le bassin du geyser proprement dit, large de plus de 100 mètres, est à parois abruptes et échancrées d'un seul côté. L'auteur pense que le débouché de l'eau du geyser s'est, par suite du dépôt de silice, relevé peu à peu depuis le niveau du lac jusqu'à la hauteur qu'il occupe aujourd'hui.

Produits des volcans.

VÉSUVE. — D'après M. Vom Rath (2), l'étude des produits de l'éruption survenue le 26 avril 1872 au Vésuve a donné les résultats suivants : dans les blocs rejetés par le volcan, on a trouvé divers silicates, ainsi que de jolis cristaux d'apatite. L'oligiste s'est présenté sous les formes les plus nombreuses et la ténorite a été rencontrée en proportions inusitées. Le sel ammoniac était aussi très abondant et ses cristaux étaient colorés en noir quand la lave avait coulé sur des troncs d'arbre calcinés. Comme en 1850 et 1868, les croûtes salines contenaient du fluor et, d'après M. Scacchi, l'auteur de cette découverte, le fluor serait combiné à l'ammonium et au silicium sous la forme d'un sel double. Parmi les autres substances figurent le chlorure de calcium, la cotunnite, le sulfate double de soude et de potasse : enfin, à l'intérieur du cratère, dans des masses salines formées de gypse et de soufre, on a constaté la présence de l'acide fluorhydrique.

Origine des phénomènes volcaniques.

M. Tschermak (3), en étudiant les conditions dans lesquelles s'exerce l'activité volcanique du globe, a été conduit à se rallier à l'hypothèse émise pour la première fois, en 1842, par M. Angelot. Cette hypothèse consiste à regarder les phénomènes volcaniques

(1) *Geol. Society*, 5 déc. 1877.
(2) *Verhandl. d. nat. Vereins d. preuss. Rheinf.* — *Neues Jahrb.*, 1878, 826.
(3) *Verhandlungen deh K. Akad. der Wissenschaften*, LXXV. Vienne, 1877.

comme produits par le dégagement des gaz que les matériaux fondus de notre globe avaient absorbés. Au moment de leur absorption, ces gaz, vu leur température très élevée, pouvaient être à l'état d'éléments simples; mais, quand la solidification des matières fondues leur donne issue, ils peuvent former des combinaisons avec dégagement brusque de chaleur.

M. Tschermak s'est attaché à montrer que l'hypothèse de M. R. Mallet (1) ne pouvait rendre compte, ni de la haute température des volcans, ni de la nature chimique de leurs émanations; tandis que, si l'on admet, qu'à de grandes profondeurs, la matière fondue peut dégager 50 fois son volume de gaz et que la vitesse des éruptions gazeuses dans un volcan est de 15 mètres par seconde, on trouve que les gaz dissous peuvent alimenter des évents volcaniques.

MOUVEMENTS DU SOL.

Mouvements lents.

SCANDINAVIE. — On sait que dans le nord de l'Europe, le sol s'élève d'une manière continue au-dessus du niveau de la mer.

Ainsi, à Stockholm, on a depuis longtemps constaté un mouvement d'ascension qui est très faible et ne paraît pas excéder $0^{m},015$ par siècle; mais à Géfle, à 144 kilomètres plus au nord, il est au moins de $0^{m},6$ pendant le même temps, et au cap Nord il est encore plus considérable. D'après M. Ignatius, le soulèvement serait même de 1 mètre par siècle, sur la côte est du golfe de Bothnie.

Du reste, d'après des coquilles marines appartenant à une faune plus septentrionale qui a été trouvée par M. Torell à des altitudes variant de 180 à 210 mètres, des soulèvements ont eu lieu en Scandinavie à partir de l'époque glaciaire (2).

TREMBLEMENTS DE TERRE.

BELLUNE. — M. Hoefer (3) a analysé le tremblement de terre survenu à Bellune le 29 juin 1873. La courbe de propagation des secousses éprouve d'importantes déviations suivant les directions N.-O.-S.-E. et Est. La première de ces directions est celle de la fente Adriatique, c'est-à-dire qu'elle est située sur le prolonge-

(1) *Revue de géologie*, XI, 214.
(2) H. Milne-Edwards : *Association scientifique de France*. 12 janv. 1879.
(3) *Neues Jahrb.*, 1878, 858.

ment de la dépression occupée par la mer Adriatique. La direction Est est celle de la faille de Laibach, qui marque la limite méridionale de la formation rhétienne. La profondeur du centre de rayonnement des ébranlements est évaluée par l'auteur à $7^{kilom.},9$. Le tremblement en question n'aurait pas été de nature volcanique et on en devrait chercher l'origine dans un mouvement qui aurait fait jouer des fentes préexistantes.

HERZOGENRATH. — Les environs d'Herzogenrath, également visités par le tremblement de terre de 1873, ont vu ce phénomène se reproduire le 24 juin 1878, dans des conditions presque identiques avec celles de sa première apparition. M. Von Lasaulx (1) a tiré de leur étude les conclusions suivantes : Le tremblement de terre se propageait linéairement; l'épicentre était situé par 23° 41′ 51″ de longitude ouest et 50° 52′ 31″ de latitude nord; les secousses étaient partout composées de mouvements horizontaux et verticaux. Leur vitesse moyenne de propagation était de $474^{m},83$ par seconde et la profondeur du centre initial a été trouvée de 27 kilomètres. M. Von Lasaulx a constaté qu'il paraissait y avoir un rapport intime entre cette position du centre et la direction de propagation, d'une part, et l'existence d'une grande faille qui affecte le terrain houiller de la contrée; d'autre part, s'il n'y a pas encore de raisons péremptoires d'attribuer le tremblement de terre à une réouverture de la fente, du moins il y a entre ces deux phénomènes un rapport indéniable.

IQUIQUE. — A la suite du tremblement de terre d'Iquique, le 9 mai 1877, le grand Océan a été traversé par une onde dont la marche a été étudiée par M. E. Geinitz (2). En tenant compte de l'heure à laquelle cette onde a été ressentie dans différentes stations, il en a calculé la vitesse, ainsi que la profondeur moyenne de la mer entre Iquique et ces stations :

CHEMIN DE L'ONDE d'Iquique à :	DISTANCE d'Iquique.	VITESSE DE L'ONDE par heure.	PROFONDEUR moyenne de l'Océan.
	kilomètres.	kilomètres.	mètres.
Callao	1.161	278	609
Conception	1.866	504	2.002
Hilo	10.234	733	4.250
Honolulu	10.575	717	4,058
Apia	10.629	719	4.067
Wellington	10.482	574	2.603
Lyttelton	10.429	568	2.545
Kamaishi, Japon	16.362	745	4.367
Hakodate, Id.	16.222	706	3.930

(1) *Neues Jahrb.*, 1878, 423.
(2) *Petermann's geogr. Mittheilungen*, 1877, 454.

MODIFICATIONS DES ROCHES (*).

Sous le titre de modifications des roches, nous réunirons les divers travaux qui se rattachent au métamorphisme, ce mot étant pris dans son acception la plus étendue.

Production des minéraux.

Zéolithe à l'état gélatineux.

M. E. Renevier (1) a étudié une substance gélatineuse, blanche, rencontrée avec des scalénoèdres de calcite dans des fentes traversant les bancs de mollasse à Crêt-Meïlloret, près Lausanne. A l'état frais, cette substance présente l'aspect d'une graisse molle; mais elle se dessèche rapidement à l'air, devient plus solide, et ressemble alors à une stéatite. Son analyse a été faite par le professeur Bischof :

Densité.	SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	KO	HO	Somme.
2,08	48,39	20,49	3,57	3,14	2,79	21,62	100,00

On trouve qu'elle correspond à la formule $4SiO^2, Al^2O^3, RO + 4HO$, dans laquelle les rapports d'oxygène sont ceux de la chabasie.

Cet hydrosilicate appartient donc au groupe des zéolithes à base de potasse, et semble très voisin de la *Bravaisite* de M. Mallard (2).

Feldspaths, néphéline, amphigène, etc., et roches volcaniques.

MM. F. Fouqué et Michel Lévy (3) ont réussi à reproduire artificiellement les différents feldspaths par voie ignée. Pour cela, ils fondent, soit des feldspaths naturels, soit des mélanges artificiels contenant les éléments chimiques qui les constituent; ensuite, pendant plusieurs heures, ils maintiennent la masse fondue à une température voisine de celle de la fusion.

L'oligoclase s'est présenté sous forme de petits cristaux (*microlithes*) généralement très allongés et montrant souvent la mâcle

(*) Cette partie a été traitée par M. Delesse.
(1) *Bull. Soc. Vaud. sc. nat.* XVI, 81.
(2) *Bull. Soc. min.*, 1878, p. 5.
(3) *Comptes rendus*, LXXXVII, 700, 779, 961.

habituelle de l'albite. A la surface du culot, ces cristaux sont groupés en sphérolithes, comme les cristaux d'oligoclase que l'on rencontre aux salbandes de certaines roches éruptives (variolite de la Durance, minettes du Morvan).

Le labrador est encore mieux cristallisé. Ses cristaux se groupent en sphérolithes et offrent très nettement la mâcle de l'albite.

L'albite donne des cristaux peu nombreux et très fins.

L'anorthite forme des cristaux qui sont remarquables par leurs dimensions et qui contiennent beaucoup d'inclusions vitreuses à bulles de gaz.

L'orthose seul présente une cristallisation peu nette. Ce fait explique la rareté des microlithes d'orthose dans les roches sans excès de silice libre; et, suivant les auteurs, il montre aussi pourquoi l'orthose se trouve presque exclusivement dans des roches où l'intervention des agents volatils paraît avoir joué un rôle prédominant.

En opérant sur un mélange de labrador et d'augite, MM. Fouqué et Michel Lévy ont obtenu un produit identique aux variétés non péridotiques des laves communes de l'Etna.

Le même procédé leur a permis aussi de reproduire la néphéline, l'amphigène, et simultanément l'amphigène et le pyroxène. Dans ce dernier cas, les cristaux de pyroxène formés sont identiques à ceux des leucitophyres. La production du pyroxène est accompagnée de celle du fer oxydulé et du fer oligiste en lamelles transparentes d'un rouge vif.

Enfin la fusion d'un mélange de pyroxène et de néphéline a donné à MM. Fouqué et Michel Lévy de la néphéline typique, du spinelle vert pâle, du grenat mélanite, jaune brunâtre, et des microlithes très fins, très allongés, d'une substance incolore fibreuse.

Pseudomorphisme.

Bois noirci dans l'eau.

Les bois plongés dans l'eau prennent quelquefois une couleur noire, et l'analyse comparative de la partie normale et de la partie noircie permet de connaître quelle modification chimique a été éprouvée. Dans un pieu en chêne, planté au pont d'Orléans en 1762, M. Durand-Claye a analysé le cœur du bois, resté intact (I), et une couronne concentrique présentant, par suite d'altération, une couleur grisâtre (II) :

	Pour 100 de bois humide.				Analyse des cendres.										
	Humidité.	Produits combustibles.	Cendres.	Somme.	SiO^2	CaO	MgO	Fe^2O^3	PhO^5	SO^3	Cl	KO	NaO	CO^2, etc.	Somme.
I	20,27	79,21	0,52	100,00	4,30	72,10	3,98	0,70	0,51	1,36	0,90	0,84	0,56	14,75	100,00
II	13,90	85,58	0,52	100,00	10,00	60,80	3,38	5,00	0,51	1,70	0,54	0,66	0,40	17,01	100,00

Il est visible que, dans ce bois de chêne commençant à noircir, la composition chimique a été modifiée : l'oxyde de fer et la silice ont augmenté, tandis que l'eau et la chaux, aussi bien que l'acide phosphorique et les alcalis, ont diminué.

Dans un autre bois, provenant du bassin à flot de Bordeaux, noir comme de l'ébène, compacte et d'une densité s'élevant à 1,107, M. Durand-Claye a constaté que la proportion d'oxyde de fer, dans les cendres, pouvait dépasser 50 p. 100. Il attribue d'ailleurs la couleur noire à une formation de tannate de fer.

On sait que, dans les tourbières de l'Irlande, on trouve aussi des bois de chêne ayant une belle couleur noire, qui prennent très bien le poli et qui sont même avantageusement employés à la fabrication d'objets d'ornement et de bijouterie.

Crâne modifié.

Calaveras. — Dans un mémoire où il décrit d'une manière bien complète les graviers aurifères de la Sierra-Nevada de Californie, M. J.-D. Whitney (1) étudie spécialement un crâne humain trouvé dans le comté de Calaveras.

Un intérêt tout particulier s'attache à son examen; car, il a été rencontré dans le gravier aurifère sous plusieurs alternances de ce gravier avec des laves tantôt noires, tantôt blanchâtres, et sous un recouvrement qui atteignait une épaisseur d'environ 45 mètres. Sa largeur serait 150 millimètres; sa hauteur, 134 millimètres; son arche frontale, 300 millimètres; son diamètre zygomatique, 145 millimètres; et ces nombres sont très notablement supérieurs à ceux que présentent les crânes des Indiens de la région. Son analyse, faite par M. Sharples, a donné :

$3CaO,PhO^5$	CaO,CO^2	MgO,CO^2	SiO^2	Fe^2O^3	Matière organique.	Somme.
33,79	62,03	1,86	1.44	0,81	trace	99,93

Ce crâne de Calaveras a visiblement subi une profonde altération, attestée surtout par la disparition, presque complète, de sa matière organique; et c'est une raison de croire à sa haute ancienneté.

(1) *Memoire of the Museum of Comparative zoology*, VI.

Du reste, elle est confirmée par l'examen des graviers aurifères, puisqu'on y trouve des instruments fabriqués par l'homme, associés à des débris d'animaux et de plantes; or, les animaux sont le mastodonte, l'éléphant, le cheval et d'autres espèces éteintes en Amérique. Quant aux plantes, elles sont rapportées par M. Lesquereux au pliocène.

Il semble donc que l'homme ait existé en Californie avant l'extinction des volcans de la Sierra-Nevada, à une époque pendant laquelle la faune et la flore étaient très différentes de ce qu'elles sont maintenant, et qui paraîtrait même devoir être rapportée au pliocène?

Dent imprégnée de gypse.

Reims. — Une dent d'Arctocyon, trouvée par M. Lemoine (1) dans une marne de l'éocène inférieur des environs de Reims, a été analysée par M. Lajoue. Elle renferme moins de 50 p. 100 de chaux phosphatée et environ 26 p. 100 de carbonate de chaux, avec 9 p. 100 de sulfate de chaux. Ce sulfate de chaux provient intégralement, et le carbonate de chaux au moins partiellement, d'une infiltration qui a eu lieu dans la fossilisation.

Enstatite changée en stéatite.

MM. W.-C. Brögger et G. Vom Rath (2) ont étudié l'enstatite de Kjörrestad, près de Bamle, en Norwége, qui forme, avec du rutile, un peu d'apatite, du mica et du talc, un filon dans le micaschiste et dans le schiste amphibolique. L'enstatite s'y présente en gros cristaux orthorhombiques, comme l'a reconnu M. Des Cloizeaux, et ce minéral est souvent recouvert d'une enveloppe de stéatite, due à une altération qui pénètre par les fissures jusque dans l'intérieur des cristaux.

L'enstatite non altérée (I), ainsi que la stéatite (II) qui l'enveloppe, ont été analysées par MM. Brögger et Vom Rath :

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	HO	Somme.
I	3,153	58,00	1,35	3,16	—	36,91	0,80	100,22
II	2,867	57,62	1,48	1,96	0,12	34,72	4,38	100,28

On voit que, dans ce pseudomorphisme, il y a une assez grande

(1) *Ann. Soc. nat.*, 1878.
(2) *Jahresbericht der Chemie*, 1878, 1233.

diminution de la densité, mais que la composition chimique varie peu. Dans la stéatite, l'analyse accuse une diminution d'oxyde de fer et de magnésie, et une augmentation d'eau.

Orthose changé en blende.

M. l'ingénieur Carcanagues a trouvé en Serbie un cristal d'orthose pseudomorphosé. L'étude, qui en a été faite par M. Des Cloizeaux, lui a montré qu'il est formé de blende lamelleuse, accompagnée de mispickel cristallisé et de quartz.

Par cela même que l'orthose passe facilement à l'état de kaolin, surtout au voisinage de gîtes métallifères, on conçoit qu'il puisse assez fréquemment être pseudomorphosé par des minéraux métalliques.

Minéraux divers.

Nous résumerons encore plusieurs pseudomorphoses observées dans ces derniers temps, en les présentant sous forme de tableau (*Annales des mines*, 1859, XVI, 317) :

MINÉRAL pseudomorphique.	MINÉRAL originaire.	GISEMENT.	OBSERVATEURS.
Magnétite.	Fer oligiste.	Waldenstein, Carinthie.	E. Döll.
Hématite.	Pyrite magnétique.	Id.	Id.
Marcasite.	Sternbergite.	Joachimsthal.	Id.
Pyrite.	Bournonite.	Kapnik, Hongrie.	Id.
Id.	Cuivre gris.	Id.	Id.
Id.	Cuivre pyriteux.	Sichla, Hongrie.	Id.
Cinabre.	Stibine.	Mexique.	E. Sandberger
Talc.	Trémolite.	Koralpe, Carinthie.	G. Tschermak.
Chaux carbonatée.	Dolomie.	Traverselle, Piémont	Von Lasaulx.

Décomposition.

Décomposition du lignite à l'air.

Bischof (1) a analysé comparativement un lignite (I) et ce même lignite après qu'il avait été exposé à l'air pendant cinq années (II).

	C	H	O	Cendres.
I	58,94	5,70	22,60	12,76
II	52,65	4,76	24,75	17,82

L'altération subie par ce lignite est bien marquée; tandis que le carbone et l'hydrogène y ont diminué, l'oxygène et les cendres y ont augmenté.

(1) Rapport de M. Haton de la Goupillière à la commission d'études des moyens propres à prévenir les explosions de grisou.

Conservation inégale des différents tissus végétaux dans la fossilisation.

M. van Tieghem (1) a montré que la cellulose des tissus végétaux peut être dissoute et qu'elle fermente, avec dégagement de gaz, sous l'action du ferment Bacillus Amylobacter. Mais toutes les membranes végétales ne sont pas indifféremment attaquées par cet agent de destruction; celles où, par les progrès de l'âge, la cellulose s'est transformée ou incrustée (cuticule, liège, périderme, endoderme, fibres, vaisseaux du bois, cellules à membranes siliceuses ou calcaires) résistent à cette action. Certains tissus où la cellulose s'est pourtant conservée pure résistent aussi à la destruction, comme les fibres du liber, par exemple. On extrait ces fibres du chanvre par le rouissage, c'est-à-dire par l'action en grand des Amylobacter; ils détruisent tout le parenchyme voisin et laissent les fibres textiles intactes.

Chez les phanérogames submergés, les characées et les algues, aucun tissu n'est attaqué; la cellulose de tous les éléments de la tige et des feuilles résiste aux Amylobacter; c'est, pour ces sortes de plantes, une nécessité d'existence. Il en est de même pour les mousses, les sphaignes, les hépatiques, les feuilles des fougères; tandis que dans les rhizomes de fougères ou les tiges de prêles, le parenchyme est détruit; il ne subsiste que les parties lignifiées ou silicifiées.

Ainsi, les diverses plantes, toutes conditions égales d'ailleurs, présentent suivant leur nature des chances de fossilisation très inégales. Elles sont d'autant plus grandes que la cellulose résiste mieux à l'Amylobacter et que l'eau où elles se trouvent est moins propre au développement de ce petit être.

C'est ainsi que les plantes terrestres phanérogames seront difficilement conservées entières, tandis que les plantes aquatiques, le seront très-facilement, de même que la plupart des cryptogames. Si l'on rapproche l'étude des portions de tissu qui sont conservées chez les végétaux fossiles, de celle qu'offre la fermentation des diverses celluloses, on peut vérifier une concordance presque complète entre les deux séries de résultats.

On comprend dès lors qu'on ne puisse avoir qu'une idée fort imparfaite des anciennes flores. Des familles entières de plantes, très attaquables par les Amylobacter, comme les crucifères, par exemple, ont pu ne laisser aucune trace, alors qu'elles étaient très abondantes. On voit qu'il y a là une condition de destruction d'une

(1) *Comptes rendus*, 3 février 1879. (Extrait par M. Bonnier.)

importance capitale et dont il faut savoir tenir compte. Les études de M. van Tieghem intéressent donc d'une manière directe la paléontologie végétale.

Altération du calcaire.

DRÔME. — La montagne de la Raye, à 12 kilomètres au N.-E. de Crest, dans la Drôme, présente un calcaire, en couches presque verticales. Pour se rendre compte de l'altération que l'atmosphère fait subir à ce calcaire, il fallait l'analyser lui-même (I) et comparativement des échantillons minces détachés au marteau à sa surface (II). La moyenne de plusieurs expériences a donné à M. L. Durand-Claye :

	CaO	MgO	Al^2O^3 Fe^2O^3	CO^2,HO et produits non dosés.	Résidu insoluble.	Somme.
I	52,90	1,47	0,50	45,07	0,06	100,00
II	54,13	0,32	0,55	44,50	0,50	100,00
III	49,50	0,40	2,10	42,00	6,00	100,00

On voit qu'à la surface de ce calcaire le résidu insoluble a légèrement augmenté, tandis que la magnésie, plus soluble que la chaux, a au contraire diminué. Ces résultats sont conformes à ce que l'on pouvait prévoir d'après l'ablation produite à la surface du calcaire par l'atmosphère. Toutefois, il semblerait aussi que, dans un même poids de matière, la proportion de chaux peut devenir plus grande à la surface.

Ce même calcaire est traversé par des fentes verticales, entre lesquelles l'eau s'infiltre facilement; et, en analysant la poudre (III), grattée à la surface d'une de ces fentes, on a trouvé que son résidu insoluble s'élevait à 6 p. 100, tandis que sa chaux était alors réduite à 49,5 p. 100.

Altération de la serpentine.

HAUTE-VIENNE. — Un échantillon de serpentine décomposée, provenant de la Roche l'Abeille, a été analysé à l'École des mines :

SiO^2	Fe^2O^3	MgO	HO	Somme.
42,00	15,00	30,50	12,50	100,00

Cette serpentine paraît avoir été peu modifiée dans sa composition chimique; cependant elle est à un grand état de désagrégation, en sorte qu'on a essayé de l'utiliser en agriculture.

Désulfuration.

LES TAPETS. — La mine de soufre des Tapets, près d'Apt (Vaucluse), présente un exemple remarquable de l'altération que les couches peuvent éprouver dans l'intérieur de la terre, après leur dépôt.

Le soufre y imprègne intimement un calcaire dolomitique et gypseux, ayant environ $0^m,8$ d'épaisseur et appartenant au terrain miocène lacustre; dans les environs de Manosque, ce même terrain contient d'importants dépôts de lignite. M. Roux (1), l'exploitant de la mine, a reconnu que les couches sont sensiblement parallèles à la surface du sol et le soufre n'y fait pas défaut, quand elles se relèvent de manière à présenter des élévations ou des bombements; au contraire, lorsqu'elles s'abaissent en formant des dépressions ou des thalwegs souterrains dans lesquels les eaux devaient naturellement se rendre, le calcaire gypseux est devenu moins cohérent, celluleux comme une cargneule, et alors il est complètement dépourvu de soufre : on dit, dans ce cas, que le soufre a été *délavé;* en effet, la place qu'il occupait est restée vide, et quelquefois même on voit encore l'empreinte de ses cristaux.

Suivant M. l'ingénieur Lachat, le soufre a été dissous par le sulfure de calcium résultant de la décomposition du sulfate de chaux opérée par les matières organiques; il l'a été également par les hydrocarbures provenant des fossiles ou des lignites.

D'après M. l'ingénieur Villot, le soufre aurait été simplement *délavé* par les eaux superficielles; ces dernières, qui sont plus ou moins chargées d'acide carbonique et d'oxygène, l'auraient oxydé lentement.

Toujours est-il que le soufre a été dissous par les eaux s'infiltrant dans le sol. On constate, en effet, que les veines de gypse, qui se trouvaient à la partie supérieure du banc sulfurifère, ont disparu. De plus le calcaire, dans lequel les eaux vont former des nappes souterraines, a également été plus ou moins dissous dans les parties *délavées* qui, par cela même, sont devenues plus argileuses.

Enfin, il faut ajouter que si l'on suit la couche sulfurifère, le soufre disparaît par le mur, lorsqu'on arrive dans une partie *délavée;* tandis qu'il reparaît d'abord vers le toit, lorsqu'on repasse de cette dernière partie dans la couche sulfurifère. Il est donc certain que le soufre a été dissous par des eaux souterraines; l'on a constaté d'ailleurs qu'il manque aussi dans les affleurements, parce qu'il y a été détruit par l'atmosphère et par les eaux superficielles.

(1) *Notice sur le gisement sulfurifère des environs d'Apt* 1877.

Moulières.

PROVENCE. — Dans les mines de lignites des Bouches-du-Rhône, on rencontre assez souvent un accident que les mineurs désignent sous le nom de *Moulières* et M. Villot est porté à lui attribuer la même cause qu'à la désulfuration observée dans la mine des Tapets de laquelle nous venons de parler.

Dans les *moulières*, le lignite est transformé en une matière noirâtre, argileuse, n'ayant plus aucun de ses caractères chimiques habituels; cette matière est humide, acide, soluble dans la potasse et elle ressemble à de l'acide ulmique. En outre, dans les *moulières*, le calcaire a en partie disparu; les marnes ou les schistes se sont changés en argiles.

Ce phénomène des *moulières* paraît devoir être attribué simplement à l'action des eaux superficielles qui pénètrent dans le sous-sol; chargées d'acide carbonique, d'acides organiques et d'oxygène, elles dissolvent le calcaire; elles sulfatisent les pyrites et elles tendent à oxyder le lignite.

Elles peuvent d'ailleurs affluer en grande abondance par ces canaux souterrains qu'on nomme avents ou *puits absorbants* et qui sont si fréquents dans les roches calcaires.

Les *moulières* de la Provence offrent un exemple des nombreux effets de dissolution et de décomposition qui sont opérés par les eaux souterraines; des phénomènes analogues ont déjà été observés dans diverses mines, notamment dans les mines de combustibles et de sulfures métalliques.

Origine de l'alunite.

TOLFA. — D'après M. Ponzi (1), l'alunite forme, dans les trachytes de La Tolfa, des filons, parfois puissants, qui paraissent avoir été injectés dans les fractures de la roche trachytique, postérieurement à son apparition et à sa complète solidification. La roche d'alunite est un mélange de sulfates d'alumine et de potasse, de peroxyde de fer hydraté et de cristaux de pyrite.

M. Ponzi serait porté à croire que les dykes d'alunite étaient originairement un trachyte renfermant beaucoup de pyrites disséminées. L'infiltration progressive, dans cette roche poreuse, des eaux superficielles, saturées de l'oxygène atmosphérique, aurait déterminé l'oxydation de la plus grande partie de la pyrite et les réactions qui en sont la conséquence.

(1) *Accad. dei Lincei* [3], I. (Extrait par M. de Cossigny.)

Altération des filons métallifères.

TOLFA. — M. Ponzi (1) a remarqué, dans les filons de fer oxydulé et oligiste de La Tolfa, que le minerai ne se trouve pur qu'à de grandes profondeurs et qu'il est d'autant plus mélangé d'oxydes hydratés qu'on se rapproche davantage de la surface du sol. Vers les têtes de filons, il n'y a que des hématites et de la limonite, souvent même des dépôts ocreux. Comme les *chapeaux de fer* des mineurs, ces phénomènes doivent visiblement être attribués à une altération des filons par l'eau et par les agents atmosphériques.

M. Ponzi a remarqué aussi que la pyrite et le phosphate de fer se rencontrent assez fréquemment dans ces filons; mais seulement dans les parties altérées, et en proportion du degré d'altération. L'auteur considère le soufre et le phosphore comme ayant très probablement été introduits dans ces filons postérieurement à leur formation; du reste ils pouvaient provenir soit de la surface, soit de l'intérieur de la terre, puisque des émanations sulfureuses existent encore dans le voisinage.

Rubéfaction.

MM. Van den Broeck et Rutot ont appelé l'attention sur l'importance de la rubéfaction à la surface du sol et aussi sur ce qu'on nomme d'une manière générale le diluvium rouge.

A ce sujet, M. Delesse fera remarquer que la formation du diluvium rouge est fort complexe et de plus qu'elle doit avoir eu lieu à toutes les époques.

Si l'on considère des terrains calcaires, leurs plateaux sont habituellement recouverts par une argile rouge, qui peut être plus ou moins mélangée avec les divers débris qui en proviennent, particulièrement avec du quartz, de la meulière et du silex non roulé. En France, c'est surtout bien visible pour la craie et les calcaires crétacés, parce qu'ils contiennent beaucoup de silex; mais c'est également ce qui a lieu pour les calcaires paléozoïques et jurassiques, pour le calcaire grossier et aussi pour les calcaires lacustres. Ces dépôts argilo-siliceux ont d'ailleurs des caractères variables avec les calcaires qui les supportent et l'on conçoit qu'ils se montrent souvent très riches en silex.

Depuis longtemps, divers savants parmi lesquels il y a lieu de mentionner M. Contejean, ont attribué ce diluvium rouge des plateaux calcaires à une ablation produite par l'atmosphère (2).

(1) *Accad. dei Lincei* [3], I. (Extrait par M. de Cossigny.)
(2) Cette idée a encore été formulée par MM. Berendt, Orth et les géologues allemands, par M. de Lapparent et récemment par M. Lodin.

En effet, les eaux météoriques se chargent fortement d'acide carbonique en s'infiltrant dans la terre végétale qui, d'après M. Boussingault, contient un air pouvant renfermer jusqu'à 10 p. 100 de ce gaz; en outre, elles se chargent d'acides provenant des matières organiques et de la terre végétale; par suite, elles doivent dissoudre lentement et d'une manière continue le calcaire du sous-sol. L'analyse démontre du reste que, dans les sols calcaires, il y a toujours moins de carbonate de chaux dans une terre végétale que dans le sous-sol qu'elle recouvre.

L'origine de cette argile rouge des plateaux calcaires peut être fort complexe. D'une part, elle est le résidu de la dissolution du calcaire et elle a été engendrée par ablation. D'autre part, elle doit s'accroître des dépôts formés par les poussières impalpables tenues en suspension dans l'atmosphère et par les sables que les vents entraînent au loin. A différentes reprises, on s'est même demandé si l'argile rouge des plateaux n'avait pas, pour une certaine part, une origine cosmique?

D'après des recherches de MM. G. Tissandier et S. Meunier, elle renferme, en tout cas, des grains microscopiques de fer qui est allié à du nickel, comme dans les fers météoriques.

Enfin, considérant que l'argile rouge remplit souvent des puits très profonds, d'Omalius d'Halloy et divers savants ont pensé qu'elle pouvait aussi être d'origine geysérienne et avoir été rejetée de l'intérieur de la terre.

Quoi qu'il en soit, l'argile rouge s'observe constamment à la surface des plateaux calcaires, où elle résulte, au moins en partie, d'une ablation et de l'action de l'atmosphère.

Dans les environs de Paris, lorsqu'on compare le diluvium rouge des plateaux au diluvium gris occupant le fond des vallées, on constate entre eux des différences tranchées. Indépendamment de ce que le premier présente une couleur rouge et se trouve à un niveau plus élevé, il ne contient pas de fossiles; bien qu'il renferme des blocs erratiques pouvant avoir été transportés d'une grande distance, ses gros débris sont souvent peu roulés et proviennent en partie des terrains sous-jacents ou de ceux qui, à l'amont, se trouvent en place dans les environs.

La formation du diluvium rouge a pu avoir lieu à toutes les époques, et son âge n'a d'autre limite inférieure que l'âge des terrains sur lesquels il repose. Sur les plateaux, il est plus ancien que le diluvium qui marque l'origine de la période quaternaire.

D'un autre côté, le diluvium gris ou le diluvium jaune des vallées peuvent eux-mêmes être recouverts par un diluvium rouge

spécial qui semble quelquefois les raviner et qui résulte d'une ablation ainsi que d'une rubéfaction de leur partie supérieure.

Ce dernier diluvium rouge est plus récent que celui des plateaux et habituellement moins épais. Comme M. Van den Broeck, je suis porté à croire qu'il ne constitue pas un dépôt de transport particulier, mais qu'il s'est formé sur place par l'action combinée de l'atmosphère et des eaux pluviales qui, s'infiltrant dans le sol, ont donné lieu à une rubéfaction à sa surface.

Métamorphisme spécial.

Fulgurite.

STARCZYNOW. — M. Ferd. Roemer (1) a étudié avec M. Schneider les fulgurites qui s'observent en très grand nombre dans le sable quartzeux de Starczynow, près d'Olkusz, en Pologne. Ces fulgurites forment des tubes irréguliers dont l'épaisseur moyenne est d'environ $0^{m},025$, mais qui peuvent aussi atteindre la grosseur du bras; on en a même extrait dont la longueur dépassait 2 mètres. Leur section est arrondie ou aplatie, ou même anguleuse. Pour des tubes de la grosseur du doigt, l'épaisseur des parois est habituellement de 1 à 2 millimètres. Les parois des petits tubes sont souvent traversés, sur certains points, par des canaux microscopiques arrondis; elles sont aussi translucides et très friables. Le sable qui les entoure est devenu d'un rouge brique mat, jusqu'à une distance de 7 centimètres. A l'extérieur des fulgurites, on distingue encore les grains de quartz; toutefois ils sont devenus blancs et ont perdu leur transparence; à l'intérieur, leur fusion a été complète et ils ont donné une masse vitreuse amorphe.

Une carte indiquant l'emplacement de 26 fulgurites trouvées par M. F. Roemer à Starczynow, montre clairement qu'elles ont une tendance manifeste à s'aligner suivant des traînées dirigées du N.-E. au S.-O. (2).

GROSSGLOCKNER. — M. Geinitz (3) a également donné une description des effets de fusion qui ont été produits par la foudre sur le sommet du Grossglockner.

Calcaire métamorphosé en tuf au voisinage du basalte.

VICENTIN. — MM. Hébert et Munier-Chalmas (4) ont observé

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 33.
(2) *Revue de géologie*, XIII, 221.
(3) *Gesellschaft Isis*, 1875, 641.
(4) *Comptes rendus*, LXXXV, 1878.

que les couches calcaires se trouvant à la base du tertiaire du Vicentin, se présentent souvent à l'état de tufs, dépourvus de calcaires.

Ces tufs, toujours voisins des dykes basaltiques, doivent être considérés non comme des dépôts originaires, mais comme le produit d'une désagrégation ou d'une dissolution sur place des calcaires à grain grossier de la base du tertiaire, par des agents aqueux venus de l'intérieur de la terre. La *scaglia*, couche supérieure du crétacé, étant à texture beaucoup plus serrée, ne présente jamais de pareils tufs.

Fer oligiste changé en carbonate et imprégné de pyrite.

LANDENNE. — A la mine de Landenne, du fer oligiste oolithique, intercalé dans les schistes dévoniens de la Famenne, a présenté à M. Firket (1) un métamorphisme qui paraît devoir être attribué au remplissage d'un filon de pyrite de fer qui le traverse.

En effet, au contact même de ce filon, dont la puissance est seulement de $0^m,02$, le fer oligiste est devenu blanc et a été changé en fer carbonaté. Jusqu'à la distance de 10 mètres du filon, il est fortement mélangé de fer carbonaté; ce dernier se distingue très bien par sa couleur blanc-jaunâtre; il s'est développé dans toute la couche de fer oligiste, dont l'épaisseur mesure $1^m,45$, et il se montre surtout à son toit, qui est plus perméable que son mur. De petits grains de pyrite de fer et d'un silicate de fer ayant une couleur verte s'observent aussi dans la partie du fer oligiste qui a été métamorphosée.

Comme l'observe M. Firket, il est vraisemblable que le métamorphisme du fer oligiste a été opéré par les agents qui ont formé le filon de pyrite de fer et en particulier par de l'acide carbonique; ils ont imprégné la couche d'oligiste avec de la pyrite de fer, et de plus ils l'ont transformé en fer spathique.

Imprégnation par des filons métallifères.

CÉVENNES. — Les roches sédimentaires superposées au granite du Plateau central de la France, ont souvent été métallisées et imprégnées par les minéraux qui forment les gangues des filons métallifères, notamment par le quartz, la baryte sulfatée, la chaux fluatée et carbonatée. Les minerais métalliques, associés à ces gangues, peuvent d'ailleurs être la pyrite de fer, la galène, la blende, la pyrite de cuivre, la stibine et divers produits résultant de la décomposition de ces sulfures.

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, t. XLV, 1878.

Dans les Cévennes, en particulier, la stibine est assez abondante pour être exploitée comme minerai d'antimoine. Ainsi, à Charmes, dans l'Ardèche, on voit de la dolomie triasique, recouvrant le granite sur une faible épaisseur, qui a été fortement métamorphosée par l'arrivée de silice accompagnée de stibine. Cette dolomie présente des amas irréguliers et sans allure déterminée, consistant en silex brun, accompagné de barytine et de stibine formant tantôt des veines et tantôt des nodules radiés. Il y a aussi des mouches de pyrite de fer, et près de là, à Soyons, cette pyrite donne même lieu à une exploitation importante.

Il est visible que la métallisation de la dolomie triasique de Charmes doit être attribuée à des sources minérales émergeant du granite qui la supporte.

Métamorphisme produit par les filons d'étain.

CORNOUAILLES. — M. Le Neve Foster (1) a continué les études que nous avons déjà mentionnées précédemment, et elles mettent bien en évidence le métamorphisme exercé par les filons d'étain.

Dans le filon connu sous le nom de *Great Flat Lode*, qui est situé près de Redruth, l'inclinaison est d'environ 46°. Sa masse est du schorl stannifère, contenant de 1 à 3 p. 100 de cassitérite en grains ou en veinules. Un schorl-rock, pauvre en étain, sépare le filon du granite ou du killas; mais le passage est progressif et l'on ne peut pas distinguer de *mur* proprement dit. L'auteur pense que la fissure centrale, qui règne d'un bout à l'autre du filon, a servi de chemin à des vapeurs ou à des dissolutions qui ont entièrement altéré les roches au contact, en transformant soit le granite, soit le *killas* en schorl-rock.

La même conclusion s'applique, selon M. Le Neve Foster, aux amas stannifères de Wendron, où la roche est un mélange de minerai d'étain avec quartz, chlorite, gilbertite, pyrite; tous ces dépôts sont, pour l'auteur, non des filons, mais des bandes de granite métamorphosé, où l'on peut suivre souvent les fissures et les plans de joint de la roche encaissante.

Nous rappellerons que cette manière de voir s'accorde avec les vues depuis longtemps développées sur l'origine des gisements stannifères, par M. Daubrée et par d'autres géologues.

— Les gites stannifères en amas ou *stockwerks* du Cornouailles ont encore été étudiés par M. Le Neve Forster. On sait que ces amas peuvent se rencontrer dans le granite, dans le *killas*

(1) *Geol. Society*, 9 janv. 1878. — *Revue de géologie*, XV, 197.

et dans l'*elvan*. Le minerai d'étain, associé au quartz et à de petites quantités d'autres minéraux, forme des veinules, plus ou moins parallèles, qui souvent s'anastomosent. Dans le *killas*, la roche voisine de l'amas est souvent changée en schiste à tourmaline; dans le granite, les murs du gîte, et souvent toute la masse du granite, sont changés en *greisen* et en *schorl-rock*. A Carclaze, l'orthose du granite a été changé en kaolin, qui forme maintenant l'objet principal de l'exploitation. A Carrigan, le gîte n'adhère à la roche encaissante que d'un côté, l'autre étant formé par une salebande d'argile avec cristaux brisés de cassitérite, d'où l'auteur infère qu'il y a eu déplacement des parois depuis le dépôt du minerai d'étain. Parmi les amas de l'*elvan*, le plus intéressant est celui de la mine Terras, où l'on trouve une série de cavités provenant de la disparition de l'orthose et occupées aujourd'hui par du schorl et un peu de cassitérite.

Granite au contact de la diorite.

ILMENAU. — La diorite labradorique d'Ilmenau, dont la composition a été donnée précédemment, est traversée par des filons de granite et, près du contact, M. E. E. Schmid (1) a observé, sur environ 1 millimètre d'épaisseur, une roche aphanitique gris-verdâtre, puis des taches rougeâtres et jaune-brunâtre, et enfin un mélange à gros grains contenant de l'épidote verte, du grenat brun, ainsi que du feldspath péricline blanchâtre.

Grunstein au contact de diverses roches.

OLONEZ — Le métamorphisme que les grunsteins exercent au contact de diverses roches a été étudié au microscope par M. Inostranzeff (2) qui a dressé en même temps une carte géologique d'une partie du gouvernement d'Olonez dans lequel il les a observés. Les roches désignées ici sous le nom général de grunstein appartiennent à la diorite, à la diorite chloritée, à la diorite micacée, à la diorite épidotée, à la diorite talqueuse, ainsi qu'à des roches à base de chlorite, de talc, de mica, d'actinote, d'épidote et à leurs variétés.

Quant aux roches s'observant à leur contact, ce sont : la dolomie, le calcaire, le quarzite, le schiste argileux.

D'après M. Inostranzeff, lorsque la diorite est au contact de la dolomie ou du calcaire, on y distingue de petits grains brun-noirâtres et des concrétions qui présentent du fer oxydulé, du fer oligiste et hématite, de l'actinote, de l'anorthose, de la chlorite, de l'épidote et de l'argile. Généralement, il y a une petite zone de dolomie, et de la tourmaline a été observée dans le calcaire. Lorsque la diorite est au contact du quartzite, elle devient amygdaloïde, et ce dernier prend une structure poreuse. Dans la quarzite poreux, il y a de la dolomie, un peu de calcite, de l'actinote, de la chlorite, du talc, de l'oxyde de fer. Si le quarzite est complètement enveloppé par la diorite, on y reconnaît des fissures qui ont été remplies par de la dolomie; et, sur les bords des fragments, il s'est formé de l'épidote et du quartz. Lorsque la diorite est au contact du schiste argileux, ce dernier s'est changé en une roche avec parties argileuses et anorthosées, qui contient aussi un peu d'hornblende, de mica ferro-magnésien, de chlorite et des microlites de quartz. Enfin, M. Inostranzeff fait la remarque générale que toutes ces roches de contact sont riches en minéraux à base de fer.

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1876, 1282.
(2) *Studien über metamorphosirte Gesteine in Gouvernement Olonez*, 1879.

Minéraux développés postérieurement dans le trachyte.

LE CAPUCIN. — Le trachyte du Capucin, au Mont-Dore, présente des associations de minéraux qui ont été étudiées par MM. Des Cloizeaux et Gonnard. Ces minéraux se sont formés postérieurement à la consolidation du trachyte et dans les cavités qu'ils tapissent, ils semblent résulter d'une sublimation. Signalons le tridymite, l'hypersthène, la Breislakite, l'orthose, l'oligoclase, le zircon rose, quelquefois le grenat, la magnétite et fréquemment la cordiérite. Ce dernier minéral, en particulier, se montre en veines d'une couleur bleu foncé, qui sont injectées dans le trachyte.

Métamorphisme général.

Calcaire cristallin.

FINSTERAARHORN. — M. Baltzer (1) a étudié des gisements de marbre situés sur le bord septentrional du massif du Finsteraarhorn. En général, le marbre se trouve à la pointe des coins de calcaire jurassique enclavés dans le gneiss. Comme on l'a reconnu depuis longtemps, la transformation en marbre n'est pas due, dans ce cas, au contact d'une roche éruptive; on peut même l'observer dans des parties de calcaire très éloignées du gneiss. D'un autre côté, le métamorphisme n'a pas été assez énergique pour que des minéraux silicatés se soient développés vers le contact du gneiss, ainsi qu'on le constate dans les calcaires cristallins des Pyrénées, des Vosges, de la Norwége (2). La transformation en marbre des calcaires du

(1) *Neues Jahrb.*, 1878, 673.
(2) Delesse, *Études sur le métamorphisme des roches.*

Finsteraarhorn paraît résulter d'une cause mécanique. Comme l'observe M. Baltzer, on doit probablement l'attribuer aux compressions déterminées dans l'intérieur du massif par le soulèvement et le plissement des Alpes, ainsi qu'à la chaleur développée par les frottements qui en ont été la conséquence.

Schiste cristallin.

LAC SUPÉRIEUR. — M. Wichmann (1) a examiné au microscope la structure des schistes argileux hurouiens des environs du Lac Supérieur. Il a été conduit à admettre que les éléments cristallins de ces schistes se sont formés par agrégation pendant qu'ils étaient encore plastiques. L'auteur ne repousse pas complètement, néanmoins, l'intervention postérieure du métamorphisme; par suite, il distingue quatre étapes dans la formation des schistes huroniens : 1° le dépôt de la vase; 2° la formation de minéraux dans la vase encore plastique; 3° la séparation des matériaux pendant la solidification; 4° une certaine action ultérieure.

Endomorphisme.

Ilvaïte au contact du minerai de fer avec le calcaire.

TOSCANE. — L'ilvaïte se rencontre à l'île d'Elbe, dans les mines de fer du Cap Calamita et de Rio; mais il est remarquable qu'elle se trouve seulement dans les parties des filons qui sont en rapport intime avec les calcaires ou les dolomies. M. vom Rath (2) remarque que, dans le Campigliese, où il existe un dyke puissant d'ilvaïte, la roche encaissante est encore un calcaire saccharoïde. Une telle coïncidence ne saurait être fortuite, et la réaction de la roche calcaire encaissante sur le minerai de fer est d'autant plus manifeste que l'ilvaïte est un minéral très peu répandu dans la nature et qui n'appartient pas à la généralité des filons.

Salbande.

OLONEZ. — M. Inostranzeff a étudié les salbandes de filons qui sont enclavés dans divers grunsteins et dans le gneiss du gouvernement d'Olonez. Ces filons appartiennent au quartz ou à la diorite; et, à l'aide du microscope, M. Inostranzeff a reconnu dans leurs salbandes des associations variées de quartz et d'épidote, avec la chlorite et l'actinote et avec le fer oligiste ainsi que le fer arsénical (Leukoxène).

(1) *Geol. Society*, 19 juin 1878.
(2) Lotti. *Boll. R. Comit. geol. d'Italia*, 1877. (Extrait par M. de Cossigny.)

STATISTIQUE
DE
l'Industrie Minérale de la France.

PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, DES FERS, DES TÔLES ET DES ACIERS PENDANT L'ANNÉE 1879. (*)

I. — Combustibles minéraux.

TABLEAU DE LA PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS.	Houille et anthracite.	Lignite.	PRODUCTION totale en 1879.	PRODUCTION totale en 1878.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Ain	»	545	545	591
Allier	842.621	»	842.621	832.352
Alpes (Basses-)	»	39.818	39.818	44.198
Alpes (Hautes-)	6.755	»	6.755	6.252
Ardèche	21.881	1.209	23.090	16.400
Aude	»	218	218	355
Aveyron	678.651	4.057	682.708	672.710
Bouches-du-Rhône	»	427.850	427.850	419.351
Calvados	4.800	»	4.800	6.974
Cantal	2.144	»	2.144	3.161
Corrèze	4.538	»	4.538	4.784
Côte-d'Or	8.009	»	8.009	7.639
Creuse	160.681	»	160.681	201.873
Dordogne	»	543	543	730
Drôme	»	215	215	230
Gard	1.796.315	19.825	1.816.140	1.698.651
Hérault	221.685	483	222.168	242.593
Isère	99.258	2.110	101.368	97.284
Landes	»	»	»	30
Loire	3.054.428	»	3.054.428	3.113.428
Loire (Haute-)	211.918	»	211.918	216.687
Loire-inférieure	21.555	»	21.555	23.339
Lot	1.358	»	1.358	1.184
Maine-et-Loire	31.745	»	31.745	33.522
Mayenne	61.906	»	61.906	76.333
Nièvre	173.739	»	173.739	183.362
Nord	3.170.986	»	3.170.986	3.240.004
Pas-de-Calais	4.174.800	»	4.174.800	3.829.851
Puy-de-Dôme	174.333	»	174.333	186.608
A reporter	14.924.106	496.873	15.420.979	15.160.476

(*) Ces tableaux sont tirés des états qui ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal Officiel* (numéros des 30 août 1879 et 12 mars 1880) et qui sont dressés à l'aide des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des Mines. Tous les chiffres inscrits sur les tableaux, pour 1879, sont provisoires. Le dépouillement des états *annuels* a permis d'y joindre la statistique *définitive* de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers, en 1878.

TABLEAU DE LA PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT (suite).

DÉPARTEMENTS.	Houille et anthracite.	Lignite.	PRODUCTION totale en 1879.	PRODUCTION totale en 1878.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Report.....	14.924.106	496.873	15.420.979	15.160.476
Pyrénées (Basses-).....	55	»	55	230
Pyrénées (Hautes-).....	»	»	»	800
Pyrénées-Orientales...	»	1.439	1.439	676
Rhône.....	34.002	»	34.002	33.344
Saône (Haute-).....	164.060	10.914	174.974	191.853
Saône-et-Loire.....	1.084.502	»	1.084.502	1.164.952
Sarthe.....	18.301	»	18.301	24.065
Savoie.....	14.590	»	14.590	17.957
Savoie (Haute-).....	120	2.334	2.154	4.456
Sèvres (Deux-).....	16.752	»	16.752	24.258
Tarn.....	293.800	»	293.800	291.620
Var.....	7.106	3.086	10.492	9.968
Vaucluse.....	»	7.350	7.350	8.876
Vendée.....	19.460	»	19.460	25.380
Vosges.....	»	5.635	5.635	2.005
Totaux.....	16.576.854	527.631	17.104.485	16.960.916

TABLEAU DE LA PRODUCTION PAR BASSIN.

NOMS DES BASSINS.	NOMS des départements dans lesquels les bassins sont situés.	PRODUCTION en 1879.	PRODUCTION en 1878.
		tonnes.	tonnes.
I. Houille et Anthracite.			
Valenciennes.....	Nord. — Pas-de-Calais.	7.251.969	6.992.122
Loire.....	Loire. — Rhône.....	3.050.177	3.107.986
Alais.....	Ardèche. — Gard.....	1.797.873	1.682.325
Creusot et Blanzy.....	Saône-et-Loire.....	938.118	1.010.955
Commentry.....	Allier.....	770.963	757.639
Aubin.....	Aveyron.....	665.770	656.455
Carmaux.....	Tarn.....	293.800	291.620
Brassac.....	Loire (Haute-). — Puy-de-Dôme.....	228.099	218.560
Graissessac.....	Hérault.....	221.685	240.749
Decize.....	Nièvre.....	173.739	183.362
Ronchamp.....	Saône (Haute-).....	164.060	182.674
Ahun.....	Creuse.....	158.783	199.096
Saint-Eloy.....	Puy-de-Dôme.....	127.450	145.732
Epinac.....	Saône-et-Loire.....	121.411	131.074
Le Drac.....	Isère.....	95.210	93.847
Hardinghen.....	Pas-de-Calais.....	93.817	77.733
Le Maine.....	Mayenne. — Sarthe...	78.696	97.387
Basse-Loire.....	Loire-Inférieure. — Maine-et-Loire.....	53.300	56.861
	A reporter.....	16.284.920	16.126.177

TABLEAU DE LA PRODUCTION PAR BASSIN (suite).

NOMS DES BASSINS.	NOMS des départements dans lesquels les bassins sont situés.	PRODUCTION en 1879.	PRODUCTION en 1878.
		tonnes	tonnes.
	Report.....	16.284.920	16.126.177
Bert.....	Allier.....	38.276	41.503
Vouvant et Chantonnay	Sèvres (deux-). — Vendée	36.212	49.638
Sainte-Foy-l'Argentière	Rhône.....	34.002	33.344
Buxière-la-Grue.....	Allier.....	33.382	33.210
Langeac.....	Loire (Haute-).....	27.823	36.206
La Chapelle-sous-Dun.	Saône-et-Loire.....	24.973	22.923
Maurienne-Tarentaise et Briançon.....	Alpes (Hautes-). — Savoie.....	21.345	24.209
Le Vigau.....	Gard.....	13.170	7.696
Rodez.....	Aveyron.....	12.881	11.708
Aubenas.....	Ardèche.....	7.153	5.871
Fréjus.....	Var.....	7.106	7.670
Sincey.....	Côte-d'Or.....	6.839	7.639
Littry.....	Calvados.....	4.800	6.974
Roanne.....	Loire.....	4.251	5.442
Communay.....	Isère.....	3.296	585
Terrasson.....	Corrèze. — Dordogne.	2.960	3.243
Bourg-Lastic.....	Puy-de-Dôme.....	2.879	2.797
Champagnac.....	Cantal.....	2.144	3.161
Bourganeuf.....	Creuse.....	1.898	2.777
Saint-Pierre-la-Cour..	Mayenne.....	1.511	3.011
Saint-Perdoux.....	Lot.....	1.358	1.184
Meymac.....	Corrèze.....	1.305	1.039
Aubigny-la-Ronce....	Côte-d'Or.....	1.170	»
Autres bassins (5).....	.....	1.200	2.643
Totaux pour les houilles.....		16.576.854	16.440.650
II. Lignite.			
Aix.....	Bouches-du-Rhône. — Var.....	429.480	420.381
Manosque.....	Alpes (Basses-). — Vaucluse.....	39.818	44.198
Bagnols.....	Gard.....	16.001	13.706
Gouhenans.....	Saône (Haute-).....	10.914	9.179
Orange.....	Vaucluse.....	5.950	7.664
Norroy.....	Vosges.....	5.635	2.005
Milhau.....	Aveyron.....	4.057	4.547
Entrevernes.....	Savoie (Haute-).....	2.334	4.456
La Tour-du-Pin.....	Isère.....	2.110	2.021
Barjac.....	Gard.....	2.048	2.291
La Cadière.....	Var.....	1.456	1.268
Célas.....	Gard.....	1.452	1.827
Estavar.....	Pyrénées-Orientales...	1.439	676
Méthamis.....	Vaucluse.....	1.400	1.212
Banc-Rouge.....	Ardèche.....	1.209	1.083
Autres bassins (6 en 1879, 8 en 1878)....	.....	2.328	3.752
Totaux pour les lignites.....		527.631	520.266
Totaux généraux.....		17.104.485	16.960.916

II. — Industrie sidérurgique.

TABLEAU DE LA PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS.	FONTE au coke.	FONTE au bois.	FONTE mixte.	PRODUCTION totale en 1879.	PRODUCTION. totale en 1878.
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	78.662	»	»	78.662	83.434
Ardèche	56.155	»	»	56.155	76.176
Ardeunes	15.080	86	»	15.166	15.298
Ariège	13.455	«	»	13.455	16.840
Aveyron	27.938	»	»	27.938	31.869
Bouches-du-Rhône	24.515	»	»	24.515	23.523
Charente	»	240	»	240	260
Cher	10.855	1.915	4.855	17.625	30.996
Corse	»	5.394	»	5.394	4.560
Côtes-d'Or	»	»	»	»	1.180
Côtes-du-Nord	»	131	»	131	332
Dordogne	»	790	«	790	4.300
Doubs	»	395	»	395	520
Eure	»	»	»	»	3.189
Gard	106.571	»	»	106.571	100.013
Gironde	»	2.587	»	2.587	2.799
Ille-et-Vilaine	»	»	»	»	429
Indre	»	»	»	»	902
Isère	16.020	1.058	»	17.078	20.983
Jura	6.150	»	»	6.150	9.084
Landes	»	13.675	»	13.675	16.059
Loire	56.533	»	»	56.533	58.039
Loire-Inférieure	5.188	354	»	5.542	4.347
Lot-et-Garonne	14.650	180	»	14.830	14.120
Marne	2.435	»	»	2.435	1.820
Marne (Haute-)	34.238	6.782	20.172	61.192	80.965
Mayenne	3.087	»	»	3.087	1.461
Meurthe-et-Moselle	425.685	2.181	»	427.866	440.468
Meuse	7.295	1.000	100	8.395	11.920
Nord	170.167	»	»	170.167	181.108
Pas-de-Calais	36.318	»	»	36.318	47.298
Pyrénées-Orientales	»	5.462	244	5.706	10.387
Rhône	50.031	»	»	50.031	63.025
Saône (Haute-)	4.158	»	»	4.158	8.333
Saône-et-Loire	139.407	»	»	139.407	150.472
Sarthe	«	»	»	»	1.022
Tarn-et-Garonne	1.045	»	»	1.045	3.743
Totaux	1.305.638	42.230	25.371	1.373.239	1.521.274

TABLEAU DE LA PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS	ACIER FONDU au foyer Bessemer ou au réverbère (Siemens-Martin, etc.)			Acier puddlé ou de forge.	Acier cémenté	Acier fondu au creuset.	Production totale en 1879.	Production totale en 1878.
	Rails	Aciers divers	Tôles					
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allier (1)	18.700	2.927	27	130	»	»	21.784	22.671
Ardennes	»	»	»	»	55	25	80	68
Ariège	»	»	»	2.030	»	»	2.030	4.756
Aveyron	21.293	»	»	»	»	»	21.293	9.285
Charente	»	630	»	»	»	»	630	640
Côtes-du-Nord	»	7	»	25	5	7	44	30
Finistère	»	»	»	»	»	2	2	5
Gard (1)	58.455	1.293	»	»	»	»	59.748	46.305
Garonne (Haute-)	»	»	»	»	96	»	96	171
Isère	»	2.000	»	3.113	288	516	5.917	5.100
Loire (1)	61.347	14.237	7.597	6.242	3.035	5.385	97.843	112.001
Meurthe-et-Moselle	»	»	»	1.380	»	»	1.380	1.266
Meuse	»	»	37	»	»	»	37	140
Morbihan	»	»	340	»	»	80	420	»
Nièvre	6.391	2.327	167	158	»	578	9.621	12.426
Nord	30.951	99	418	»	»	»	31.468	35.556
Oise	»	15	86	»	»	»	101	»
Rhône (1)	»	»	»	»	»	»	»	»
Saône-et-Loire	52.419	12.310	6.449	»	»	»	71.172	61.192
Seine	»	»	»	»	»	»	»	205
Tarn	»	»	»	608	220	376	1.204	1.104
Totaux	249.550	35.845	15.121	13.686	3.699	6.969	324.873	312.921

(1) Les lingots ou massiaux transformés dans des départements autres que ceux où ils ont été produits, ne figurent pas sur le tableau, pour ne pas faire double emploi.

TABLEAU DE LA PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS	RAILS	FERS MARCHANDS et fers spéciaux affinés et réchauffés.			TÔLES fabriquées avec du fer			Production totale en 1879.	Production totale en 1878.
		à la houille.	au bois.	aux deux combustibles	à la houille.	au bois	aux deux combustibles.		
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Aisne	»	»	»	»	767	»	320	1.087	720
Allier	3.475	17.278	»	1.940	9.469	»	»	32.162	32.204
Ardennes (1)	»	37.685	30	2.400	15.460	4.250	1.628	61.453	56.210
Ariège	»	8.385	400	»	»	»	»	8.785	9.290
Aube	»	6.145	»	1.779	»	»	»	7.924	7.835
Aveyron	13.309	10.017	»	»	2.587	»	»	25.913	33.488
Bouches-du-Rhône	»	1.157	»	»	»	»	»	1.157	1.214
Charente	»	»	130	»	»	»	»	130	155
Cher	»	2.000	»	780	»	»	»	2.780	3.042
Corse	»	»	»	»	»	»	»	»	255
Côte-d'Or	»	10.609	2.182	763	340	»	»	13.894	14.079
Côtes-du-Nord	»	»	1.325	1.204	»	»	»	2.529	2.247
Dordogne	»	»	540	570	»	»	»	1.110	4.215
A reporter	16.784	93.276	4.607	9.436	28.623	4.250	1.948	158.924	164.954

(1) Les fers bruts ou massiaux transformés dans des départements autres que ceux où ils ont été produits, ne figurent pas sur le tableau, pour ne pas faire double emploi.

TABLEAU DE LA PRODUCTION DES FERS. (suite)

DÉPARTEMENTS	RAILS	FERS MARCHANDS et fers spéciaux affinés et réchauffés.			TÔLES fabriquées avec du fer			Production totale en 1879.	Production totale en 1878.
		à la houille.	au bois.	aux deux combustibles.	à la houille.	au bois	aux deux combustibles.		
	tonnes	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Report	16.784	93.276	4.607	9.436	28.623	4.250	1.948	158.924	164.954
Doubs (1)	»	132	625	885	488	1.149	560	3.839	3.556
Finistère	»	827	»	»	»	»	»	827	817
Gard (1)	1 333	20.088	»	»	»	»	»	21.421	20.456
Garonne (Haute-)	»	850	1.129	1.745	»	»	»	3.724	2.659
Gironde	»	»	880	»	»	»	»	880	1.000
Ille-et-Vilaine	»	»	80	»	»	»	»	80	320
Indre (1)	»	»	108	112	»	»	»	220	502
Isère	879	8.618	81	207	658	»	3	10.446	8.493
Jura	283	9.127	»	»	7.348	213	1.515	18.486	18.240
Landes	»	»	2.045	937	»	»	»	2.982	2.893
Loir-et-Cher	»	»	92	»	»	»	»	92	185
Loire	654	43.127	»	»	16.041	»	»	59.822	68.505
Loire-Inférieure	»	7.032	»	»	»	»	»	7.032	5.000
Lot-et-Garonne	»	»	180	»	»	»	»	180	145
Marne (Haute-)	»	72.133	»	4.237	4.840	60	50	81.320	77.927
Meurthe-et-Moselle (1)	»	34.475	1.202	»	7.419	»	»	43.096	40.115
Meuse	20	17.000	»	»	700	»	»	17.720	17.140
Morbihan	»	»	»	»	1.867	»	3.434	5.301	4.460
Nièvre (1)	213	12.232	»	545	»	»	449	13.439	16.812
Nord	17.482	210.998	»	»	25.766	»	»	254.246	249.482
Oise	»	18.532	486	185	7.583	1.546	4.158	32.490	28.584
Orne	»	»	»	173	»	»	»	173	190
Pas-de-Calais	»	449	»	»	»	»	»	449	390
Pyrénées (Basses-)	»	»	215	»	»	»	»	215	281
Pyrénées-Orientales	»	»	540	»	»	»	»	540	538
Rhin (Haut-) Ter. de Belfort.	»	»	398	1.500	»	»	»	1.898	2.149
Saône (Haute-)	»	»	312	120	»	»	720	1.152	1.086
Saône-et-Loire (1)	3.285	32.879	40	»	15.319	»	2.185	53.708	62.606
Sarthe	»	»	»	115	»	»	»	115	112
Savoie	»	125	94	»	»	»	»	219	97
Savoie (Haute-)	»	450	»	243	394	43	»	1.130	840
Seine	»	19.050	»	»	»	»	»	19.050	20.390
Seine-et-Oise	»	3.060	»	»	»	»	»	3.060	2.558
Somme	»	1.640	»	»	»	»	»	1.640	1.560
Tarn	»	898	»	»	»	»	»	898	740
Tarn-et-Garonne (1)	»	2.138	»	»	»	»	»	2.138	2.892
Vienne	»	»	103	»	»	»	»	103	88
Vienne (Haute-)	»	»	»	1.322	»	»	»	1.322	1.170
Vosges	»	»	1.231	»	»	1.655	»	2.886	2.800
Yonne	»	10.610	30	»	»	»	»	10.640	10.915
Totaux	40.933	619.746	14.478	21.762	117.046	8.916	15.022	837.903	843.112

(1) Les fers bruts ou massiaux transformés dans des départements autres que ceux où ils ont été produits, ne figurent pas sur le tableau, pour ne pas faire double emploi.

NOTE

SUR

LES MINES DE L'ARCHIPEL DES FÉROË

(ILES DE SUDÉROË ET DE NAALSOË)

Par M. PETITON, ingénieur, ancien élève-externe de l'École des mines.

Avant-propos. — Le présent mémoire a pour but principal l'étude de la richesse en charbon de l'île de Sudéroë, la plus méridionale des îles Féroë.

Nous dirons, pour terminer, quelques mots des gisements de cuivre natif que nous avons trouvés dans l'île de Sudéroë et dans l'île de Naalsoë, petite île de l'archipel située en face du port de Thorshavn (île de Stromö).

Ce mémoire est divisé en trois parties : la première partie présente des considérations générales sur les îles Féroë et sur l'île de Sudéroë en particulier; la deuxième partie donne l'étude de la partie centrale de l'île de Sudéroë, notamment des vallées de Trangjisvaag et de Qualbö; cette étude a été réduite à ses éléments essentiels, on a supprimé toute évaluation de la richesse minérale de l'île; la troisième partie, très courte, traite du cuivre natif aux îles Féroë.

PREMIÈRE PARTIE.

Considérations générales.

Les îles Féroë, ou îles des Brebis ou des Navigateurs, forment un archipel au nord de l'Écosse, dans l'océan Atlantique; elles sont d'origine ignée et composées en grande partie d'assises basaltiques. Elles dépendent politiquement du Danemark et sont situées sur le chemin de Copenhague

à l'Islande. Les bateaux à vapeur de la Compagnie danoise qui desservent l'Islande font relâche aux îles Féroë. La petite ville de Thorshavn, située dans la grande île de Stromö, est la capitale de cet archipel; elle est à environ 1.400 kilomètres de Copenhague et à 700 kilomètres de l'Islande.

Géographiquement, les îles Féroë sembleraient, comme les îles Hébrides, Orkneys et Shetland, devoir dépendre de l'Écosse. Le climat et la faune de ces îles ont beaucoup de similitude. En fait, depuis plusieurs siècles, les îles Féroë appartiennent au Danemark. Elles sont faiblement peuplées : la population ne dépasse pas 10.000 habitants.

Ile de Sudéroë. — L'île de Sudéroë (V. la carte, Pl. III, *fig.* 24) est à l'extrémité sud de l'archipel des îles Féroë; son port principal, qui est le fjord de Trangjisvaag, est par 61° 35′ de latitude nord et par 9°, 20′ de longitude ouest de Paris. Malgré cette latitude élevée, le climat de Sudéroë n'est pas aussi froid qu'on pourrait le craindre, à cause de sa situation sur le parcours du Gulf-Stream. Dans le courant des mois de juillet et août 1879, nous n'avons constaté la présence de la neige que sur les points les plus élevés de l'île de Stromö. Dans le mois d'octobre de la même année, il est tombé à Sudéroë un peu de neige.

Le fjord, ou baie principale de l'île de Sudéroë, est le fjord de Trangjisvaag, formant un port excellent, vaste et profond, parfaitement abrité contre les vents. On pourrait assez facilement y construire un quai de chargement pour les navires. Sur la côte nord de ce fjord s'élèvent une cinquantaine de maisons en bois qui forment le village de Tverö, chef-lieu de l'île, résidence du *Syssleman* et du médecin, fonctionnaires officiels du gouvernement danois. Le troisième fonctionnaire danois, le pasteur, réside à Qualbö, dans le nord de Sudéroë.

La vallée de Trangjisvaag est la plus importante de l'île au point de vue de la production du charbon. Aussi était-il

capital d'avoir un port dans de bonnes conditions pour la desservir. Ce résultat est parfaitement acquis.

L'île de Sudéroë présente encore deux autres fjords où l'on pourrait charger des navires : le fjord de Qualbö, dans le nord de l'île, et le fjord de Lobrö, dans le sud.

Les trois fjords précités sont sur la côte est, à l'abri des vents d'ouest, qui sont terribles dans ces parages.

L'île de Sudéroë s'étend sensiblement du Sud 25° Est au Nord 25° Ouest, soit à peu près la direction du nord magnétique. Elle a une longueur de 30 à 32 kilomètres de la pointe Ornenipen, au nord-ouest de l'île, à la pointe Mœnes-Sund, au sud, et une largeur maxima de 9 à 10 kilomètres, comptée de l'est à l'ouest dans la partie centrale.

Configuration générale de l'île. — La côte ouest est en général composée de falaises verticales abruptes de 2 à 300 mètres de hauteur. En quelques rares endroits, à Qualbö-Eidet par exemple, dans le nord, à Waüs-Eidet et à Sumbö, dans le sud, la falaise n'a que quelques mètres d'élévation. Cette côte ouest est exposée à toute la fureur de la mer, qui, presque toujours, chassée par les vents d'ouest, vient battre avec rage cette barrière inébranlable.

Quand la mer le permet, on peut avec un bateau côtoyer la falaise à 2 ou 300 mètres de distance : on voit alors très nettement la disposition générale de la formation de l'île. Sudéroë est composée d'assises basaltiques superposées, de véritables *trapps* (d'après la définition suédoise) ; ces amas de trapps, bruns ou de teintes sombres, sont séparés souvent par des bancs ou couches de roches rouges. L'inclinaison des assises de trapps est de 5 à 6° environ vers le nord-est magnétique; la direction des assises est sensiblement nord-ouest.

La côte ouest offre généralement la vue représentée *fig.* 1, Pl. III, prise de la mer à la hauteur de la pointe Bertangen, en allant de Qualbö-Eidet à Nakken, du nord au sud.

Une coupe verticale faite à la hauteur du petit promon-

toire situé entre Bertangen et Nakken, et sensiblement normale à la direction de la côte en M, offrirait la forme représentée *fig.* 2, Pl. III :

AB, partie presque verticale, 200 mètres de hauteur;

BC, partie gazonnée, plan incliné très raide, de 50 mètres de hauteur environ;

CD, partie verticale, de 150 à 200 mètres.

La côte est a un tout autre aspect que la côte ouest : au lieu de figurer un mur vertical ne présentant en plan que peu de dentelures, elle est profondément découpée par trois fjords principaux :

1° Au nord, le Qualbö Fjord, qui, comme nous l'avons dit, présente une rade où les navires peuvent être à peu près à l'abri;

2° Au centre, le Trangjisvaag Fjord, qui forme un excellent port de commerce;

3° Le Waüs Fjord et Lobrö Fjord. Le Lobrö Fjord est, nous l'avons dit plus haut, une rade sûre où des navires pourraient venir se charger.

La largeur de l'île, au fond du fjord de Qualbö, n'est pas de 1.000 mètres. Il en est de même au fond du fjord de Waüs.

Nous avons dit que l'île de Sudéroë était formée de nappes de basalte et de trapps amygdaloïdes superposées, séparées les unes des autres par des bancs ou par des couches de roche rouge (*latérite*), ou par des bancs de schiste basaltique plus ou moins argileux renfermant du charbon (lignite).

On reconnaît nettement, sur une étendue considérable de l'île (la partie centrale), l'existence d'une couche de charbon importante.

Nous savons que la côte Est est profondément dentelée et découpée par des fjords qui se continuent par des vallées d'érosion. On voit les assises des mêmes nappes de basalte à droite et à gauche de ces vallées, seuls témoins

restés de la formation première de l'île. On a par suite plusieurs petits bassins houillers, si je puis ainsi m'exprimer, avec cette différence que ce n'est pas dans le fond du bassin qu'on peut trouver du charbon, mais seulement sur les versants.

Disons immédiatement que toute la partie au nord de Qualbö Fjord est complètement stérile au point de vue du charbon.

Nous aurons par suite, en allant du nord de l'île au sud, la vallée de Qualbö, formant un petit bassin houiller se reliant avec le nord du bassin le plus important de l'île, celui de la vallée de Trangjisvaag. On peut admettre que la couche que nous connaissons, puissante à la pointe de Bertangen, à l'ouest de l'île, s'étend jusqu'à la pointe de Frödebönipen, à l'est de Sudéroë, à une douzaine de kilomètres de là, avec des variations d'allure et de puissance considérables; la formation étant de plusieurs mètres de schistes et charbon mélangés à Bertangen, pour se réduire à quelques centimètres de charbon à Frödebönipen; toute cette région constitue la partie nord de la vallée de Trangjisvaag.

Traversons la vallée de Trangjisvaag en continuant à marcher du nord au sud, nous retrouvons la couche de charbon sur le versant sud, s'étendant sur 2 à 3 kilomètres de l'ouest à l'est. Traversons la montagne, nous dirigeant toujours au sud, nous arrivons à la vallée d'Ordevig. La grande couche de charbon se retrouve sur la partie sud de cette vallée, au n° 10 de la carte (Pl. III, *fig.* 24), à Tuenfjeld ou Kalhöjen; c'est le dernier témoin de la grande couche.

Continuons notre marche au sud, nous arrivons dans la petite vallée d'Hove, où il existe probablement une petite couche inférieure à la grande. Nous trouvons ensuite la vallée de Porkerji, au nord des fjords de Waüs et de Lobrö; on doit rencontrer, dit-on, une petite couche inférieure sur les bords de ce bassin.

On nous a dit que le charbon existait dans la presqu'île sud, entre le fjord de Lobrö et Stianeb, sur la côte est; nous n'avons pas eu le temps d'y constater son existence.

On peut admettre, en résumé, qu'il y a dans l'île de Sudéroë une grande couche supérieure, d'une épaisseur variable, existant, en allant du nord au sud :

1° Dans le bassin de la vallée de Qualbö;

2° Dans le bassin de la vallée de Trangjisvaag;

3° Dans le bassin de la vallée d'Ordevig;

Et des petites couches inférieures plus anciennes que la grande couche et existant :

4° Dans le bassin de la vallée d'Hove;

5° Dans le bassin des fjords de Waüs et de Lobrö,

et s'étendant { (a) au nord des Fjords dans la vallée de Porkerji;
(b) au sud dans la presqu'île sud de l'île jusqu'à Stianeb. }

De ces cinq bassins, les deux derniers, n° 4 et n° 5, ont été à peine reconnus; on n'a pas fait de travaux de recherche permettant d'évaluer la valeur des petites couches qui peuvent y exister, et d'ailleurs le charbon qu'on retirerait de ces bassins ne pourrait être mis à bord des navires que difficilement, par le beau temps seulement et avec une dépense élevée.

Le bassin de la vallée de Qualbö a une rade où l'on pourrait charger les navires avec certains frais d'aménagement.

On pourrait peut-être, pour les charbons de Qualbö, les amener, par une grande galerie faite dans la couche, jusque dans la vallée de Trangjisvaag.

Quant au bassin de cette dernière, nous avons dit qu'il pouvait être admirablement desservi par le port de Trangjisvaag.

Cette vallée est la plus importante de l'île.

Toute la question se résume, relativement à l'île de Sudéroë, à savoir si la couche de la vallée de Trangjisvaag donne un cube suffisant de charbon pour y établir une exploitation. S'il en était ainsi, et seulement dans ce cas, on y rattacherait des travaux dans la vallée de Qualbö et sur quelques points des trois autres bassins, s'il y avait lieu.

Nous allons donc faire l'étude détaillée de la vallée de Trangjisvaag et de la vallée de Qualbö.

Les différentes vallées dont nous avons parlé sont séparées les unes des autres par des cols ou plateaux de 300 mètres environ d'altitude, ce qui rend le parcours de l'île très pénible. Joignons à cela que le sol de Sudéroë est tourbeux, que la tourbe est recouverte d'un mince tapis de verdure et qu'il n'y a pas de chemin dans l'île, quelques sentiers de brebis seulement.

Quelques chevaux vivent à l'état demi-sauvage; ils sont vendus et dressés en Angleterre.

Sur quelques points, on rencontre les traces d'une maigre culture, quelques pommes de terre, un peu de blé, etc. *Il n'y a pas un arbre.*

Le climat de l'île, nous sommes porté à le croire, ne doit pas être très froid. Il y a très souvent du brouillard, qui descend jusqu'à 100 mètres au-dessus de la mer; les montagnes ont presque toujours leurs sommets et leurs pentes dans les nuages. La pluie tombe avec une force qui n'est dépassée que par la violence effroyable du vent à certains moments.

Dans les courses que l'on fait dans l'île, on ne rencontre d'habitants que dans les cinq ou six hameaux de Sudéroë. On trouve quelques moutons à demi-sauvages qui s'enfuient à votre approche, des oiseaux de mer : courlis, bécassines, pies de mer, mouettes, goëlands, lundes, guillemots, qui vous étourdissent de leurs cris l'été (ces oiseaux émigrent dans l'hiver). Les oiseaux de mer existent par milliers sur la côte ouest. Dans la partie sud de l'île, en allant de Waüs Eidet à Sumbö en bateau, on en voit des

centaines de mille, rangés aile à aile sur les différentes assises de basalte de la falaise et sur les rochers et récifs qui bordent la côte. La chasse de ces oiseaux avec des filets est l'une des occupations des Féroens.

SECONDE PARTIE.

Étude de la partie centrale de l'île de Sudéroë.

Nous avons dit précédemment que la plus grande partie de la richesse en charbon de l'île de Sudéroë était formée par le bassin de la vallée de Trangjisvaag.

Vallée de Trangjisvaag. — Cette vallée s'étend de l'est à l'ouest sur une étendue de 5 kilomètres environ, depuis la pointe de Seiertangen à l'ouest jusqu'au commencement du fjord de Trangjisvaag à l'est. Elle se prolonge de 5 kilomètres vers l'est jusqu'à la pointe de Narvatangen, au nord du fjord de Trangjisvaag, et de 3 à 4 kilomètres également à l'est, au sud du fjord.

On trouve le charbon sur le versant nord et sur le versant sud de cette importante vallée. Il résulte des longues et pénibles excursions faites par nous et de nos études persévérantes que le charbon du versant nord et celui du versant sud viennent d'une seule et même couche, et sont les témoins restés d'une couche d'une étendue considérable qui couvrait à l'origine toute la partie centrale de l'île depuis, au sud, une ligne passant par Famoyens Bygt à l'ouest et Grandetangen à l'est jusqu'à la pointe de Fjeldstangen, près de Qualbö au nord. La plus grande partie de cette couche a été détruite et enlevée lors de la formation des différentes vallées d'érosion qui se sont produites, notamment de la vallée de Trangjisvaag. Nous connaissons un témoin de cette couche, resté au sommet de la

montagne de Tuenfield ou Kalhöjen au sud, à 370 mètres environ d'altitude (n° 10 de la carte, Pl. III, *fig.* 24); c'est le point le plus élevé de l'île où nous connaissions du charbon. Au nord, le dernier témoin connu par nous de cette couche est auprès de la pointe de Fjeldstangen, à peu de distance au nord de Qualbö Eidet.

La couche n'a pas évidemment une régularité complète ; elle a toutefois, comme allure générale, la direction moyenne Nord magnétique 45° Ouest, et comme inclinaison 6° environ au Nord magnétique 45° Est. On peut admettre qu'elle va s'enfoncer au-dessous du niveau de la mer en suivant une ligne à peu près droite passant par Frödebönipen, Quanhave Bund et à peu près Qualbö, près de la pointe de Feldstangen. La direction de la couche dans la partie Est est un peu plus rapprochée du nord que la direction moyenne. La couche dans la partie ouest semble s'être un peu plus infléchie vers l'ouest. Il y a évidemment un certain nombre de points où des accidents se sont produits et où il y a des différences considérables comme direction, quelquefois même des pendages en sens contraire du pendage général.

Il fallait établir nettement cette disposition d'ensemble du gisement carbonifère de Sudéroë pour bien se rendre compte de la richesse possible de cette île.

Disons immédiatement qu'il existe probablement dans le bassin de Trangjisvaag une seconde couche inférieure à la grande couche; cette couche n'a été signalée que sur quelques points, et elle est de peu d'importance dans ces points.

Examen de détail. — Passons maintenant en revue, aussi rapidement que possible, les deux parties sud et nord de la vallée de Trangjisvaag :

1° *Versant méridional de la vallée de Trangjisvaag.* — En partant de l'extrémité du fjord et montant pendant une heure environ, en se dirigeant sensiblement vers le sud, on arrive, 50 mètres au-dessous du col d'Ornaskar, à l'at-

taque désignée sous le N° 6 A, à l'altitude de 250 mètres environ ; on est au commencement du premier des deux cirques qui forment le relief du versant sud de la vallée de Trangjisvaag. Le N° 6 A donne $0^m,40$ de charbon moureux.

Les différentes attaques que nous rencontrons en allant vers l'ouest jusqu'à la falaise, la cotoyant, et faisant le tour de la montagne en revenant vers l'est, sont les suivantes (nous ne ferons que donner, pour abréger, le numéro des attaques, leur altitude et quelques coupes, voir Pl. III) :

		mètres.	
N° 6 B.	Altitude	270	
N° 8 C.	Id.	240	Coupe *fig.* 3
N° 8 B.	Id.	210	
N° 8 A.	Id.	240	
N° 1	Id.	246	Coupe *fig.* 4
N° 2	Id.	246	Coupe *fig.* 5
N° 3	Id.	260	Coupe *fig.* 6
N° 5	Id.	286	
N° 5 A ou Kungen . .	Id.	270	Coupe *fig.* 7
N° 5 B.	Id.	354	
N° 5 C.	Id.	356	
N° 7 B	Id.	336	Coupe *fig.* 8
N° 7 A.	Id.	326	Coupe *fig.* 9
N° 9 C.	Id.	246	
N° 9 B.	Id.	246	Couge *fig.* 10
N° 9 A.	Id.	246	

2° *Vallée de Trangjisvaag, versant nord.*— Passons en revue maintenant les principales attaques du versant nord de la vallée de Trangjisvaag.

Commençons à l'est, au N° 22 B, ancienne galerie détruite, 4 mètres au-dessus du niveau de la mer (coupe *fig.* 11), près la pointe de Frödebönipen, et remontons la vallée en marchant à flanc de coteau, en nous dirigeant vers le ravin désigné sous le N° 15, au nord de Nakken, côte ouest de l'île.

A 15 mètres environ au-dessus du niveau de la mer est le N° 22 A : galerie de 2 mètres de longueur sur une

couche de 25 centimètres de charbon moureux et dur, intercalé entre des schistes noirs au toit et gris au mur ; direction de la couche : N. 50° O. ; inclinaison de 7° au Nord 40° Est. La couche est très bien réglée ; son pendage, très net, correspond assez bien au pendage de la couche au n° 10, à Tuenfield ; la direction est un peu plus ouest.

Nous rencontrons successivement les attaques suivantes (voir Pl. III) :

		mètres.	
N° 21.	Altitude	75	Coupe *fig.* 12
N° 20 C			Coupe *fig.* 13
N° 19 A	Id.	130	Coupe *fig.* 14
N° 19 B.	Id.	146	Coupe *fig.* 15
N° 16.	Id.	216	Coupe *fig.* 16

Au N° 16, il y a une tranchée de 12 mètres, suivie par une galerie rectiligne de 6 mètres, puis, vers la droite, par une galerie de 5 mètres dans une roche basaltique décomposée et ébouleuse qu'il faut soutenir par un boisage. La direction de la couche est N. 60° O., l'inclinaison de 8° au Nord 30° Est. La couche de charbon est très nette. Elle donne 83 centimètres de charbon pour une épaisseur totale de couche de $1^m,16$. Le N° 16 est un point très important : c'est le premier endroit où l'on rencontre sur le flanc nord de la vallée la couche avec une épaisseur sérieuse utile. On la suit sur la falaise Ouest jusqu'au n° 15, avec sensiblement la même puissance, voir *fig.* 17, n° 11, alt. 236, et *fig.* 18, n° 14, alt. 216.

Vallée de Qualbö. — Pour compléter la description de la grande couche de charbon de Sudéroë, il faut passer de la vallée de Trangjisvaag dans la vallée de Qualbö.

La couche de Trangjisvaag plonge dans la vallée de Qualbö ; on y retrouve l'aval-pendage de cette couche à une distance du N° 16, que nous évaluons approximativement à 1 kilomètre.

Les deux vallées sont séparées par une montagne qui se termine par un plateau à l'altitude moyenne de 450 mètres.

En montant sur ce plateau, on voit les deux vallées, quand le brouillard le permet.

On retrouve le charbon, dans la vallée de Qualbö, à l'altitude de 146 mètres sur le versant ouest, et sur le versant est à l'altitude de 136 mètres.

Deux fouilles ont été faites : la première, dans la partie nord de la vallée, au-dessous du chemin venant de Trangjisvaag, n'a rien donné; la deuxième, dans la partie sud-est, a donné la coupe représentée *fig.* 19, Pl. III.

Le versant ouest de la vallée de Qualbö a été et est encore exploité par une série de galeries horizontales, à peu près parallèles, situées à une cinquantaine de mètres les unes des autres. Le N° 1 est l'attaque le plus au sud du versant ouest. Elle présente la coupe *fig.* 20, Pl. III. Le N° 14, un peu plus loin, nous donne la coupe *fig.* 21. Le N° 23, un peu plus loin encore, nous donne la coupe *fig.* 22. On a, en résumé, une couche de charbon d'une puissance moyenne de $1^{m},60$ et donnant 1 mètre de charbon de qualité satisfaisante. On suit cette couche, sur plusieurs centaines de mètres, sur le versant ouest de la vallée.

Comme nous l'avons dit précédemment, la couche se trouve, au nord de Qualbö Eidet, à la pointe de Fjeldstangen, à une altitude de 50 mètres sur le flanc presque vertical de la falaise; la couche, très difficile à observer (on surplombe la mer), m'a paru avoir 30 centimètres de puissance.

A l'est de la vallée de Qualbö, on doit retrouver la couche dans la vallée de Tjörnenäs. M. le professeur Johnstrup a signalé sa présence dans cette vallée.

Baie de Quanhave Bund. — On retrouve, dans la baie de Quanhave Bund, au N° 25 de la carte, la couche avec un pendage un peu différent du pendage général (voir *fig.* 23, Pl. III).

La couche est une formation schisteuse de 3 mètres de puissance environ, dirigée sensiblement N. 40° O., presque horizontale, plongeant légèrement de 3° environ vers le sud-est.

L'affleurement de cette couche s'étend sur une longueur de 100 mètres environ, parallèlement au bord de la mer ; elle est comprise entre deux nappes de basalte compacte colonnaire. La nappe supérieure, qui forme le fond très ondulé de la petite vallée demi-circulaire de Quanhave Bund, a été enlevée par érosion en grande partie.

Tuenfield ou Kalhöjen. — La montagne de Kalhöjen est sur le côté sud et à l'entrée de la vallée de Trangjisvaag.

En montant pendant une heure environ, on arrive à un petit pic arrondi très surbaissé sur la crête de la montagne de Kalhöjen.

A quelques mètres au-dessous de ce sommet, à l'altitude de 370 mètres, se trouve le N° 10, Pl. III. Le N° 10 est une petite tranchée faite sur la grande couche.

La couche est dirigée environ N. 20° O. et inclinée de 7° ½ au Nord 70° Est. Elle se voit sur une quarantaine de mètres; elle doit faire le tour du petit pic et recouvrir une surface de 150 à 200 mètres de long sur 150 à 200 mètres de large.

L'existence de la couche au N° 10 est un fait important, non à cause de la petite quantité de charbon que l'on pourrait extraire de cet endroit, mais surtout parce que la direction et le pendage de la couche sont les mêmes qu'au N° 22, de l'autre côté du fjord.

On reconnaît par suite facilement que l'on a au N° 10 et au N° 22 la même couche, la grande couche du bassin.

Nous croyons que la quantité de charbon exploitable que l'on trouvera dans toute la partie à l'est du N° 8 C ne sera que peu considérable. Nous croyons devoir la négliger.

Couches inférieures. — Il existe une couche inférieure qui est indiquée en trois points de la vallée de Trangjisvaag. Cette couche nous a paru peu importante.

Il y a, en outre, quelques points : bassin de Hore, bassin

de Porkedji, Waüs et Lobrö, où on pourra trouver un peu de charbon venant de couches inférieures; mais ces petits bassins ne peuvent avoir que peu d'importance relativement, à cause du petit nombre de mètres cubes de charbon exploitable que l'on y trouvera, selon toute probabilité, et de la difficulté du chargement de ce charbon à bord de navires.

Conclusion. — L'île de Sudéroë présente en résumé un gisement de lignite d'une certaine importance. Toutefois on ne pourrait évaluer approximativement la quantité probable de charbon exploitable avant d'avoir exécuté des galeries de 200 mètres environ, notamment sur les points 1, 8 C et 16. Ces recherches devraient, dans tous les cas, précéder des tentatives d'exploitation proprement dite, afin d'agir avec toute la prudence désirable.

Ces travaux d'exploration seraient d'ailleurs les premiers organes préparatoires d'une exploitation rationnelle.

Nous avons lieu de croire que le charbon de Sudéroë est un lignite de bonne qualité; cependant aucune opinion certaine ne peut être formulée à cet égard sans des essais en grand, qui sont absolument nécessaires pour fixer sur la véritable qualité de ce combustible, les études de laboratoire étant insuffisantes pour atteindre ce but. Nous le considérons comme un charbon sec, à longue flamme, bon pour le chauffage domestique, assez bon pour le chauffage des machines, malgré la quantité assez considérable de cendres qu'il contient quelquefois. Ce charbon n'est pas bon pour la forge, il ne colle pas, il ne peut être transformé en coke.

Il se présente sous quatre aspects principaux :

1° à l'état pur et dur, à cassure conchoïdale avec éclat brillant;

2° à l'état pur et dur, à structure feuilletée;

3° à l'état pur et dur, mélangé avec des schistes; il faudra un scheidage pour le séparer de ces schistes;

4° à l'état moureux.

Le lignite de la première catégorie nous a donné à l'essai le résultat suivant :

Matières volatiles. . . .	50,00	Pouvoir calorifique correspondant à carbone %, 62,3
Carbone fixe.	45,60	
Cendres ferrugineuses .	4,40	
	100,00	

TROISIÈME PARTIE.

Gisements de cuivre natif.

Ile de Sudéroë. — 1° *Famarasund.* En remontant en bateau au nord de Waüs, en longeant la côte ouest de l'île de Sudéroë, on cotoie une falaise verticale de 2 à 300 mètres de hauteur, présentant d'abord quatorze assises de basalte, puis cinq en remontant vers le nord. Ces différentes nappes sont séparées par des lits de roche rouge. A 3 kilomètres de Waüs, on peut, quand la mer le permet, monter sur le plateau formé par la dernière de ces assises, à 30 mètres environ au-dessus du niveau de la mer; on trouve une couche de $1^m,50$ de la roche rouge précitée, qui est de la *latérite* (argile ferrugineuse très dure). La couche a pour mur le trapp basaltique et pour toit le basalte; elle plonge au nord de quelques degrés. Cette couche schisteuse dure contient des lamelles de cuivre natif disséminées irrégulièrement dans la masse, suivant de petits plans de clivage.

C'est un gisement très intéressant. Le cuivre vu est en quantité insuffisante pour couvrir les frais d'une exploitation. Il serait néanmoins intéressant de faire en cet endroit une recherche, si un centre d'exploitation de charbon existait à Trangjisvaag; mais le gisement n'a pas une impor-

tance suffisante pour motiver les dépenses d'une installation spéciale, installation qui ne pourrait se faire, du reste, que dans des conditions très difficiles. On ne peut, en effet, arriver que par mer au plateau où est le gisement, et on ne peut y aborder que quand la mer est très calme, ce qui est excessivement rare dans ces parages.

2° *Sumbö*. Si de Waüs on se dirige en bateau au sud, en cotoyant la falaise verticale, on arrive en deux heures environ à Sumbö. La falaise, au sud de Waüs, est, comme au nord, verticale, composée de sept ou huit assises de basalte. C'est, du reste, la côte la plus sauvage et la plus rude de toute l'île de Sudéroë.

Quelques centaines de mètres avant d'arriver à Sumbö, est une assise de plusieurs mètres de roche brun rougeâtre, sorte de trapp basaltique. Cette roche contient de nombreux nodules de zéolithes, de roche verte, de quartz, de quartz bleus, et quelques veinules de jaspe. La roche verte contient quelques petites mouches de cuivre.

Ile de Naalsö. — En face du port de Thorshavn, chef-lieu de l'île de Stromö et capitale des îles Féroë, se trouve l'île de Naalsö. Cette île s'étend sensiblement du nord au sud sur une étendue d'une douzaine de kilomètres. Le nord et le sud de l'île sont formés de deux parties à peu près planes, peu élevées au-dessus du niveau de la mer et reliées par une partie plus haute qui atteint jusqu'à 250 mètres d'altitude.

Le village de Naalsö est dans la partie nord de l'île, en face de Thorshavn. Le gisement de cuivre est à l'extrémité sud.

Quand la mer le permet, on va en bateau de Thorshavn directement à la pointe sud, et on débarque sur l'assise inférieure de la falaise, qui s'avance en pente rapide dans la mer. La falaise supérieure n'a là, du reste, qu'une soixantaine de mètres verticalement. Dix mètres environ au-dessus du niveau de la mer, on voit une couche de trapp

amygdaloïde, rouge brun, de 6 mètres de puissance, sensiblement horizontale entre deux couches de basalte contenant un plus petit nombre d'amygdaloïdes. On trouve dans cette roche rouge et dans le basalte même de petites mouches et lamelles de cuivre natif de forme irrégulière.

A quelques centaines de mètres vers le sud-est, on retrouve la même couche rougeâtre, avec un peu de cuivre disséminé irrégulièrement. On ne trouve guère de cuivre dans cet endroit que sur une cinquantaine de mètres.

Le cuivre accompagne, comme dans le premier gisement, des zéolithes, des roches vertes, etc.

Le plan incliné sur lequel on se trouve est fort étroit et battu par la mer; c'est un point dangereux à visiter. Quand la mer est mauvaise, il faut aller du village de Naalsö aux pointes sud et sud-est à pied; on a deux heures de marche pénible à faire. On ne peut visiter le deuxième gisement qu'en descendant avec des cordes 40 mètres environ de falaise surplombant la mer et risquant sa vie.

Ces deux gisements présentent le cuivre en quantité inexploitable.

Nous tenons, en terminant cette Note, à exprimer nos sentiments de profonde gratitude à Son Excellence M. le Comte de Moltke, Ministre Plénipotentiaire du Gouvernement danois accrédité auprès du Gouvernement français à Paris. M. le Comte de Moltke a eu l'obligeance de nous recommander spécialement aux autorités locales des îles Kéraë et de faciliter ainsi notre mission d'étude.

DE L'ÉCHAUFFEMENT PRODUIT PAR L'AFFAISSEMENT DES TERRAINS

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, ingénieur en chef des mines,
Professeur d'exploitation à l'École des mines.

Parmi les causes qui peuvent produire l'échauffement précurseur de l'incendie des charbonnages, on a mis en avant la transformation en chaleur du travail développé par la pesanteur dans l'affaissement qui suit le déhouillement. Cette explication présente en effet un côté séduisant en raison de l'énorme masse qui se trouve alors mise en mouvement et de laquelle on peut attendre des effets calorifiques intenses. Mais il me paraît facile d'en préciser la véritable valeur. Elle réside entièrement, à mon sens, dans une distinction fondamentale, suivant que l'affaissement s'opère ou non d'une manière régulière au-dessus du champ d'exploitation.

Supposons en premier lieu que tout le terrain descende uniformément. Alors l'importance de la masse disparaît; car si le travail, et par suite la chaleur développée, sont proportionnels au poids en mouvement, sa répartition s'effectuant sur cette même masse, elle développe une température qui en devient indépendante. S'il s'agit de méthodes de remblai, la masse sera plus grande en général, car l'affaissement progressif du terrain se fait ordinairement tout d'une pièce, tandis qu'avec les méthodes d'éboulement le foisonnement en limite la propagation en hauteur. Mais cela ne constitue, quant au résultat calorifique, aucune différence entre les deux cas, puisque nous venons de dire que la masse est sans influence. Au contraire le remblayage cédera le pas, sous le rapport de l'échauffement, aux méthodes d'éboulement, en raison du second facteur qui entre dans l'expression du travail, à savoir la tombée. En effet le tassement sur le remblai n'est jamais qu'une fraction de la hauteur du chantier, tandis que le foudroyage s'effectue au contraire sur toute cette hauteur. Si donc nous montrons que l'effet est sans importance dans le cas de l'éboulement, cette conclusion s'étendra à fortiori à celui du remblayage.

Je viens de dire que, lors de l'éboulement, les matières tombent de toute la hauteur de la taille. Ceci n'est vrai cependant que pour la partie inférieure. Les régions les plus élevées de la propagation n'éprouvent au contraire qu'un déplacement insignifiant. On pourrait donc admettre pour l'ensemble une moyenne qui serait la demi-hauteur. Mais il sera au contraire plus juste d'accepter, comme je l'ai dit tout à l'heure, la hauteur totale H, car nous devons ici nous préoccuper, non de la moyenne, mais du maximum; et d'ailleurs la partie inférieure qui éprouve ce déplacement H est celle qui mettra le plus immédiatement le feu dans les travaux, s'il y a lieu.

Si donc nous envisageons l'unité de poids, elle fournit un nombre de kilogrammètres égal à H. Ceux-ci se convertiront en $\frac{H}{425}$ calories et développeront une élévation de température égale à $\frac{H}{425.C}$, si C désigne la chaleur spécifique des matières. La valeur de cette dernière donnée, pour les matériaux analogues à des roches ou du charbon, ne paraît pas s'éloigner beaucoup de $\frac{1}{5}$, ce qui fournit pour le nombre de degrés $\frac{H}{85}$. D'ailleurs, sauf des exceptions dangereuses, on peut admettre que la hauteur H des chantiers ne dépasse pas 5 mètres, ce qui réduit la valeur définitive à $\frac{1}{17}$

de degré centigrade, résultat absolument insignifiant. Il importe d'ailleurs de remarquer qu'en transformant en chaleur la totalité du travail de la pesanteur nous avons encore exagéré l'élévation de température, car une partie de ce travail est employée aux déformations.

On voit par là que, si l'on suppose le tassement rigoureusement uniforme dans sa répartition, son influence doit être considérée comme nulle pour l'échauffement. Mais il n'en sera plus de même si l'on admet des porte-à-faux, des renvois de pression, des arc-boutements ; en un mot un mécanisme quelconque de concentration des forces et par suite du travail de frottement, ou enfin de la chaleur, sur des points spéciaux. Alors la masse ne disparaît plus comme dans le cas précédent, car le travail reste proportionnel au poids en mouvement, tandis que la chaleur ne se répartit plus, pour une grande partie du moins, que sur une masse beaucoup plus restreinte. On peut, d'après cela, atteindre par la pensée tous les degrés d'échauffement, et bien certainement on en rencontrera parfois plus qu'il n'est nécessaire pour déterminer l'inflammation des charbons qui y seraient par leur nature prédisposés. Il en sera surtout ainsi lorsque des substances spéciales, telles que les pyrites, viendront, suivant une remarque de M. Thénard, à subir une friction intense. M. Clermont, ingénieur de la Combelle, a fait observer de même que des masses d'air confinées dans un milieu étanche, venant à être comprimées par un tassement brusque, pourraient s'échauffer comme dans le briquet à air et provoquer l'inflammation du combustible.

Il devient d'ailleurs impossible, quand on se place à ce nouveau point de vue, de rien dire qui présente à la fois un caractère de généralité et de précision. On ne peut toutefois se dispenser de rappeler à cet égard les remarquables aperçus consignés par M. Daubrée dans ses études synthétiques de géologie expérimentale, aux chapitres qui concernent les phénomènes de métamorphisme dus à la

transformation d'effets mécaniques en chaleur. Si en effet des portions importantes de l'écorce terrestre, en prenant des mouvements généraux sous l'influence de forces quelconques, ont produit des refoulements sur des points spéciaux, et par suite l'accumulation dans ces régions d'un travail développé sur un espace plus étendu, nous trouvons dans ce phénomène l'image très amplifiée de ce que nous venons de concevoir sur une échelle restreinte pour une mine de houille.

La conclusion pratique à déduire de ce court exposé paraît donc devoir être de développer le plus possible, dans les méthodes d'exploitation, la tendance à l'uniformisation et à la régularité des affaissements, en évitant autant qu'on le pourra les coups de charge inopinés dont MM. Burat et Mallard ont rappelé l'influence, bien constatée dans la pratique, en ce qui concerne l'inflammation des gîtes de combustible.

NOTE
SUR
LA PRÉPARATION DES SELS D'URANE ET DE VANADIUM
A JOACHIMSTHAL (BOHÊME SEPTENTRIONALE)

Par M. Ch. LALLEMAND, ingénieur des mines.

Exposé préliminaire. — Joachimsthal est bien connu par ses célèbres mines d'argent, dont l'exploitation remonte au commencement du XVIe siècle. La fabrication des sels d'urane y a été établie pour la première fois en 1853; on l'avait d'abord installée dans le laboratoire de l'usine d'argent, aujourd'hui abandonnée. Les premiers essais donnèrent des résultats tellement favorables que, dès 1858, les minerais d'urane, regardés jusque-là comme sans valeur, pouvaient être payés aux mines d'après un tarif particulier et à des conditions qui, depuis, n'ont cessé de s'améliorer au profit de ces dernières. En 1870, toute la fabrication a été concentrée dans un local de l'ancienne usine, aménagé à cet effet, et les foyers qui, auparavant, servaient au chauffage direct des liqueurs, ont été partout remplacés par des jets de vapeur. La fabrique, bien qu'appartenant, comme les mines, à l'État, jouit d'une autonomie presque absolue : elle achète ses minerais et vend ses produits pour son propre compte.

Pendant un voyage de mission que j'ai fait en Autriche en 1878, il m'a été possible d'étudier sur place cette nouvelle industrie, grâce à une bienveillante recommandation de M. F. Ritter von Hauer, que je tiens à en remercier ici. Bien que, sur certains points, je n'aie pu me procurer que des renseignements fort incomplets, je voudrais essayer, dans les quelques pages qui vont suivre, de donner une

idée, aussi exacte que possible, des procédés actuellement employés et des résultats obtenus. — Parmi les documents que j'ai consultés pour la rédaction de cette note, je dois citer l'intéressant article publié dans l'*Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen* (*), par M. Patera, sur les différentes tentatives qui, à plusieurs reprises, ont été faites à Joachimsthal, en vue d'isoler le vanadium des résidus de la préparation des sels d'urane.

Cette étude sera divisée en deux parties : dans la première, j'exposerai la méthode de traitement appliquée aux minerais d'urane; la seconde sera consacrée à la description des divers procédés successivement employés pour extraire le vanadium des résidus de la première opération.

PREMIÈRE PARTIE.
PRÉPARATION DES SELS D'URANE.

§ 1. — Nature des minerais.

Quelques-uns des filons de Joachimsthal fournissent de la pechblende qui est livrée à l'usine, soit sous forme de minerais de triage simplement broyés au laminoir, soit à l'état de schlichs provenant de l'atelier de préparation mécanique.

Le poids spécifique de ces minerais est d'à peu près 7. Leur teneur moyenne est d'environ 40 à 55 p. 100 d'oxyde uranoso-uranique (U^3O^4) ; ils contiennent, en outre, du vanadium, de l'arsenic, du soufre, du molybdène, du tungstène, du cobalt, du nickel, du cuivre, du bismuth, du plomb, de l'argent, du fer, du manganèse, de la chaux, de la magnésie, de l'alumine et de la silice.

(*) Année 1878.

§ 2. — Essais au laboratoire et calcul du prix d'achat des minerais.

Les minerais sont amenés à la fabrique à l'état pulvérulent, dans des barriques en bois de 1 mètre de haut et $0^m,60$ de diamètre.

La pesée et les essais se font en présence de deux employés de la mine et de l'ingénieur de l'usine. On fait une prise d'essai sur chaque barrique. A cet effet, on en verse le contenu sur le sol et on l'étend sous forme de disque ou de tas circulaire de $1^m,20$ environ de diamètre et de $0^m,10$ de hauteur; puis, à l'aide d'une longue spatule, on prend en divers points du tas un petit volume de matière, sur laquelle on répète la même opération jusqu'à ce qu'on arrive à n'avoir plus qu'un poids de 1 à 2 kilog. de schlich. On procède alors aux essais réglementaires pour la détermination de l'eau hygrométrique et la fixation de la teneur en uranium.

1° *Essai par calcination.* — Il se fait simplement en pesant une quantité déterminée de minerai que l'on fait ensuite sécher rapidement sur une plaque de tôle portée au rouge sombre. Au bout de dix minutes, on pèse de nouveau, et la différence donne approximativement l'eau hygrométrique. La proportion est en général de 2 p. 100. Cela fait, on prélève sur le minerai sec trois parts : deux sont soumises immédiatement à l'essai pour urane; la troisième est enfermée dans un sac de toile cacheté à la cire et mise à part, dans un endroit spécial, pour servir ultérieurement de matière d'essai, en cas de dissentiment entre les représentants de la mine et ceux de la fabrique au sujet de la teneur du minerai.

2° *Essai chimique.* — C'est une reproduction en petit du traitement à l'usine. On opère sur 3 grammes de minerai qu'on fait chauffer au bain de sable avec de l'acide azotique moyennement concentré. Au bout de deux heures, l'attaque est complète : on décante, on filtre, et on lave à l'eau chaude jusqu'à ce que la liqueur qui traverse le filtre ne donne plus, avec le ferrocyanure de potassium, la coloration rouge brun caractéristique de l'uranium [cette couleur ressemble beaucoup à celle que donne le cuivre dans les mêmes conditions]. Puis on sature la liqueur filtrée avec du carbonate de soude en excès, et on fait bouillir pour chasser l'acide carbonique libre. On précipite ainsi la totalité du vanadium, du fer, de la chaux, du plomb, du cuivre, etc., tandis que l'urane reste dans la liqueur. On laisse le dépôt se rassembler pendant quelques heures; après quoi on décante, on lave par décantation à l'eau chaude, on filtre, et on lave à l'eau chaude sur le filtre jusqu'à ce que la liqueur qui traverse, rendue légèrement chlorhydrique, ne donne plus de coloration rouge avec le ferrocyanure de potassium. On décompose alors le carbonate de soude en excès en additionnant la liqueur d'acide chlorhydrique, et en faisant bouillir pour chasser l'acide carbonique libre; puis on ajoute de la soude caustique qui précipite la totalité de l'uranium à l'état d'uranate de soude retenant un excès d'alcali. On décante, on filtre, et on lave très peu, à cause de la légère solubilité de l'uranate de soude dans l'eau pure; on dessèche, on détache du filtre, qu'on brûle, on réunit les cendres au précipité, et on calcine le tout au rouge sombre dans une capsule de platine. On lave à l'eau chaude après refroidissement pour enlever l'excès de soude, on filtre de nouveau, on sèche, on calcine, et on pèse. On a ainsi un certain poids p d'uranate de soude ($NaO, 2U^2O^3$). Le poids π correspondant d'oxyde uranoso-uranique (U^3O^4), s'obtient par un simple calcul d'équivalents; on trouve : $\pi = 88,6p$.

3° *Calcul du prix d'achat.* — D'après cela, la valeur du minerai se détermine immédiatement en cherchant, dans deux tables, construites une fois pour toutes, les prix qui correspondent séparément à la partie entière et à la partie

fractionnaire du nombre π. On les ajoute pour avoir le prix final. Les formules d'après lesquelles ces tables ont été établies, sont les suivantes :

$n = 17{,}39\,h - 103$ pour les valeurs entières de π.
$n' = 17{,}39\,k$ pour les fractions.

Dans ces formules, h et k représentent respectivement la partie entière et la partie fractionnaire du nombre π ($\pi = h + k$) ; n et n' désignent le nombre de florins (2f,50) correspondant à 100 kilog. de minerai, déduction faite de l'eau hygrométrique. Le prix total payé aux mines par la fabrique est donc : $N = n + n'$, par quintal de minerai sec.

Ce tarif est appliqué, à Joachimsthal, depuis le 8 mai 1876. On remarquera que les minerais ne sont payés qu'à partir d'une teneur de 6 p. 100, comme il est facile de le vérifier d'après les formules précédentes. Elles donnent, en effet : $N < 0$ pour $\pi < 6$.

§ 3. — Traitement à l'usine.

Matériel et personnel. — Ils sont peu considérables, par suite de l'importance relativement faible de la production.

Le matériel se réduit à un réverbère de grillage pour les minerais, à quelques cuves de dissolution et de précipitation, à deux chaudières fournissant la vapeur employée au chauffage des liqueurs, et à divers accessoires dont nous parlerons au fur et à mesure que l'occasion s'en présentera.

Le personnel se compose d'un ingénieur-directeur, d'un contre-maître surveillant, de deux ouvriers spéciaux et de deux manœuvres gagnant de 2f,00 à 3f,50 par jour, et d'un chauffeur pour les chaudières recevant 1f,75.

Formule du traitement. — Elle comprend cinq opérations :

1° Grillage des minerais avec addition d'azotate et de carbonate de soude;
2° Lessivage des minerais grillés;

3° Attaque des résidus par l'acide sulfurique;
4° Précipitation des métaux étrangers par le carbonate de soude;
5° Purification de la liqueur et précipitation de l'uranium.

On fait alternativement le grillage et le traitement des minerais grillés.

Première opération : grillage. — Il se fait au réverbère hongrois, muni d'une seule porte de travail, et chauffé au lignite. La sole mesure 4 mètres de long sur 3 mètres de large. On y charge 170 kilog. de minerai par opération d'une durée totale de quinze heures. La consommation de lignite est d'environ 4t,5 par tonne de minerai traité. Le four est conduit par deux ouvriers : un grilleur et un aide, qui retournent de temps en temps les matières à l'aide de râbles en fer. L'opération comprend deux périodes.

Première période. — On laisse la température s'élever très lentement, afin de chasser par le grillage le plus possible de soufre, d'arsenic et de molybdène, en évitant toutefois de déterminer un commencement de fusion, qui empêcherait le grillage de se poursuivre. Au bout de onze heures environ, la température est arrivée au rouge sombre ; la première période du grillage est terminée, ce qu'on reconnaît à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs d'acide sulfureux ni d'acide arsénieux. Cette période préliminaire est plus courte avec les minerais riches qu'avec les minerais pauvres, et particulièrement qu'avec les minerais pyriteux, ces derniers surtout devant être soumis à un grillage très lent et très prolongé. Pendant cette première période, la majeure partie du protoxyde d'urane se transforme en peroxyde qui se combine, au moins en partie, à la chaux du minerai.

Deuxième période. — On laisse baisser la température, et on ajoute à la charge un mélange de 4 p. 100 de son poids d'azotate de soude et de 15 p. 100 de carbonate de soude. Il faut éviter avant tout de fondre ce mélange, qui

rongerait rapidement la sole en briques du four. Quand l'azotate et le carbonate de soude ont entièrement perdu leur eau, on recommence de nouveau à chauffer ; on porte même la température jusqu'au rouge vif pendant la dernière heure. La durée de cette seconde période est d'environ quatre heures.

L'acide azotique du nitrate de soude complète le grillage et achève la transformation de l'urane en sesquioxyde U^2O^3, se comportant avec les bases comme un véritable acide ; la soude entre en combinaison avec l'acide sulfurique et l'acide arsénieux produits, ce qui permet d'éliminer ces deux corps par le lavage à l'eau chaude qui suit le grillage.

La soude donne également, avec l'acide tungstique, l'acide molybdique et l'acide vanadique, des sels, solubles dans l'eau chaude, et qui sont pareillement éliminés, tandis que l'uranate de soude, insoluble dans l'eau pure, reste tout entier dans les résidus du lessivage.

La forte température de la dernière heure a pour but d'amener les matières à un commencement de fusion et d'empêcher ainsi l'entraînement à l'état de poussières d'une partie du minerai grillé quand, à la fin de l'opération, on le fait tomber, par une ouverture ménagée à cet effet dans la sole et derrière la porte de travail, dans un grand bac en tôle (*Pfanne*) disposé au-dessous du four.

Le déchet au grillage est presque nul : l'oxygène fixé et l'addition de soude faisant sensiblement compensation à l'eau et aux autres éléments volatilisés.

On fait tomber le produit de trois grillages consécutifs dans le même bac, qui contient alors environ 500 kilog. de matière grillée qu'on porte au lessivage.

Deuxième opération : lessivage. — Il se fait dans trois petites cuves en bois de $0^m,60$ de diamètre et $0^m,45$ de hauteur, munies d'un double fond garni de toile. On charge dans chacune 30 kilog. de minerai grillé, puis on y fait

passer d'une façon continue, pendant un jour, de l'eau chaude provenant d'un réservoir supérieur dans lequel arrive un jet de vapeur. On fait l'essai des eaux de lessivage : si elles contiennent une quantité suffisante de vanadium, on leur fait subir le traitement spécial dont nous parlerons plus loin ; sinon on les rejette. Elles entraînent, comme nous l'avons dit, les sels de soude formés par le molybdène, le vanadium, le tungstène, l'acide arsénieux et l'acide sulfurique ; tandis que, d'autre part, l'uranium, le fer, le cobalt, le nickel, le cuivre et l'argent, restent dans les résidus avec la gangue. On poursuit le lessivage jusqu'à ce que la liqueur qui passe ne donne plus, avec le chlorure de baryum, qu'un léger trouble dû au sulfate de baryte. Il faut pour cela généralement moins d'un jour.

Troisième opération : attaque des résidus. — Elle se fait dans des cuves identiques aux précédentes. On charge dans chacune 30 kilog. de résidus du lessivage, qu'on arrose d'eau chaude additionnée de 15 kilog. d'acide sulfurique à 66 degrés Beaumé, bien exempt d'acide arsénieux. On ajoute en même temps un peu d'acide azotique, afin d'achever la transformation de l'urane en sesquioxyde U^2O^3. On agite avec une spatule de bois, et on continue à verser de l'acide azotique jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs rutilantes d'acide hypoazotique. On consomme ainsi de $0^k,250$ à 1 kilog. d'acide azotique avant d'arriver à l'oxydation complète. On laisse au repos deux heures pour donner à l'acide le temps d'agir et de dissoudre le sesquioxyde d'urane. On ajoute ensuite, pour étendre la liqueur, des eaux contenant un peu d'urane et provenant du lavage des résidus de l'opération même. On a ainsi, dans la dissolution sulfurique, l'urane, le cuivre et quelques autres métaux, tandis que le résidu insoluble renferme la silice, le sulfate de chaux, du sesquioxyde de fer et quelquefois de l'argent. On sépare la liqueur par décantation, et on lave le résidu plusieurs fois à l'eau

chaude jusqu'à ce que le liquide qui passe ne donne plus la réaction de l'urane avec le ferrocyanure de potassium. Ce sont les liqueurs de lavage ainsi obtenues qu'on ajoute à la dissolution sulfurique pour l'étendre, comme nous l'indiquions précédemment. Les résidus de ce lavage sont rejetés, à moins qu'ils ne soient assez riches en argent, cobalt, ou nickel, pour pouvoir être vendus comme minerais.

Quatrième opération : élimination des métaux étrangers. — On amène les liqueurs sulfuriques décantées dans deux grandes cuves de 2 mètres de diamètre et 2 mètres de hauteur; on ajoute du carbonate de soude en excès et par petites portions. Le précipité de peroxyde d'urane primitivement formé se redissout dans un excès de carbonate alcalin et colore la liqueur en jaune foncé; par contre, le fer, l'alumine, le nickel et le cobalt se précipitent en totalité à l'état de sesquioxyde, et la chaux à l'état de carbonate. On fait arriver en même temps dans cette cuve diverses liqueurs provenant d'opérations ultérieures dont nous parlerons plus loin. On ajoute du carbonate de soude jusqu'à ce que l'on ne voie plus trace de précipité d'urane dans l'écume qui surnage au-dessus du bain. Après quelques heures de repos, on décante la liqueur claire, et on fait égoutter les résidus dans des bourses coniques en toile mesurant $0^m,60$ de profondeur et $0^m,20$ de diamètre à l'orifice. Le liquide qui s'en écoule est réuni à la liqueur claire et envoyé à une chaudière spéciale. Les résidus retiennent encore un peu d'urane : quand les bourses qui les contiennent ont été suffisamment égouttées, on les aligne au-dessous d'une rigole percée de trous, dans laquelle on fait arriver d'une chaudière une solution chaude de carbonate de soude qui enlève, par son passage à travers les matières, les dernières traces d'urane. On poursuit ce lavage jusqu'à ce que la liqueur qui traverse ne donne plus la réaction caractéristique de l'urane, ce qui nécessite environ six à huit jours. Les liqueurs ainsi obtenues sont

renvoyées aux cuves de précipitation et aident à la saturation de l'acide sulfurique. Les résidus dépouillés d'urane sont rejetés, à moins que leur teneur en argent, en nickel ou en cobalt ne permette de les vendre comme minerais. On en met aussi une certaine quantité en réserve, afin de les regriller plus tard avec des minerais d'uranium très riches.

Cinquième opération : purification de la liqueur et précipitation de l'urane. — La liqueur claire provenant de l'opération précédente contient, outre l'urane, un excès de carbonate de soude, un peu d'oxyde de fer et un peu de carbonate de chaux tenu en dissolution à la faveur de l'acide carbonique libre; on la chauffe, au moyen de jets de vapeur, dans deux chaudières métalliques, mesurant $1^m,70$ de hauteur et $1^m,20$ de diamètre. L'acide carbonique libre se dégage, et il se forme un léger dépôt de peroxyde de fer et de carbonate de chaux (*) qu'on lave, comme les résidus de l'opération précédente, à l'aide d'une solution chaude de carbonate de soude; on renvoie la liqueur de lavage aux cuves de précipitation. La liqueur claire, qui a pris alors une teinte jaune-paille, est coulée des chaudières dans des cuves en bois mesurant $1^m,20$ de diamètre et autant de hauteur. C'est dans ces cuves que se fait la précipitation de l'uranium. Le réactif ajouté est différent, suivant que l'on veut obtenir l'uranate de soude jaune clair ou jaune orangé.

α. Pour obtenir l'*uranate de soude jaune clair*, on précipite par la soude caustique, qu'on ajoute jusqu'à ce que la liqueur claire, rendue acide, ne donne plus la réaction de l'urane avec le ferrocyanure de potassium.

β. Pour avoir l'*uranate de soude orangé*, on sature le carbonate de soude par de l'acide sulfurique ajouté peu à peu, et sans excès, jusqu'à ce que la liqueur claire, acidi-

(*) Après un mois de marche, on retire à peine, de chaque chaudière, de quoi remplir une des bourses de toile dont nous avons parlé à propos de l'opération précédente.

fiée, ne donne plus la réaction de l'urane. Le précipité est alors complet.

Dans les deux cas, on décante la liqueur claire, et on place le précipité dans des sacs en toile qu'on tord pour exprimer le liquide contenu et qu'on soumet ensuite à l'action de la presse. Celle-ci se compose simplement d'une table inclinée, de 1 mètre de côté, munie d'une vis de pression. Le mélange boueux de liquide et de matière colorante qui s'écoule des sacs, est renvoyé aux cuves de la quatrième opération. Quant au résidu comprimé, il est, au sortir de la presse, desséché lentement à l'étuve, puis placé dans une cuve à double fond garni de toile, et lavé à l'eau chaude pour entraîner les dernières traces d'alcali et de sels alcalins. Les eaux de lavage ainsi obtenues sont renvoyées également aux cuves de précipitation des métaux étrangers. Le produit colorant, ainsi purifié, est de nouveau desséché à l'étuve, puis pulvérisé finement à la meule (*), et enfin mis en paquets d'un demi-kilogramme destinés à la vente.

§ 4. — Production annuelle.

On fabrique six espèces de sels, mentionnés dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des sels.	COULEUR.	FORMULE chimique.	PRIX de vente.
			fr.
I. Uranate de soude. . . .	Jaune clair.	$NaO, 2U^2O^3 + 6HO$.	57,50 le kilog.
II. Id. id.	Orangé.	$NaO . 2U^2O^3$.	57,50 —
III. Id. id.	Orangé vif.	?	63,50 —
IV. Uranate de potasse. . .	Orangé vif.	$Ko . 2U^2O^3$.	73,75 —
V. Uranate d'ammoniaque.	Jaune clair.	$AmO . 2U^2O^3$.	62,50 —
VI. Oxyde d'uranium. . . .	Noir.	$2UO . U^2O^3$.	80,00 —

(*) Ce broyage se fait au moyen de deux meules verticales couplées sur le même axe et tournant sur une table annulaire horizontale.

La production annuelle de sels d'urane s'élève actuellement à 4.500 kilog. Depuis la création de la fabrique, il en a été livré au commerce 67.207 kilog. représentant une valeur de 3.750.000 francs. Ces couleurs trouvent d'ailleurs un large débouché tant dans le pays même qu'à l'étranger, pour la fabrication des verres colorés, ainsi que pour la peinture sur porcelaine.

Le tableau suivant montre la progression suivie par la fabrication des sels d'urane à Joachimsthal, depuis 1859 jusqu'en 1876, ainsi que l'importance relative de chacune des six variétés ci-dessus mentionnées dans la production totale. On constatera en particulier que l'uranate de soude y joue le rôle principal, tandis que les quatre autres produits n'y entrent que pour une très faible part et d'une façon pour ainsi dire accessoire, ce qui explique leur cherté relative. Leur préparation diffère d'ailleurs peu de celle de l'uranate de soude, que nous venons de décrire.

Tableau de la production annuelle des sels d'urane à Joachimsthal de 1859 à 1876.

ANNÉES.	URANATE DE SOUDE			URANATE de potasse.	URANATE d'ammoniaque.	OXYDE d'urane.	TOTAUX annuels.
	jaune claire.	orangé.	orangé vif.				
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
1859	588,56	995,12	»	»	»	112,00	1.695,68
1860	1.775,20	63,28	»	»	»	»	1.838,48
1861	2.178,96	578,48	»	»	»	»	2.757,44
1862	3.207,12	1.301,44	»	»	»	»	4.508,56
1863	2.374,40	860,16	»	»	150.64	»	3.385,20
1864	3.032,26	2.660,16	»	»	»	»	5.692,42
1865	1.177,12	1.987,44	»	»	933,52	»	4.098,08
1866	851,20	1.719,76	»	»	»	»	2.570,96
1867	1.565,20	2.120,16	113,28	35,84	207,26	159,60	4.221,28
1868	2.387,20	1.174,32	»	»	»	»	3.562,16
1869	2.199,68	1.593,20	»	»	»	»	3.792,88
1870	1.739,92	1.722,00	»	86,84	»	»	3.548,72
1871	1.869,28	2.133,60	»	»	»	»	4.002,38
1872	3.015,04	769,44	»	»	»	»	3.882,48
1873	3.047,78	1.477,28	1,96	2,24	0,66	8,71	4.538,59
1874	2.278,64	1.640,80	»	»	2,76	»	3.922,20
1875	2.893,39	1.476,87	225,05	0,05	»	0,05	4.595,41
1876	4.594,00	»	»	»	»	»	4.594,00
Totaux.	40.775,55	24.273,51	360,29	124,93	1.300,94	372,20	67.207,42

DEUXIÈME PARTIE.

PRÉPARATION DES SELS DE VANADIUM.

§ 1. — Découverte et principaux emplois du vanadium.

Le vanadium a été découvert en 1830 par le suédois *Sefström;* il tire son nom de celui de *Vanadis* sous lequel était parfois désignée la déesse du Nord, *Fria* (*). Il fut trouvé ensuite par Wœhler, dans la pechblende. Berzélius en fit une première application dans la préparation d'une encre noire formée d'une combinaison de vanadate d'ammoniaque avec la noix de galle; cette même encre fut ensuite obtenue par Böttger en remplaçant la noix de galle par le pyrogallol. Le vanadate d'ammoniaque est employé, dans les laboratoires, comme réactif du tannin, et, dans l'industrie tinctoriale, à la transformation, en présence du chlorate de potasse et de l'acide chlorhydrique, de l'aniline en noir d'aniline.

§ 2. — Présence du vanadium dans la pechblende de Joachimsthal.

La pechblende de Joachimsthal contient environ 0,1 p. 100 de vanadium, à un état inconnu jusqu'ici.

Ce qui semble certain, c'est que l'urane n'est pas la seule substance qui ait de l'affinité pour ce métal, puisque les schlichs provenant de la préparation mécanique et relativement pauvres en urane, sont plus riches en vanadium que les échantillons de minerai massif.

D'autre part, si on analyse les calcaires rouges dolomitiques qui accompagnent ordinairement les minerais d'urane, on trouve qu'ils contiennent toujours de petites quantités de vanadium, alors même qu'ils sont complètement exempts d'urane. Ces mêmes calcaires, dissous dans l'acide chlorhydrique, laissent un résidu rougeâtre présentant à l'œil des paillettes brillantes de fer oligiste, et dans lequel est concentrée la totalité du vanadium.

(*) *Berg und Hüttenmanniche Zeitung.* — Année 1877.

§ 3. — Premiers essais de séparation du vanadium.

Lors de la création de la fabrique d'urane de Joachimsthal, il y a 27 ans, on essaya d'isoler le vanadium et cela, autant, sinon plus, pour en débarrasser les couleurs d'urane dont il altère la couleur, que dans l'intérêt de la science pure. Voici comment on y parvint.

1° *Grillage avec addition de chaux.* — La pechblende, employée à Joachimsthal à la fabrication des sels d'urane, est très difficilement attaquable aux acides : aussi, primitivement, la grillait-on avec de la chaux afin de donner naissance à de l'uranate de chaux facilement soluble dans les acides étendus. L'acide employé était l'acide sulfurique; la dissolution obtenue était ensuite traitée directement pour uranium. Mais il passait généralement avec ce méta un grand nombre de substances étrangères, telles que du molybdène, du tungstène, de l'arsenic et du vanadium, qui se retrouvaient dans le produit final. Comme les composés de l'oxyde d'urane avec les acides tungstique, molybdique, arsénieux et vanadique, ont en général une couleur gris-pâle, leur présence nuisait beaucoup à l'éclat et à la valeur du jaune d'urane. On était souvent obligé de retraiter les produits trop impurs ainsi obtenus. Bref cette méthode donnait des résultats peu satisfaisants et on chercha bientôt à la modifier.

2° *Grillage avec addition de soude.* — On remplaça la chaux, ajoutée jusqu'alors au grillage, par un mélange de carbonate et de nitrate de soude, dans le but de faire

passer le vanadium, le molybdène, le tungstène et l'arsenic, à l'état de sels de soude solubles dans l'eau chaude; l'uranate de chaux ou de soude, insoluble, devait au contraire rester dans le résidu. On soumettait en conséquence les minerais ainsi grillés, à un lessivage prolongé, de façon à enlever la majeure partie du vanadium et des métaux nuisibles; le reste de l'opération se trouvait par là simplifié, et la qualité du produit final, améliorée.

Cette manière de voir fut pleinement justifiée, au moins pour ce qui regarde l'urane, et les manipulations diverses que nous venons d'esquisser rapidement en dernier lieu constituent encore aujourd'hui, point pour point, les deux premières opérations de la méthode de traitement des minerais d'urane, décrite dans la première partie de cette note.

D'autre part, les liqueurs de lessivage étaient traitées pour vanadium: on les additionnait d'acide chlorhydrique, puis on y versait une infusion de noix de galle qu'on neutralisait ensuite peu à peu avec du carbonate de soude. On obtenait un précipité bleu-foncé de gallate de vanadium rendu impur par la présence de tungstène, de molybdène, d'arsenic, de silice et de soude. Ce précipité était séché et calciné, puis traité par l'eau bouillante qui dissolvait le vanadate de soude à peu près seul. La dissolution évaporée donnait du vanadate de soude brut.

C'est en 1856 que ce procédé d'extraction du vanadium fit son apparition à Joachimsthal. Après avoir été appliqué pendant quelque temps, il fut abandonné à cause de l'appauvrissement graduel des liqueurs de lessivage en vanadium. On attribua ce fait à une diminution de richesse des minerais eux-mêmes et, sans plus chercher, on s'en tint là.

§ 4. — Nouvelles tentatives.

Les choses étaient en cet état, lorsque, dans ces dernières années, le vanadium, longtemps resté sans application pratique, fut proposé simultanément de plusieurs côtés pour la teinture en noir des cotons et des laines, par la transformation de l'aniline en noir d'aniline. Le vanadium augmente en effet l'éclat de la couleur et la netteté de l'impression, il empêche l'attaque des cylindres et des cardes en fer, enfin il permet de régler plus facilement la période d'oxydation de l'aniline. Cette découverte stimula le zèle des chimistes, qui se remirent de nouveau à l'étude. D'autre part, le procédé appliqué jusque-là pour la préparation des sels d'urane commençait à donner de moins bons résultats: on constatait qu'il passait des quantités de plus en plus grandes d'arsenic dans les produits finis, ce qui était une source continuelle de désagréments. Bref, on fit subir aux minerais une analyse, qui démontra que, depuis 1856, leur teneur en chaux avait considérablement baissé, pendant qu'en même temps la proportion d'arsenic, de molybdène, etc., s'était notablement accrue. Dès lors tout s'expliquait: la chaux faisant défaut dans le minerai, l'uranium absorbait au grillage la majeure partie de la soude ajoutée, dont il ne restait plus assez pour faire passer la totalité de l'arsenic et des autres métaux nuisibles, à l'état de sels solubles dans l'eau. Par contre, la teneur en vanadium était la même qu'en 1856; seulement, par suite de l'insuffisance de la soude, ce métal restait, en grande partie, avec l'arsenic, le molybdène, le tungstène, etc., dans les résidus du lessivage, ce qui explique la pauvreté des liqueurs.

1° *Grillage avec addition de chaux et de soude.* — Pour remédier à cet inconvénient, la première idée qui vint à l'esprit fut d'ajouter aux minerais à griller, en outre des 4 pour 100 de nitrate et des 15 pour 100 de carbonate de soude, la chaux qui leur manquait. Mais on fut bientôt obligé de renoncer à cet expédient: la soude, ne trouvant plus dans le minerai des absorbants suffisants, réagissait sur les parois siliceuses du four, et les détériorait rapidement, pendant que la silice, ainsi introduite dans les li-

queurs, apportait plus tard de grandes difficultés à leur filtration.

2° *Augmentation de la propontion de soude.* — On essaya ensuite d'augmenter simplement l'addition de soude, alors sans ajouter de chaux. Mais les inconvénients précédents se manifestèrent avec plus de gravité encore, et cette tentative n'eut pas plus de succès que la première. D'ailleurs quand on force trop la proportion de soude, la matière se fritte, commence à fondre, et le grillage s'arrête fatalement au bout de quelques heures.

3° *Grillage préliminaire.* — On adopta enfin un procédé qui devait donner de meilleurs résultats. Le mal résidait surtout dans l'accroissement considérable de la proportion d'arsenic et de molybdène dans les minerais; on soumit ceux-ci à un grillage préalable très prolongé dans lequel une grande partie de ces deux éléments disparaissait à l'état d'acide arsénieux et d'acide molybdique volatilisés. Ce grillage était suivi d'un lessivage à l'eau chaude pour enlever les parties solubles, puis alors seulement on faisait l'addition de soude et on procédait à un second grillage.

Cette méthode réussit parfaitement, mais elle était trop coûteuse; on dut l'abandonner.

§ 5. — Dernières recherches.

A. *Grillage avec addition de chaux.* — On entra alors dans une autre voie, toujours en vue de débarrasser les sels d'urane des acides métalliques étrangers et de concentrer le vanadium dans un produit accessoire. Le grillage avec addition de soude ne conduisant pas, dans les conditions présentes, au résultat visé, on essaya un grillage avec addition de chaux, dans le but de faire passer l'urane et le vanadium à l'état de sels de chaux facilement solubles dans les acides étendus. — On traitait donc le produit grillé par l'acide sulfurique dilué, et on avait dans la liqueur, outre la presque totalité de l'urane, le vanadium et les autres métaux étrangers. Lorsqu'on venait ensuite à saturer cette liqueur par une dissolution froide de carbonate de soude, versée en excès et jusqu'à complète redissolution du précipité d'urane, on avait, d'une part, une liqueur renfermant, avec l'uranium, à peine une faible quantité d'acide molybdique et seulement des traces indosables des autres acides métalliques, et, d'autre part, un précipité de carbonate de chaux et d'oxyde de fer contenant, avec le vanadium, la presque totalité de l'arsenic, du tungstène et du molybdène, et en outre un peu d'uranium si la chaux et le fer ne s'y trouvaient pas en proportion suffisante; on était obligé, dans ce cas, de faire bouillir trois ou quatre fois le précipité avec une dissolution concentrée de carbonate de soude afin d'en extraire l'uranium à l'état d'arsenite d'urane, qui reste dissous dans le carbonate alcalin, même après refroidissement de la liqueur. Ce procédé avait l'inconvénient d'introduire de l'arsenic dans le produit final, puisqu'on réunissait cette dernière liqueur à la première, pour continuer le traitement.

On éluda cette difficulté en ajoutant à la dissolution sulfurique primitive une dissolution neutre de perchlorure de fer (*). Le précipité fourni dans ces conditions par le carbonate de soude était complètement exempt d'urane, et la liqueur ne contenait que des traces d'acide arsénique. On réalisait donc ainsi deux grands avantages :

1° On évitait l'introduction fâcheuse de l'arsenic dans les sels d'urane;

2° On concentrait le vanadium dans un produit accessoire, représentant environ le dixième en poids du minerai traité, et par conséquent dix fois plus riche en métal utile.

L'expérience de ce procédé, faite à Joachimsthal en novembre 1877, donna de très bons résultats.

(*) Pour 100 kilog. de minerai, on ajoutait 3 kilog. de peroxyde de fer dissous dans l'acide chlorhydrique.

B. *Traitement du précipité ferreux pour vanadate alcalin.* — On fit en même temps un essai pour l'extraction en grand du vanadium, du précipité d'oxyde de fer et de carbonate de chaux. On dessécha 300 kilogrammes de ce précipité, on les réduisit en poudre fine, puis on les grilla avec du carbonate et du nitrate de soude, et enfin on les lava à l'eau chaude. Les liqueurs de lessivage renfermaient des combinaisons de la soude avec les acides arsénique, vanadique, tungstique et silicique. Pour précipiter le vanadium de cette dissolution, on employa non plus une infusion de noix de galle comme précédemment, mais une dissolution titrée d'acide gallique dans l'eau; on savait ainsi la quantité de réactif employée. On ajouta d'abord à la liqueur légèrement alcaline une quantité d'acide gallique un peu moins que suffisante pour précipiter la totalité du vanadium; on obtint un précipité vert sale, gélatineux, lent à se déposer. On additionna alors peu à peu la liqueur d'acide chlorhydrique étendu, de manière à la rendre légèrement acide. Le précipité devint floconneux, prit une couleur bleu foncé très vive, et de plus se déposa rapidement; on put alors achever la précipitation du vanadium en ajoutant l'acide gallique goutte à goutte aussi longtemps qu'il se formait un trouble bleuâtre dans la liqueur. Le précipité obtenu fut filtré dans des sacs de toile, puis séché à l'étuve. Il présentait alors une couleur brun noir ou bleue, selon que la température de dessiccation avait été plus ou moins élevée.

Ce précipité cependant était loin d'être pur : il renfermait, outre le vanadium, des composés d'acide gallique avec l'arsenic, le molybdène, le tungstène, la silice et la soude; sa couleur bleue lui était communiquée par le gallate de vanadium prédominant. Ce produit, calciné, puis lessivé à l'eau chaude, donnait, par évaporation de la dissolution, du vanadate de soude brut; mais il fallait soumettre ce résidu à un raffinage particulier pour obtenir

un sel de vanadium pur. C'était une opération longue et délicate; on préféra procéder autrement.

On soumit une partie du précipité desséché à un grillage effectué à la température la plus basse possible pour détruire complètement l'acide gallique, sans fondre la matière (car lorsque ce fait se produit, on éprouve ensuite de grandes difficultés à éliminer le carbone provenant de la décomposition de l'acide organique). Dans ces conditions il semblait avantageux de ne pas trop prolonger le premier grillage : lorsque la matière commençait à prendre à la surface une teinte blanchâtre, on la retirait et on la soumettait à un premier lessivage à l'eau chaude pour enlever le vanadate de soude déjà formé. Le résidu était desséché, puis grillé une seconde fois; on avait alors moins de précautions à prendre puisque, l'acide gallique ayant été en majeure partie éliminé dans le premier grillage, on n'avait plus à redouter la fusion de la matière. Le produit de ce second grillage était lessivé à l'eau chaude comme le premier et on réunissait les deux dissolutions. Le résidu de ce second lavage renfermait la majeure partie de l'acide tungstique et de la silice et un peu d'acide vanadique; la dissolution au contraire contenait, outre le vanadate de soude, de l'arséniate et de l'arsénite de soude, du molybdate, du tungstate et un peu de silicate de soude. Comme la majeure partie de l'arsenic y était à l'état d'acide arsénique, il fallait, pour l'éliminer, le réduire d'abord à l'état d'acide arsénieux, au moyen d'un courant d'acide sulfureux amené dans la liqueur chaude rendue acide. Quand on jugeait la réduction achevée, on expulsait l'acide sulfureux par la chaleur et on faisait passer dans la liqueur un courant d'acide sulfhydrique. L'arsenic se précipitait à l'état de sulfure AsS^3 entraînant avec lui le sulfure de molybdène MoS^2, tandis que le sel vanadique était ramené à l'état de sel hypovanadique, qui colorait la dissolution en bleu foncé. La liqueur, après expulsion de l'acide sulfhydrique par la

chaleur et séparation du soufre précipité, retenait encore l'acide tungstique et la silice. On s'en débarrassait en évaporant à sec la liqueur additionnée d'acide sulfurique, et en reprenant le résidu par le même acide qui laissait insolubles ces deux substances. La dissolution de sulfate de vanadium était ensuite neutralisée par la soude caustique ajoutée en excès, puis soumise à l'action oxydante d'un courant de chlore pour transformer le sel hypovanadique en sel vanadique; il se formait ainsi du vanadate acide de soude, qui colorait la liqueur en rouge orangé. On faisait bouillir pour chasser le chlore libre et détruire ses composés oxygénés, puis on saturait la liqueur d'ammoniaque et on l'abandonnait à elle-même jusqu'à ce qu'elle fût devenue presque incolore, ce qui indiquait la formation de vanadate neutre de soude. Lorsque la liqueur était devenue complètement froide, on y jetait un morceau de sel ammoniac assez gros pour n'être pas entièrement dissous; il se précipitait alors du vanadate d'ammoniaque à l'état de poudre blanche, fine, complètement insoluble dans une dissolution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque. Ce précipité était lavé, d'abord avec une dissolution étendue de chlorhydrate d'ammoniaque, puis à l'alcool; on obtenait de cette façon du vanadate d'ammoniaque très pur.

§ 6. — Conclusion.

Cette méthode, malgré les bons résultats qu'elle a fournis, est encore beaucoup trop compliquée pour pouvoir être confiée à de simples ouvriers, et être rendue, par suite, économique. Quoi qu'il en soit, il faut espérer que de nouvelles recherches, basées sur ces expériences, permettront bientôt de développer la fabrication de ces intéressants produits. Jusqu'ici il n'a été préparé que des quantités insignifiantes de sels de vanadium et, à l'heure qu'il est, ce métal est bien plutôt encore une curiosité de laboratoire

qu'un produit vraiment industriel. L'usine de Joachimsthal est appelée à rendre de grands services aux industries tinctoriales en poursuivant, avec persévérance, les intéressantes recherches qu'elle a faites à ce sujet depuis quelques années; mais c'est seulement lorsque ses produits seront descendus à un prix accessible que le vanadium pourra être véritablement classé parmi les métaux utiles. Il a figuré à l'Exposition universelle de 1878, de l'acide vanadique, du vanadate de soude et du vanadate d'ammoniaque provenant de Joachimsthal; mais leur prix est encore très élevé : il atteint 90 francs le kilogramme pour le vanadate de soude.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Exposé préliminaire 326

PREMIÈRE PARTIE.

PRÉPARATION DES SELS D'URANE.

§ Ier. — **Nature des minerais** 327

§ II. — **Essais au laboratoire et calcul du prix d'achat des minerais** 328

1° Essai par calcination 328

2° Essai chimique 328

3° Calcul du prix d'achat 329

§ III. — **Traitement à l'usine** 330

1° Opération. — Grillage 331

2° — — Lessivage 332

3° — — Attaque des résidus 333

4° — — Élimination des métaux étrangers 334

5° — — Purification de la liqueur et précipitation de l'uranium 335

§ IV. — **Production annuelle** 336

DEUXIÈME PARTIE.

PRÉPARATION DES SELS DE VANADIUM.

§ I. — **Découverte et principaux emplois du vanadium** 338

Pages.

§ II. — **Présence du vanadium dans les minerais d'urane de Joachimsthal** 338

§ III. — **Premiers essais de séparation du vanadium** 339

1° Grillage avec addition de chaux 339

2° Grillage avec addition de soude 339

§ IV. — **Nouvelles tentatives** 340

1° Grillage avec addition de chaux et de soude 341

2° Augmentation de la proportion de soude 342

3° Grillage préliminaire 342

§ V. — **Dernières recherches** 342

A. Grillage avec addition de chaux 342

B. Traitement du précipité ferreux pour vanadate alcalin 344

§ VI. — **Conclusion** 346

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX EXÉCUTÉS A BOURBONNE-LES-BAINS

Par M. F. RIGAUD, ingénieur des mines.

I. — ÉTUDE DES SOURCES.

But de la notice. — L'Exposition de 1878 a été pour nous l'occasion de présenter sur Bourbonne un mémoire assez complet, mais trop étendu pour trouver place dans les *Annales des mines*. Il avait en outre l'inconvénient de reproduire la majeure partie des travaux déjà publiés dans ce recueil, en 1863 par M. Drouot, et en 1875 par M. Daubrée, et cette reproduction, nécessaire dans un ouvrage spécial, aurait fait ici double emploi. Enfin il donnait une place exagérée aux considérations archéologiques, aux dépens des détails techniques et pratiques. Nous avons donc dû restreindre certaines parties de ce travail, en développer un peu quelques autres, et diminuer surtout le nombre des planches en ne conservant que les plus essentielles à l'intelligence du sujet.

La notice de M. Drouot exposait bien complètement l'état des connaissances acquises sur les sources de Bourbonne lors des premiers travaux exécutés par le service des Mines, ainsi que les expériences faites à cette époque sur la salure, la température, et le volume des eaux. Mais, depuis cette époque, d'importantes opérations ont été exécutées : M. Debette a fait de grands essais de jaugeage par épuisement ; M. Duporcq a foré deux sondages importants et commencé l'aménagement général par la construction de l'aqueduc de

décharge; nous avons fait l'aménagement des sources; les anciens thermes ont été démolis et reconstruits, et nous y avons installé une distribution nouvelle dans des conditions exceptionnelles. L'histoire de tous ces travaux, et des découvertes qui les ont accompagnés, est dispersée dans des mémoires inédits, rédigés par les ingénieurs des mines qui ont été successivement chargés du service de la Haute-Marne, et nous nous proposons de résumer ces pièces, tout en rectifiant certaines hypothèses primitivement admises et que l'expérience n'a pas justifiées.

Depuis 1863, il n'a été publié qu'un seul mémoire de quelque étendue qui touche à l'histoire des sources : c'est un travail surtout archéologique écrit en 1877 par M. le Dr Renard, médecin inspecteur des eaux. Son auteur a utilisé les découvertes faites pendant nos travaux de 1875 et reproduit les photographies que nous avions fait prendre au fur et à mesure de nos trouvailles : les travaux exécutés et leurs conséquences techniques et pratiques ne tiennent d'ailleurs qu'une très faible place dans le « Bourbonne » de M. Renard, tandis qu'ils forment le fond de notre sujet.

Aujourd'hui, les travaux de restauration des thermes et des sources de Bourbonne sont presque terminés et amenés à un état que l'on peut regarder comme définitif, et il y a lieu d'espérer qu'aucun remaniement ne sera plus nécessaire, au moins de longtemps. C'est donc le moment de décrire les travaux qui ont été exécutés pour organiser les dispositions actuelles du captage des eaux et de leur emploi pour les divers services balnéaires. Tel est le but de la présente notice.

Mais malgré l'inconvénient de répéter quelques passages du mémoire de M. Drouot, il nous a paru nécessaire de revenir un peu sur le passé des sources de Bourbonne, puis de résumer brièvement les travaux de M. Drouot et de M. Debette, avant de décrire ceux de M. Duporcq et les nôtres. Nous aurons soin d'ailleurs de donner le moins de développement possible à ce coup d'œil rétrospectif. Quant au mémoire si remarquable de M. Daubrée, sa récente publication dans les *Annales des mines* nous dispense d'y puiser, et il nous suffira d'indiquer en passant les trouvailles auxquelles il se rapporte, en renvoyant pour tous les détails au tome VIII des *Annales*, 7e série.

Situation de Bourbonne. — Le mémoire de M. Drouot et la carte géologique qui l'accompagne donnent une description suffisante des terrains qui avoisinent Bourbonne, mais quelques rectifications nous paraissent nécessaires surtout pour la position des failles, dont M. Drouot nous semble avoir exagéré la variété : leur rôle est assez important dans la formation des sources pour qu'il y ait lieu de les examiner avec quelque attention.

Le sous-sol général de la région où Bourbonne est comprise est formé par les grès bigarrés, qui apparaissent au jour à Chatillon-sur-Saône, jusqu'à l'altitude 275 mètres, et que l'on retrouve au fond de nos sondages, sous Bourbonne, à la cote 210 environ. Il y a donc un plongement de 65 mètres sur 12 kilomètres, dans la direction de l'ouest, ou environ un demi-centième : mais il est probable que la pente générale est dirigée au nord-ouest, comme celle de tous les terrains supérieurs dans la contrée : elle aurait alors pour valeur 1 p. 100 environ, ce qui établirait une concordance à peu près exacte dans toutes ces couches.

Au-dessus des grès bigarrés s'élève une masse de 200 mètres au moins de puissance, composée des argiles bariolées, du muschelkalk, des marnes irisées, et du grès infraliasique (*) : ce dernier forme un plateau assez régulier à la cote 440 mètres environ, tout autour de Bourbonne, sauf à l'est, en circonscrivant la vallée de l'Apance et de ses affluents, ouverte par les érosions, avec le concours de quelques failles.

(*) Voir le mémoire de M. Drouot.

Ces couches de grès bigarrés sont percées, sans dérangement apparent de stratification, par trois pointements de roches anciennes aux environs du village de Châtillon-sur-Saône, sur les bords de l'Apance et de la Saône. Les granites paraissent appartenir à deux variétés, rose et grise, rencontrées simultanément sans qu'on puisse se rendre compte de leur position relative; ils sont d'ailleurs dans un état de décomposition assez avancé. Ils sont accompagnés par un quartzite rose compacte et par une sorte de micaschiste noir très dur et très fendillé. M. Drouot a désigné cette roche comme terrain de transition. Il est fort possible que telle soit sa vraie définition; mais l'étendue où l'abatage en a été fait pour l'empierrement des routes n'est pas suffisante pour que l'on puisse se rendre compte de sa liaison avec les terrains adjacents, non plus que des plans de stratification; cependant, quelques apparences semblent indiquer dans les micaschistes une stratification presque verticale, bien dissemblable de celle des grès, qui est horizontale au-dessus de ce témoin. D'autre part, des traces de granites sont apparentes à quelques mètres à l'ouest, à un niveau supérieur à la carrière des micaschistes. On aurait donc là un roc isolé, un témoin des roches de transition autour duquel se serait déposée la formation des grès bigarrés et qui présenterait lui-même peu d'épaisseur au-dessus de sa base de granite.

L'apparition de pointements granitiques ou de roches anciennes dans notre région, au travers du trias, n'est pas d'ailleurs un fait isolé. Au sud-ouest, on rencontre, après un parcours de 32 kilomètres, le gisement intéressant de Bussières-les-Belmont, où des carrières d'empierrement ont mis à découvert, sur 10 à 12 ares d'étendue, le granite rose accompagné d'une roche gris foncé fort tenace, dont l'aspect rappelle beaucoup celui de certaines grauwackes. En ce point, il semble y avoir eu une sorte de métamorphisme pour les assises inférieures des marnes irisées,

qui prolongent les bancs supérieurs de la grauwacke sans brusque transition. La présence de nombreux filons de quartz, de barytine et de calcite au milieu du granite et dans la roche schistoïde montre comment la transformation de structure des roches a pu s'opérer à Bussières par des eaux chargées de silice, et il devient difficile de dire si les roches dures exploitées sont des roches de transition ou des roches triasiques modifiées. Au nord-est, à 30 kilomètres environ, vers Passavant et Darney, on retrouve encore le granite et la granulite, apparents au travers du grès bigarré et accompagnés par les conglomérats du grès vosgien; et, dans la partie méridionale, près de Passavant, la limite des deux roches est occupée également par une grauwacke dure analogue à celle de Bussières-les-Belmont, mais ayant, comme à Châtillon, une stratification presque verticale, assez nette, qui permet de lui attribuer une origine fort antérieure à la formation des grès bigarrés et vosgiens, dont la nature, au contraire, a sensiblement respecté l'horizontalité primitive.

Remarquons, en passant, que ces trois points remarquables voisins de Châtillon sont alignés à peu près suivant la ligne N. 48° E. Cette direction prolongée passe exactement par le pointement granitique de Bussières-les-Belmont et coïncide avec l'orientation du système de la Côte-d'Or, rapporté à Bussières-les-Belmont, et fixée par M. Élie de Beaumont (*) à N. 47° 53′ E. Prolongée vers le sud-ouest, la même ligne suit le pied du plateau de Langres; vers le nord-est, elle semble rejoindre un autre alignement de pointements granitiques apparents dans le département des Vosges. Elle paraît ainsi déterminer la crête souterraine d'une chaîne de montagnes granitiques formant la limite des bassins géologiques anciens des

(*) Remarque sur les accidents stratigraphiques du département de la Haute-Marne, 1862.

mers du Sud et du Nord, limite qui différerait assez peu de celle des bassins hydrographiques actuels de la mer du Nord et de la Méditerranée, représentés par la Meuse et par la Saône.

Nous n'avons rien à ajouter aux descriptions de M. Drouot en ce qui concerne les autres roches du trias, sauf au sujet de la présence du gypse et du sel gemme dans les argiles bariolées.

M. Drouot, pour établir sa théorie des sources de Bourbonne, a supposé que celles-ci pouvaient emprunter leur salure à des bancs salifères qui existeraient dans les argiles bariolées. Il remarquait l'analogie de ces couches avec celles que M. Levallois a signalées comme associées à du sel gemme dans le département de la Moselle. Mais ce gisement ne nous paraît pas très probable. En effet, la partie supérieure des argiles bariolées a été entamée sur 6 mètres de hauteur auprès de Villars-Saint-Marcellin, à 6 kilomètres à l'est de Bourbonne, sans que l'on ait constaté autre chose que des traces d'efflorescences gypseuses sur les parois des carrières. La partie inférieure a été traversée par dix sondages à Bourbonne, sans que l'on ait rien aperçu qui représentât le sel gemme, même pour le n° 11, où toute la colonne a été enlevée sous forme de carottes solides. Enfin aucune source salifère n'existe sur le pourtour des collines formées par ce terrain aux environs de Châtillon-sur-Saône. Quant au gypse, il y en a si peu dans les argiles bariolées qu'il est nécessaire de les plâtrer; et les cultivateurs vont chercher cette substance parfois assez loin, jusqu'au sommet des coteaux où sont ouvertes les carrières à plâtre.

Rien n'est donc plus contestable que l'hypothèse de M. Drouot; si l'on peut admettre que les substances solubles ont été enlevées en totalité au voisinage des affleurements, cela est insoutenable pour le fond des sondages, à 40 mètres de profondeur, dans la région où ne pénètrent

pas les infiltrations superficielles. Nous verrons d'ailleurs un peu plus loin, qu'il n'est pas nécessaire d'invoquer la possibilité de la présence du sel dans le trias, pour expliquer la salure des eaux de Bourbonne.

Nous pouvons ajouter encore que l'hypothèse de M. Drouot sur l'origine des sources suppose que le sel gemme existe tout à fait à la base des argiles bariolées : or les sondages 11 et 12 sont là pour démentir le fait de la manière la plus catégorique. Il est assez probable d'ailleurs que les sources de Bourbonne ressembleraient davantage à celles de Vittel ou de Contrexéville, si elles prenaient comme elles leur minéralisation dans les couches superficielles.

L'ensemble de la vallée de l'Apance est dirigé vers l'est, avec vallons accessoires et coudes brusques placés à peu près dans une direction perpendiculaire. L'Apance elle-même, après un certain parcours nord-sud, tourne assez brusquement à l'est, dans la direction N. 87° E., pour aller se jeter dans la Saône, à 12 kilomètres en aval de Bourbonne. Elle coule d'abord sur le muschelkalk, puis sur les argiles du grès bigarré. Dans toute sa partie inférieure, à partir d'Arnoncourt, son lit est creusé en forme de tranchée étroite, de $4^{m},50$ de profondeur, dans des alluvions qui s'étendent sur 500 mètres de largeur environ, entre les pieds des coteaux voisins.

Un peu avant de prendre sa direction définitive à l'est, l'Apance reçoit, sur sa rive droite, le ruisseau de Borne, qui traverse la partie basse de la ville de Bourbonne. Ce ruisseau occupe le fond d'un vallon sensiblement rectiligne, dirigé N. 87° E. A la traversée de Bourbonne, il est rejeté un peu vers le nord, probablement de main d'homme, peut-être cependant aussi par le hasard des érosions. Il passe à 40 mètres au nord du puisard romain. Le ruisseau prend sa source à 6 kilomètres à l'ouest de Bourbonne, au pied des grès infraliasiques, et découpe une vallée de 60 mètres environ de profondeur, d'abord

dans les marnes irisées, puis dans le muschelkalk. La fin de son cours est à quelques mètres en contre-bas du niveau supérieur des argiles bariolées. Enfin il se jette dans l'Apance, 700 mètres après son passage devant le puisard romain.

La ville de Bourbonne, qui possède 4.000 habitants, occupe presque exclusivement le flanc gauche de la vallée de Borne : les sources et les établissements thermaux sont dans le bas-fond, sur la rive droite du ruisseau, et la source la plus importante, dite le Puisard romain (sondage n° 13), se trouve à une quinzaine de mètres de la base du coteau; les sources militaires s'en écartent un peu plus en se rapprochant de la Borne.

Quant à la ville elle-même, elle est entièrement bâtie sur le muschelkalk. La plus grande partie repose sur les calcaires de ce terrain, et présente des pentes fort raides : un promontoire presque à pic, jadis occupé par un donjon féodal, termine la ville au-dessus du confluent de la Borne et de l'Apance. Tout à fait dans le haut de la ville, sur la route de Montigny, les pentes s'adoucissent, et les dernières maisons sont bâties sur des marnes qui surmontent les calcaires du muschelkalk, sans cesser d'appartenir à ce terrain.

Failles. — Le relief général du pays est dû aux érosions subies par les divers terrains que nous avons signalés, sur une hauteur totale de 200 mètres environ ; mais la direction de ces érosions paraît avoir été déterminée par un certain nombre de failles qui se lient à l'apparition des granites au confluent de l'Apance et de la Saône.

On peut relever aux environs de Bourbonne 8 failles plus ou moins bien définies, que nous avons tracées sur le fragment de carte géologique ci-joint (V. Pl. IV). D'après celle de M. Drouot, le nombre des accidents géologiques paraîtrait bien plus considérable : au moins faudrait-il composer beaucoup de directions rectilignes pour reproduire le réseau figuré dans la notice de 1863. Mais la position de quelques-uns de ces accidents exige une rectification qui les simplifie considérablement, et certaines failles de M. Drouot ne nous paraissent pas réellement exister. Telles sont celles figurées auprès de Senaide : il n'est pas nécessaire de recourir à des dénivellations accidentelles, pour expliquer la réapparition du muschelkalk entre les côtes de Refromont et d'Ainvelle : l'érosion des marnes irisées a suffi pour mettre au jour le terrain sous-jacent.

Sur la carte géologique de MM. Royer et Barotte, comme sur celle de M. Duhamel, le nombre des failles est au contraire réduit au-dessous de la vérité. Ces auteurs, tout en traçant avec exactitude les accidents apparents à la surface du sol, n'ont pas tenu compte de ceux qui sont cachés sous les alluvions des vallées, et révélés seulement par les différences de cotes des deux flancs.

La faille la mieux définie est celle qui part de Fresnes, dans la direction N. 59° E., en se dirigeant vers Lironcourt. Elle met en contact la base des marnes irisées avec les calcaires du muschelkalk, sur plusieurs kilomètres de longueur, au pied de la côte de la forêt. La dénivellation n'est pas bien considérable, et s'élève à 25 mètres environ. Le prolongement de cette faille vers le nord-est nous semble jouer quelque rôle dans la limitation des affleurements du grès bigarré et dans un coude assez brusque, formé par la Saône auprès de Lironcourt. Dans les deux sens, au delà de Fresnes et de Lironcourt, elle disparaît dans les alluvions de l'Apance et de la Saône, sans laisser de traces au delà du fond de ces vallées.

Une autre faille assez nette, mais beaucoup moins importante, se montre exactement avec la même direction, en amont de Bourbonne, auprès de la fontaine du Franc Rupt (ou du Grand-Roi). Elle commence au bord des alluvions de l'Apance, sans déplacer beaucoup les terrains, puis disparaît à peu de distance dans les marnes de la

côte de Refromont, mais son influence s'étend jusque auprès d'Ainvelle, s'il faut, comme cela nous paraît vraisemblable, lui attribuer une partie de la différence de 47 mètres, qui existe entre les côtes d'Ainvelle et de Raumont, entre lesquelles passe son prolongement.

Quatre failles parallèles appartiennent à la direction N. 87° E. Une seule d'entre elles présente quelque netteté à la surface du sol : elle se trouve à peu de distance au nord de Bourbonne, coupe la route de Lamarche, rejette un peu les affleurements des marnes irisées, et limite la petite côte appelée Moulin-des-Vignes. C'est un très petit accident géologique, mais il est défini avec assez de précision et présente quelque intérêt, surtout pour fixer la direction exacte de ses congénères.

La seconde faille de cette espèce est celle qui parcourt le vallon de Borne dans toute sa longueur. Elle abaisse un peu la partie des marnes irisées placée au nord, et fait apparaître les bancs supérieurs des argiles bariolées au pied du coteau sud, à la traversée de Bourbonne, tandis qu'ils restent invisibles sur le côté nord. M. Drouot a pu en mesurer la dénivellation (*), en constatant que le banc sableux placé à la base du muschelkalk, s'élevait à la cote 265 sur la rive droite de la Borne, dans le jardin des bains, tandis qu'on ne l'avait rencontré qu'à la cote 256, dans un puits foré sur la rive gauche, à une cinquantaine de mètres au nord. Le rejet dû à la faille serait donc de 7 mètres, sauf les causes d'erreur minimes que peut comporter une semblable détermination.

La direction N. 87° E. est encore celle du cours de l'Apance sur 5 kilomètres de longueur, depuis le ruisseau de Genrupt jusqu'à Fresnes. Une différence de niveau de 40 mètres, qui existe entre les mêmes bancs du muschelkalk, sur les deux rives, nous paraîtrait inexplicable, si

(*) *Annales des mines*, 6e série, tome III.

l'on n'admettait pas une faille assez importante, suivant le fond de la vallée. Mais, cachée par les alluvions, elle est invisible et ne peut être définie que par la direction générale du cours d'eau. La coïncidence exacte de cette direction avec celle du vallon de Borne et avec la première faille relevée plus haut, nous fait supposer que celle-ci appartient au même système. En arrivant à Fresnes, la faille est marquée dans le village même par la suppression des argiles bariolées entre le grès bigarré et les calcaires du muschelkalk, puis elle disparaît dans les grès bigarrés, tout en se prolongeant probablement plus ou moins directement pour aller un peu plus loin déterminer quelques-uns des coudes du cours de la Saône en aval de Châtillon.

Enfin une autre faille, parallèle aux précédentes, suit des portions du cours de l'Apance dans les grès bigarrés, entre Fresnes et Châtillon. On peut observer que, dans cette partie, la rivière forme une série d'angles droits, courant tantôt est-ouest, tantôt nord-sud. M. Drouot considérait tous ces détours comme dus à autant de petites failles. Si elles existent, elles ne sont guère apparentes ; cependant il est probable qu'il y a réellement, dans cette région, un réseau de cassures suivant deux directions perpendiculaires et qu'elles ont déterminé le cours sinueux de la rivière au travers des grès bigarrés. Dans tous les cas, la faille N. 87° E. que nous signalons, a été la cause déterminante de l'apparition des granites, qui se montrent au nord de la cassure, et non au sud.

La direction N. 3° O. perpendiculaire au système des failles citées ci-dessus, en outre des coudes du cours inférieur de l'Apance, semble avoir joué quelque rôle dans la position des petits cours d'eau voisins de Bourbonne, ou de certains vallons secs (*). Tel est le cas du vallon des Ozières,

(*) M. Jacquot a signalé la fréquence des vallons secs comme un indice des cassures des terrains.

au sud de Serqueux; on n'y trouve pas d'eau, malgré le ruisseau indiqué sur la carte, depuis le pont de l'Ozière jusqu'à la fontaine du Franc-Rupt. De plus, vers son débouché, les roches de la rive droite sont fortement inclinées au sud-est, ce qui nous a permis d'y tracer une faille d'autant plus intéressante que son prolongement, caché par les alluvions de l'Apance et par les constructions de Bourbonne, viendrait précisément tomber sur la zone des sources thermales et pourrait par conséquent jouer un rôle important dans la formation de ces sources. A l'ouest, on trouve à peu de distance le vallon de Jean-Payard qui se présente dans des conditions analogues, et avec la même direction. A l'est, le ruisseau du Clan, qui passe à Senaide, est en majeure partie orienté parallèlement à cet accident.

Il reste encore une autre direction de failles définie par la direction moyenne du cours de l'Apance depuis la fontaine du Franc-Rupt, jusqu'au ruisseau de Genrupt. Masquée par les alluvions, la faille est prouvée seulement par la différence de cotes des couches calcaires du muschelkalk sur les deux flancs de la vallée. Sa direction réelle ne peut être déterminée très exactement. Cependant elle semble perpendiculaire à l'orientation N. 59° E. trouvée pour l'autre faille partant de la fontaine du Franc-Rupt. Elle suivait alors la ligne N. 31° O., et c'est précisément l'angle que nous avons trouvé en la traçant sur la carte géologique. C'est aussi dans cette situation qu'elle était indiquée par M. Drouot. Peut-être un branchement à peu près parallèle forme-t-il, au pied de Fresnes, la limite des alluvions et du coteau en rejoignant ensemble les deux failles parallèles N. 87° E. placées dans le village même et un peu au sud.

L'étude des mouvements subis par le sol de Bourbonne peut être utilement complétée par la recherche des lignes de fracture des roches solides.

L'examen des importantes carrières de grès bigarré, voisines du pont de Châtillon, montre de grandes fissures

orientées N. 18° E., et perpendiculairement, E. 18° S. Les blocs de pierres de taille ne peuvent être tirés de la carrière, sans déchet, qu'au moyen de recoupes menées suivant ces alignements.

Enfin dans les autres carrières de grès et dans les exploitations de moellons du muschelkalk, nous avons rencontré des fissures importantes et régulières ayant pour directions N. 74° E., et la perpendiculaire à cette ligne.

En résumé, les mouvements les plus apparents dont notre région a été le théâtre, semblent se réduire à deux étoilements ayant leurs centres principaux à Bourbonne et à Fresnes, et réunis entre eux par deux de leurs branches qui ont dessiné le cours de l'Apance depuis le Franc-Rupt jusqu'à Fresnes. Les fractures, dans chacune de ces déchirures, paraissent avoir affecté quatre directions perpendiculaires deux à deux, et les mêmes pour chacun des étoilements. Quant aux lignes de cassures des grès et calcaires dans leurs carrières, elles sont indépendantes, au moins par leurs directions, des mouvements plus généraux du sol décelés par les failles.

Alluvions. — Les dépôts qui occupent le fond des vallées de l'Apance et de la Borne sont composés surtout d'une boue argileuse grisâtre, au milieu de laquelle sont irrégulièrement disposés des amas lenticulaires minces de graviers, formés de galets calcaires mélangés de quelques débris de grès infraliasique et d'agates. Leur largeur est variable, et leur surface supérieure est plane et un peu inférieure au niveau des hautes eaux : aussi les prairies qui les recouvrent sont-elles fréquemment inondées.

Les alluvions de la Borne n'occupent une largeur sensible qu'à la traversée de Bourbonne, où elles se développent sur 60 mètres environ. Leur puissance ne dépasse probablement pas 5 à 6 mètres en amont de l'établissement civil, car nous avons trouvé les argiles bariolées en place à cette profondeur, immédiatement au-dessous des constructions

romaines que nous avons détruites sur la place des bains. Un peu en aval, les sources romaines tubées n°s 1 et 2, ainsi que les deux autres tubages découverts par Lebrun, ont montré que l'érosion dans les argiles descendait jusqu'à une profondeur de 12 mètres; mais il est fort probable que les vides, reconnus en ces points particuliers, sont dus à l'action des sources, et nous pensons que le niveau supérieur des argiles est presque en contact avec la base du béton romain, située à une profondeur de 10 mètres environ. Dans tous les cas, la pente du fond de la vallée a dû être assez raide au passage de Bourbonne, lorsque se sont déposées les premières alluvions. Il est d'ailleurs fort possible que les sources aient contribué à ce rapide changement d'inclinaison, en ameublissant les terrains de la surface à l'endroit où elles émergeaient, et en rendant plus facile leur enlèvement par le travail des érosions.

Les alluvions de l'Apance ont une largeur de 500 mètres auprès de Bourbonne, depuis le confluent de la Borne jusqu'au ruisseau de Genrupt. Auprès de Fresnes, elles se développent sous forme d'un triangle rectangle isocèle, dont les petits côtés ont près de 2 kilomètres de longueur. Un peu en aval, la rivière pénètre au milieu des grès bigarrés : son cours est alors fort resserré, et il n'y a plus d'alluvions au fond du lit de la rivière, établi directement sur les rochers solides, sauf interposition de quelques graviers mobiles. La puissance des alluvions dans cette partie est donc seulement la hauteur des berges du cours d'eau, soit à peu près $4^m,50$.

Cette remarque nous permet d'évaluer entre 8 et 14 mètres la puissance des alluvions dans la vallée de l'Apance aux abords de Bourbonne. En effet, d'une part, nous avons obtenu le premier de ces chiffres directement, en enfonçant des tiges de fer qui n'ont pas rencontré, jusque-là, d'autre résistance que celles des terrains meubles. D'autre part, la pente totale n'étant que de 9 mètres à $9^m,50$, de Bourbonne au point étranglé, on doit avoir le maximum d'épaisseur des alluvions en ajoutant cette pente à la profondeur du lit, estimée ci-dessus à $4^m,50$.

Deux autres observations vont nous permettre d'arriver à deviner l'état du sol à la fin des grandes érosions.

La première, c'est que le relief général du pays n'a pas sensiblement changé depuis le commencement de la période alluviale, et qu'aucun jeu de failles de quelque importance ne s'est produit depuis fort longtemps dans ces contrées. En effet, on ne rencontre aucun lambeau de dépôts d'alluvions placé au-dessus du niveau des hautes eaux et découpé par des érosions ultérieures : en d'autres termes, toutes les alluvions de cette région ont le caractère de dépôts modernes.

La seconde, c'est que l'épaisseur des alluvions de l'Apance et de la Borne va sans cesse en augmentant. En effet, chaque année, les inondations recouvrent la totalité des prairies, quelquefois à plusieurs reprises. Ces eaux torrentielles sont très chargées de matières terreuses : elles tiennent en suspension les débris des terrains qu'elles ont parcourus, en descendant, sur près de 200 mètres de hauteur. Comme la pente moyenne ne dépasse pas 1 millième, le fait seul de l'apport annuel de plusieurs dépôts d'inondation, prouve que le fond de la vallée va en se relevant progressivement.

Nous pouvons donc conclure en disant : que la surface naturelle du sol, aux environs de Bourbonne, à une époque indéterminée, a présenté à peu près à nu les roches en place, formant une pente continue depuis Bourbonne jusqu'à Châtillon, et que cette surface se trouvait, à Bourbonne, à 6 mètres environ au-dessous du niveau du sol actuel, au moment où commençaient à se déposer les alluvions. Ce résultat présente de l'intérêt, à cause de la découverte, dont nous parlerons plus loin, de quelques silex taillés à 6 mètres de profondeur au puisard romain.

Théorie des sources. — Les sources de Bourbonne, telles qu'elles étaient connues il y a cent ans, émergeaient sur la rive droite du ruisseau de Borne, au fond de son vallon, au milieu des terres rapportées et des débris d'anciennes constructions. Les moindres excavations dans le sol donnaient lieu à des venues d'eaux plus ou moins chaudes, plus ou moins salées, que les habitants considéraient comme autant de sources thermales indépendantes. Nous avons un plan grossier de 1700, qui indique une quinzaine de ces sources, et on aurait pu en créer bien davantage, puisque le sol perméable de la place des bains était tout entier parcouru par des infiltrations de ce genre.

Les travaux de 1783 et 1784 ont montré que l'origine des sources connues jusque-là n'était pas aussi naturelle qu'on le supposait : on a reconnu à cette époque que la source dite le Puisard-Romain, était enveloppée par un puits en maçonnerie jusqu'à 6 mètres au moins au-dessous du sol où elle émergeait, et que les sources militaires appelées Étuve et Bains-Patrice, provenaient de tuyaux verticaux en plomb profondément enfoncés dans la terre. L'exécution du sondage n° 12 a prouvé que la Fontaine chaude n'était pas une source naturelle, mais un afflux d'eaux chaudes arrivant en ce point par des travaux romains. Enfin tous les autres suintements ont disparu sitôt qu'on a facilité l'émergence de certaines sources, et puisé les eaux à la pompe dans le puisard romain.

L'étude du sondage n° 13 nous a appris au contraire que le puisard romain, malgré les travaux qui l'entouraient, était bien une source naturelle, la seule ou au moins la plus importante de la région. Il a montré que les eaux thermales qui l'alimentaient traversaient les argiles bariolées, imperméables, grâce à une cheminée sableuse presque verticale.

Le percement de dix sondages, opérés dans la zone des sources, a fait connaître que les trous de sonde recevaient

d'abord, à leur partie supérieure, des eaux chaudes provenant des terrains d'alluvion, remplis d'anciennes démolitions; puis, quand on s'est mis à l'abri de ces infiltrations par de bons scellements, les trous de sonde reçoivent encore une faible partie de leur débit à la traversée de certains niveaux sableux interposés au milieu des argiles bariolées. Ils en empruntent beaucoup plus aux couches sableuses qui réunissent ces argiles aux grès bigarrés, et le sondage n° 12 a même accusé un notable accroissement dans cette dernière roche.

Une zone sableuse, située probablement à la base des alluvions, immédiatement au-dessous du béton romain, met en communication entre elles toutes les sources romaines, qui conservent en même temps une indépendance partielle. Pour nous en tenir aux preuves les plus directes de ce fait, nous rappellerons seulement les observations auxquelles ont donné lieu les travaux de 1875.

Lors des fouilles du puisard civil (*), toutes les eaux circulant dans les galeries romaines aux environs du puisard romain, sont venues déboucher dans notre excavation par une ancienne communication romaine, dont le radier était à la cote 250,50. Elles apportaient une masse d'eau considérable, s'élevant à 50 mètres cubes par heure environ, et composée d'un mélange d'eau froide et d'eau thermale. La source romaine n° 2, du puisard militaire, qui prend son origine au-dessous du béton romain par un tuyau en plomb, n'a pas coulé à la cote 252,20, tant que nos épuisements ont été en activité au puisard civil. Aussitôt les épuisements terminés et le puisard construit et fermé, cette source a recommencé à donner un filet d'eau à la cote 252,20, bien qu'au même moment les eaux des sources romaines continuassent à s'épancher dans le caniveau de nos galeries, à la cote 251,78. Une différence de charge

(*) Voir le plan général des travaux définitifs, Pl. V.

de $0^m,42$ pouvait donc se maintenir en faveur de la source n° 2, mais sans s'accroître beaucoup au delà, puisqu'elle ne pouvait atteindre $1^m,70$, la source n° 2 étant arrêtée par l'écoulement des autres à la cote 250,50. Lorsque le niveau général des émergences s'est trouvé fixé à 252,15 par le nouveau captage, le débit du n° 2 a augmenté dans une forte proportion. Enfin, pendant les épuisements eux-mêmes, les eaux vagues passaient à travers certains joints du puits des pompes militaires jusqu'aux environs de la cote 251, accusant ainsi une charge notable dans les terrains ambiants. La distance, en ligne droite, est de 80 mètres entre la source n° 2 et le puisard romain.

Ces remarques suffisent à prouver que toutes les sources romaines ne peuvent pas être considérées comme ayant pour origine unique celle du puisard romain, déversée dans des assises perméables, ou dans des conduites souterraines artificielles, qui les répartiraient entre les divers orifices. Elles établissent en même temps l'existence d'une zone un peu perméable réunissant toutes ces sources entre elles. Comme elles ont toutes leur point d'origine au-dessous du béton romain, il faut admettre l'existence d'un dépôt de sables ou de graviers, plus ou moins continu, servant d'appui à ce massif, et ayant son maximum de perméabilité auprès des sources militaires, où il y a dépendance réciproque et complète entre tous les tubages romains.

D'autres observations analogues établissent l'existence d'une seconde zone perméable placée à la base des argiles bariolées. D'abord les sondages ont rencontré beaucoup de sables au contact de ces argiles et des grès sous-jacents, ce qui est une preuve directe. Ensuite, à plusieurs reprises, il a été constaté que l'ouverture d'un nouveau sondage faisait diminuer le débit de tous les autres. Mais la dépendance réciproque est bien moindre que pour les sources romaines. En effet, tandis que ces dernières, à 80 mètres

de distance, subissent à peine une différence de pression de $0^m,50$, nous avons trouvé qu'une différence de charge de plus de 3 mètres se maintient, à 10 mètres de distance seulement, entre les eaux des sondages n° 10 et n° 13, quand on met l'un d'eux en charge en fermant son écoulement habituel.

Enfin il faut remarquer que les sources anciennes et modernes ne sont pas non plus indépendantes : car les nouveaux forages ont toujours fait baisser le volume d'eau fourni auparavant par les sources romaines. La réciproque n'a pas été étudiée jusqu'ici, mais elle va de soi. On pourrait du reste la vérifier par le procédé suivant : après avoir jaugé tous les sondages, on ouvrirait la bonde de fond du puisard civil : l'eau des sources romaines y pénétrerait alors par le drainage et par la communication dont nous avons parlé, placée à la cote 250,50. On ouvrirait de même, au puisard militaire, le robinet réservé de la source n° 2, ce qui déchargerait à la cote 249,50 toutes les eaux de cette région. On maintiendrait les épuisements dans les deux puisards pendant un temps suffisant pour établir l'équilibre, qui ne s'obtient qu'après plusieurs jours. Enfin on jaugerait de nouveau les sondages qui accuseraient certainement tous une diminution. Après la fermeture des orifices, et une attente de quelques jours, un troisième jaugeage fournirait une contre-vérification.

Quant à l'explication de cette triple dépendance, la cheminée sableuse du n° 13 nous paraît apporter la clef de la question, et voici comment nous comprenons les relations entre toutes les sources.

La nappe d'eau minérale chaude qui circule sous pression, à la surface des assises du grès bigarré, a percé en plusieurs points la masse des argiles bariolées qui la surmontait, probablement par délayage progressif. Elle a formé ainsi des puits à peu près verticaux, dont le plus important est sans doute celui qui a pour issue le puisard romain. Ces

cheminées n'ont pas été vidées, mais remplies de matières perméables sur une étendue suffisante pour permettre le passage des eaux affluentes.

Quant aux sables remplissant ces puits, ils doivent provenir en partie du lavage des couches d'argiles sableuses : en partie aussi ils ont été amenés par les sources elles-mêmes, et formés aux dépens des grés bigarrés (*). Dans un de ses voyages à Bourbonne, M. Daubrée a trouvé dans les matières tirées du sondage n° 13, avec les sables de la partie supérieure, un fragment de grés présentant une pseudomorphose de sel marin et qui lui a paru caractériser le grès bigarré. On a d'ailleurs la preuve directe de l'apport fait par les sources de morceaux d'une dimension appréciable, par les nombreux débris d'origine organique mélangés à la partie supérieure du remplissage de la cheminée du n° 13, et comprenant des fragments de menus bois, des noisettes vides et des noyaux de fruits, et l'on sait comment les sables peuvent s'élever progressivement et s'amonceler par remous successifs.

Le phénomène d'amenée des sables paraît se continuer encore aujourd'hui, car le puisard romain a été trouvé comblé de sablon jusqu'à sa partie supérieure, lors des travaux de 1783. On l'a curé à cette époque jusqu'à 4 mètres de profondeur et la même matière s'y était accumulée de nouveau sur au moins 1 mètre d'épaisseur de 1783 à 1857, époque du second curage. Ces sables ne devaient pas provenir de la surface, car les alluvions du ruisseau de Borne sont presque exclusivement argileuses, et les inondations de ce cours d'eau nous semblent les seules causes possibles et importantes d'envasements superficiels. On doit encore remarquer, à l'appui, que la base de nos colonnes de sondage se remplit peu à peu de sables, qui ne peuvent venir que du fond.

(*) Mémoire de M. Daubrée, 8°, *Annales des mines*, tome VIII, 1875.

Les cheminées fournissent de l'eau minérale à tous les bancs un peu perméables qu'elles traversent, et c'est ainsi que se sont produites les venues d'eau constatées à divers niveaux dans la plupart des sondages (sauf le n° 12) et surtout à ceux des n°s 1, 6, 8. Leur épanchement naturel total devait se faire autrefois à la surface du sol, sans doute dans une sorte de bassin naturel rempli de sablon jusqu'au niveau d'écoulement.

On conçoit, dans cette théorie, comment la couche perméable, placée à la base des argiles bariolées, rend les sondages et les cheminées naturelles tous dépendants les uns des autres, au moins dans une certaine mesure, limitée par la perméabilité de cette couche.

Quant aux sources romaines, elles sont alimentées par les eaux amenées par les cheminées naturelles et extravasées dans une seconde couche filtrante placée à la partie supérieure des mêmes argiles, à la base des alluvions et du béton romain. Cette seconde couche, plus perméable que la première, explique la dépendance entre les sources romaines, plus étroite qu'entre les sondages.

Reste maintenant à savoir d'où proviennent les eaux thermales remplissant le niveau originel de toutes ces sources.

La température des eaux, élevée à 65° à leur sortie des sondages, indique qu'elles ont passé à 1.200 ou 1.500 mètres au-dessous de la surface du sol, d'après la règle d'accroissement de 1° par 50 mètres.

M. Drouot admettait que les eaux superficielles pénétraient dans la terre par filtration ou par des puits naturels d'absorption, peut-être par les endouzoirs que présente le cours de la Borne à la surface des calcaires du muschelkalk, à 3 kilomètres en amont de Bourbonne. Il pensait que ces eaux infiltrées dans les grès bigarrés, puis échauffées sur leur trajet, trouvaient quelque part à l'ouest de Bourbonne le moyen de remonter à la surface de ces

grès, probablement par la faille de la Borne. Enfin, il croyait que le sel n'y était dissous que sur la fin de ce trajet, par le passage de l'eau à travers les couches inférieures des marnes bariolées, où il admettait gratuitement la présence de dépôts considérables de sel gemme.

Nous ne pensons pas que cette manière d'envisager les sources puisse être acceptée. La grande cheminée sableuse reconnue sous le puisard romain nous paraît l'indice certain de l'orifice principal d'émergence des eaux thermales à travers les grès bigarrés, et nous croyons que les failles jouent dans le phénomène un rôle plus direct et plus considérable que ne le supposait M. Drouot. C'est ce rôle que nous allons tâcher de déterminer.

D'abord, il est constant qu'une faille passe très près des établissements thermaux : c'est M. Drouot lui-même qui a pu en constater l'existence avec précision ; mais il n'a pas semblé y voir la cause spéciale de la venue des sources au jour, bien qu'il l'eût reconnue tout près du point intéressant. Il nous paraît cependant très naturel d'admettre que c'est par la faille même, ou par les cassures subordonnées, que se produit l'ascension des eaux minérales depuis la profondeur. En effet, tous les filons se sont formés dans les failles, et l'on considère leur origine comme ayant les liaisons les plus étroites avec les sources minérales. Celles de Bourbonne, en particulier, capables de former un dépôt pyriteux sur les grains de quartz de leur bassin, amènent avec elles du sulfure de fer, du manganèse, et peut-être même de l'antimoine (*) : car la présence de ce dernier métal dans les cuivres gris du trésor du puisard ne peut être, jusqu'à nouvel ordre, attribuée au voisinage des bronzes ou des plombs romains, où l'analyse n'en a pas fait connaître même des traces. Ce sont donc des sources

(*) L'antimoine fait partie des cuivres gris reconnus par M. Daubrée dans le mémoire déjà cité.

filonniennes, qui doivent ou peuvent former des dépôts progressifs sur les parois de leurs conduites souterraines, et qui pourront finir par les transformer en filons métallifères. A ce point de vue, il est donc probable que les eaux thermales sourdent à Bourbonne après un certain parcours dans des failles.

Ensuite, la faille de la Borne n'est pas isolée : elle se trouve en relation, à l'est, avec un réseau d'autres fissures, assez compliqué, et sans grands rejets. Les parties de ces failles qui se dirigent au nord-ouest ne semblent pouvoir jouer aucun rôle dans la formation des sources thermales, car le rapprochement de leurs lèvres, composées d'argile en presque totalité, a dû fermer rapidement toute ouverture d'introduction des eaux. Mais il en est tout autrement à l'est. Dans cette direction, trois ou quatre cassures successives, décelées seulement par des rejets de quelques mètres, rejoignent indirectement la faille de la Borne au pointement granitique de Châtillon-sur-Saône et aux grès bigarrés qui l'entourent. (Peut-être les eaux de Bourbonne proviennent-elles de plus loin, mais il n'y a rien d'impossible à ce qu'elles soient prises seulement à cette distance, qui s'élève à 12 kilomètres environ). Dans la partie gréseuse et granitique de leur lit, le cours inférieur de l'Apance et celui de la Saône sont traversés par une ou plusieurs failles. L'ouverture de celles-ci ne doit pas être complètement fermée par les alluvions qui sont très grossières et presque absentes en certains points resserrés, surtout sur l'Apance, un peu en amont de Châtillon. On peut facilement admettre que les eaux de cette rivière pénètrent par cette cassure dans les terrains anciens. Elles peuvent descendre ensuite à toute profondeur sans être arrêtées par aucun banc argileux, s'échauffer, et remonter ensuite par un branchement de faille, en un point qui se trouve avoir été choisi par la nature sous Bourbonne.

Quant à l'origine des matières minérales contenues dans

les eaux de Bourbonne, il n'y a pas lieu de la chercher dans leur passage, sous forme de courant presque horizontal, à travers des couches salifères placées à la base des argiles bariolées, et à la fin de leur cours souterrain, ainsi que le supposait M. Drouot. Il faudrait d'abord admettre l'existence de ces bancs de sel, ce qui nous paraît fort controversable, comme nous l'avons dit plus haut. Ensuite, cette explication pourrait à la rigueur s'appliquer au sel marin, mais elle ne serait pas satisfaisante pour le sulfure de fer, pour le manganèse, ni surtout pour l'antimoine, si ce métal fait réellement partie de la constitution de nos eaux.

Il est beaucoup plus probable que les eaux thermales se minéralisent dans la profondeur du sol par leur passage à travers les granites et à travers les couches de terrains primaires qu'elles peuvent rencontrer sur leur trajet. Les métaux des filons paraissent en général provenir des granites lavés par les eaux thermales : le sel marin peut former des dépôts importants dans le terrain dévonien, par exemple, et rien ne prouve l'absence de ces couches stratifiées anciennes dans le sous-sol de la contrée (*). Par conséquent, les eaux peuvent rencontrer toutes les matières qui entrent dans leur composition, pendant leur traversée descendante ou ascendante, jusqu'à 1.200, 1.500 ou 2.000 mètres de profondeur, sans qu'il soit nécessaire de leur supposer un trajet plus ou moins long au voisinage de la surface.

Remarquons encore la qualité de débris organisés, évidemment apportés par ces eaux avec les sables qu'elles entraînent. On pourrait peut-être, pour l'ancien puisard romain, admettre qu'ils sont introduits dans la source par d'anciennes conduites, naturelles ou artificielles, qui les entraîneraient avec l'eau douce mélangée à l'eau minérale

(*) Cette idée de l'emprunt du sel marin à des dépôts peut-être dévoniens nous a été suggérée par M. l'inspecteur général Jacquot.

dans le bassin même de la source. Mais alors ils seraient, au moins en partie, peu altérés et facilement rejetés au dehors, tandis qu'ils présentent un aspect charbonneux, signe d'une modification profonde et d'une longue action des eaux. D'ailleurs, pour les sources militaires, cette explication serait sans valeur, car les nombreux fragments de menus bois qui s'échappent lorsqu'on agite ces sources proviennent de la zone située au-dessous du béton romain, et aucun conduit ne pénètre à cette profondeur, sauf les tubages par où s'échappe l'eau minérale.

Pour que des matières aussi grossières parviennent dans les sources thermales, il faut que celles-ci soient formées par une autre voie que par filtration à travers des grès ou des couches sableuses : il faut nécessairement admettre que les eaux traversent, sans discontinuité, des canaux suffisamment larges, depuis leur entrée dans le sol jusqu'à leur émergence. Un réseau de failles peut seul satisfaire à cette condition.

Par conséquent, nous sommes en droit de conclure que les eaux entrent dans le sol par une faille et en ressortent par une autre faille. Cette dernière est nécessairement très voisine de la région des sources; quant à la première, nous pensons qu'elle est dans le lit de l'Apance, entre Fresnes et Châtillon-sur-Saône, aux environs du second centre d'étoilement que nous avons signalé plus haut.

Introduite ainsi dans le sol par une cassure des granites et des grès, l'eau s'échauffe en descendant, empruntant sans doute aux granites eux-mêmes les métaux qu'elle entraîne à l'état de traces. Puis, dans son parcours horizontal et dans son ascension, elle trouve des cavités salifères et complète sa minéralisation. Enfin, l'air dissous dans l'eau naturelle perd, pendant ce trajet, son oxygène par réaction sur les matières organiques en suspension, sur les sulfures de fer et de manganèse. On explique ainsi le noircissement des bois entraînés et la présence de l'azote

presque pur qui se dégage en abondance à l'émergence des sources.

Revenant ensuite par d'autres cassures à la surface des grès bigarrés dans le voisinage du puisard romain, l'eau minérale s'épanche en nappe dans les zones perméables situées au contact des grès bigarrés et des argiles bariolées. Retenue par l'imperméabilité de ces dernières, l'eau ne parvient à la surface du sol que par les sondages et par une ou plusieurs cheminées qu'elle a percées dans les argiles en les délayant progressivement, en les remplaçant par des sables et des graviers, et en enlevant les parties terreuses. En s'élevant dans ces cheminées, elle rencontre quelques zones moins imperméables que le reste de la masse et s'y étend pour aller rejoindre ceux des sondages qui ne descendent pas plus bas. Enfin, en continuant son ascension par les cheminées naturelles, une partie des eaux s'élève jusqu'aux bancs perméables placés à la base des alluvions modernes, sous le béton romain, traverse les orifices réservés dans cette maçonnerie, reçoit des infiltrations d'eaux douces froides et alimente ainsi les sources romaines.

Tous les phénomènes que présente le régime des sources de Bourbonne nous paraissent complètement expliqués par cette théorie des sources.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

N° 433 (4)

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX EXÉCUTÉS A BOURBONNE-LES-BAINS

Par M. F. RIGAUD, ingénieur des mines.

(Suite et fin.)

II. — HISTOIRE DES SOURCES.

Silex taillés. — Lors des travaux exécutés à la fin de 1874 au puisard romain, en vue de la préparation du sondage n° 13, nous avons dû curer profondément cette tour en maçonnerie pour y fixer la caisse de sondage. A 6 mètres environ au-dessous du niveau général du sol, nous avons trouvé des éclats de silex dus certainement au travail de l'homme, mélangés au sable retiré de l'excavation.

Le nombre de ces fragments était de trois seulement pour une surface fouillée de moins de 4 mètres carrés; ils avaient des longueurs de 2, 4 et 6 centimètres. Leur forme générale était légèrement curviligne et leur section un triangle ayant ses deux petits côtés légèrement bombés en dehors, tandis que la face intérieure était un peu creusée. C'était bien là la figure des éclats arrachés d'un bloc de silex par pression, suivant le procédé qui paraît avoir servi à fabriquer la majeure partie des haches de l'âge de la pierre taillée.

Ces silex présentaient comme caractère particulier un léger enduit jaune formé par une mince pellicule de pyrite de fer.

ÉCOLE NAT.LE DES MINES Bibliothèque 1re Lei 18

Les tas de sables qui fournissaient ces objets curieux avaient été mis de côté par nous pour être soumis à un lavage au tamis destiné à en séparer les nombreuses monnaies romaines, les objets en bronze et les morceaux de béton couverts de minéraux adventifs. Pressés par l'urgence et la difficulté des travaux, nous n'avions pu songer à classer les matériaux extraits pour reconnaître leur ordre de succession dans les couches du fond du puisard; cette opération aurait, du reste, été rendue très difficile, sinon impossible, par l'état ébouleux des sables qu'il s'agissait d'extraire. Il en est résulté que nous avons cru d'abord ces silex mélangés aux monnaies romaines dans le niveau marqué *b'* sur la Pl. XIII du tome VIII des *Annales des mines* de 1875. Nous nous expliquions alors leur présence en admettant que ces silex, conservés comme objets curieux dans quelques familles gauloises, ou peut-être comme fétiches, avaient été jetés dans la source à titre d'*ex-voto* comme les pièces romaines.

Cette première opinion n'était pas très vraisemblable. En effet, si les Gaulois ont pu garder longtemps des silex travaillés comme curiosités, il est probable qu'ils ont conservé plutôt des pointes de flèches, des haches ou autres objets similaires que de simples éclats, et nous aurions trouvé, par nos lavages, des spécimens plus curieux du travail des anciens. D'autres circonstances, d'ailleurs, devaient nous conduire à attribuer à nos silex une origine toute différente et plus intéressante.

En rassemblant nos souvenirs, il nous a paru certain que les éclats de silex avaient été amenés au jour avec les derniers sables contenant des monnaies romaines. Dès lors, il était probable que le gisement s'en trouvait placé immédiatement au-dessous de la zone où ces médailles étaient réunies, et par conséquent au-dessous de la nappe de béton, établie par les constructeurs romains, de $4^{m},50$ à 6 mètres de profondeur dans la région du puisard, comme

fondations pour les maçonneries et barrage pour les eaux souterraines. Nous aurions alors rencontré les traces d'un gisement d'objets préhistoriques, aujourd'hui profondément enfouis et primitivement déposés à la surface des argiles bariolées en place, à la base des alluvions du ruisseau de Borne.

Un examen plus attentif des mêmes silex semble confirmer cette opinion nouvelle. En effet, dans la zone occupée par les médailles romaines, tous les fragments de béton et les pierrailles étaient enveloppés d'une couche des minéraux cuivreux définis par M. Daubrée (*); le sable et les menus cailloux étaient agglomérés par des ciments de même nature formés de petits cristaux durs, ce qui donnait lieu à une sorte de brèche métallifère. Or les éclats de silex ne présentaient pas ces minéraux, mais seulement une enveloppe de pyrite de fer sans épaisseur appréciable. Il serait au moins singulier que précisément ces morceaux eussent joui d'une immunité spéciale. De plus, la suite des travaux du sondage nous a fait trouver, sur toute la hauteur de la colonne sableuse, de petites pierres arrondies recouvertes d'une mince pellicule du même enduit pyriteux. Celui-ci, par conséquent, est dû à la source et se produit naturellement par le passage de l'eau thermale, pendant un temps suffisamment long, au milieu des graviers qu'elle traverse.

Dès lors, nous parvenons à notre conclusion : les monnaies romaines, attaquées par les eaux thermales en provenance de la profondeur, ont produit des dépôts cuivro-sulfureux sur tous les corps placés à leur contact ou au-dessus d'elles et baignés dans les eaux déjà chargées de ces minéraux. Au contraire, ces monnaies n'ont pu avoir aucune action sur les objets placés au-dessous d'elles et plongés dans l'eau thermale non encore altérée. Si les

(*) Mémoire déjà cité.

silex ne présentent qu'un enduit pyriteux, comme les graviers situés plus profondément, c'est qu'ils se trouvaient à quelque distance au-dessous du niveau occupé par les monnaies romaines.

Nous ne voyons guère d'objections à opposer à cette hypothèse. Il est malheureusement bien difficile d'aller la vérifier par une fouille nouvelle, à cause des énormes venues d'eau qui se produiraient dans ces travaux. Si cependant de nouvelles explorations devaient être tentées, elles n'auraient quelques chances de succès qu'au voisinage immédiat du puisard romain, autour de l'espace où nous avons trouvé ces trois silex. En effet, à l'amont, les érosions des marnes bariolées arrivent rapidement à se réduire presque à zéro, et d'ailleurs la totalité des alluvions a été enlevée par les Romains, quand ils ont fondé leur établissement dans les marnes en place. A l'aval, la profondeur du béton, et par conséquent de l'excavation romaine, va rapidement en s'accroissant jusqu'à 10 mètres, et il est fort possible que cette profonde entaille ait fait disparaître plus ou moins complètement le niveau à silex. Quant aux fouilles faites autour du puisard romain, elles ne présenteraient pas les chances d'erreur qui nous avaient fait prendre d'abord ces silex pour des ex-voto, car on se trouverait en dehors des murs qui limitaient la source romaine, et entre lesquels ont été jetées les monnaies. Mais la reconstruction des Thermes civils a déjà complètement recouvert le vieux puisard, et rendu de nouveaux travaux souterrains presque impossibles. Il est donc probable que les traces préhistoriques rencontrées dans les travaux de 1875 resteront isolées pour cette région à peu près indéfiniment.

Nous avons dit plus haut, en parlant des alluvions, que la surface du sol des vallons de l'Apance et de la Borne, avait dû se trouver beaucoup plus basse qu'aujourd'hui, à une époque éloignée de nous. A un moment quelconque, les alluvions ont atteint précisément le niveau où sont les

silex, et c'est alors sans doute qu'ils ont été déposés, si notre hypothèse est exacte. Il est impossible de savoir si les sources thermales existaient déjà à ces dates reculées; mais la grande constance de ce genre de phénomène rend le fait assez probable, d'autant plus qu'aucun grand bouleversement géologique ne paraît avoir affecté les terrains de la région depuis le commencement de la période alluviale. Il est alors fort présumable que la présence de ces sources chaudes et salées avait donné lieu à l'établissement en ces lieux d'une peuplade préhistorique, qui pouvait y trouver de grands avantages comme alimentation, à une époque où le sel marin devait être une denrée précieuse dans cette contrée. L'eau salée de Bourbonne a été employée jusqu'à la fin du moyen âge pour la préparation du sel commun (*), parce qu'il faut aller jusqu'à l'autre extrémité de la Haute-Saône pour retrouver d'autres sources salifères, distance considérable à parcourir dans ces temps de difficiles communications : sa valeur pour le même usage devait être bien plus grande aux époques préhistoriques, et il n'y aurait rien d'étonnant à ce qu'une source aussi riche et aussi abondante fût devenue le centre d'une tribu. Celle-ci nous aurait laissé les traces de son passage, sous forme des éclats de silex que nous avons trouvés : peut-être fabriquait-elle ses outils et ses armes sur place, car ces fragments ne sont que des rebuts du taillage des pierres que l'on employait à cet usage.

Thermes romains. — Si la station préhistorique de Bourbonne peut être contestée jusqu'ici, malgré sa grande vraisemblance, il ne saurait y avoir de doutes sur l'existence d'un Bourbonne romain : c'était même une station fort importante, comme nous le montrerons tout à l'heure, et pourvue de voies romaines assez considérables. Aussi pourrait-on s'étonner de ne rencontrer nulle part le nom

(*) Nous en donnerons les preuves plus loin.

de Bourbonne dans les documents laissés par les citoyens de la grande cité. Cela provient tout simplement de ce que Bourbonne portait alors le nom d'Indesina (*), et est indiquée sous cette désignation sur la carte théodosienne des voies de l'empire romain.

La présence des Romains à Bourbonne est établie aujourd'hui par une douzaine d'inscriptions, découvertes à diverses époques à partir du seizième siècle. La plupart des pierres portant ces témoignages sont des ex-voto consacrés à Borvo et à Damona, les deux divinités des eaux de Bourbonne. Le nom du premier a pour origine celtique *verv*, bouillant, et *on*, source, et représente par conséquent le dieu des eaux bouillantes, de même que Damona est la divinité des eaux chaudes, en vertu d'une étymologie analogue (*dam*, chaud; *on*, source). Ces dieux gaulois n'étaient pas d'ailleurs spéciaux à Bourbonne, car le premier a servi également à former les noms de Bourbon-l'Archambault et de Bourbon-Lancy, et Damona se retrouve dans la même localité, associée comme ici au dieu Borvo.

D'autres inscriptions intéressantes se trouvent marquées en relief sur les tuyaux en plomb : ceux des tubages romains des sources n°s 1, 2, etc., portent CINNAMVS FEC; ceux de la distribution des thermes romains sont marqués COCILLVS FEC ou NIVALINVS AGEDINVS.

Quelques monnaies romaines ont été trouvées dans la Fontaine chaude, lors des remaniements de 1765. D'autres, plus nombreuses, ont été rencontrées dans les aqueducs découverts lors des fouilles de 1783 à l'hôpital militaire, suivant le rapport de Lebrun (**), mais cet auteur n'en fait aucune désignation particulière. Aucune trouvaille analogue

(*) Ce fait a été établi, sans conteste, par une discussion approfondie, publiée en 1860 dans les mémoires de la société archéologique de Langres, par M. Pistollet de Saint-Ferjeux.

(**) Ce rapport, déposé aux archives du génie, a été reproduit dans l'ouvrage du Dr Bougard, intitulé « *Bibliotheca Borvoniensis.* »

n'est signalée par de Varaigne (*), au sujet des curages effectués en 1784 au puisard romain et dans les galeries adjacentes : mais cet ingénieur n'avait pas suivi les travaux, et son silence signifie seulement que les objets précieux découverts avaient été dérobés par les ouvriers ou par l'entrepreneur. M. Drouot (**) en a recueilli un très petit nombre en curant le puisard civil. Mais la découverte la plus intéressante date de la fin de décembre 1874 : c'est la rencontre du trésor du puisard, dont nous donnerons la description en nous occupant des travaux du sondage n° 13 (chapitre III).

Outre leurs monnaies, les Romains nous ont laissé les ruines de leurs établissements thermaux, et les débris de leurs conduites d'eaux douces et d'eaux minérales. L'existence seule d'aussi grands travaux, enfoncés à 3 et 4 mètres au-dessous du niveau naturel du sol, celle d'une couche considérable de béton établie à une profondeur qui atteint 9 mètres, enfin les aqueducs d'un développement de plusieurs kilomètres suffiraient, au besoin, à démontrer le passage des Romains à Bourbonne. Seuls, avant notre époque, ils ont joui des ressources nécessaires pour mener à bien des opérations dont le prix de revient nous rend parfois l'imitation impossible. Leurs travaux à Bourbonne prouvent un assez long séjour et montrent quelle importance ils attachaient à cette station : ils ont retouché, à deux reprises au moins, leurs constructions déjà fatiguées par l'usure et les infiltrations ; ils ont été chercher au loin leurs matériaux et les pierres rares destinées à orner une partie de leurs installations.

Ce n'est pas, d'ailleurs, seulement dans les établissements thermaux, que les Romains ont laissé des traces de

(*) Ce mémoire, déposé aux archives des ponts et chaussées à Chaumont, a été également reproduit par M. Bougard.

(**) Notice sur les sources thermales de Bourbonne, *Annales des mines*, 1863.

leur présence, mais sur une étendue assez grande. On a trouvé des monnaies romaines dans presque toutes les fouilles faites à Bourbonne, et particulièrement dans le lit du ruisseau de Borne quand on l'a pavé. On a rencontré aussi des débris de mosaïques, des fragments de marbre et d'albâtre, mais sans pouvoir se rendre compte de l'origine de ces curiosités.

Lors donc que les Romains sont arrivés à Bourbonne, il est probable qu'ils ont trouvé les sources à peu près à l'état vierge. Avant eux, les populations aborigènes ne devaient pas avoir exécuté autre chose que quelques petits bassins en terre, à peine creusés dans le sol superficiel, et peut-être accompagnés de réservoirs très peu profonds, recevant par écoulement naturel le produit des sources, pour permettre de l'évaporer pendant les chaleurs de l'été, et d'en retirer un peu de sel commun.

Le niveau moyen du sol devait être, à cette époque, à peu près comme aujourd'hui à la cote 255,50. Il n'est pas possible en effet qu'il fût plus élevé, car les inondations fréquentes du ruisseau de Borne apportent des dépôts terreux et surélèvent constamment les alluvions antérieures. D'autre part, le sol ne pouvait être sensiblement plus bas, car nous connaissons des galeries romaines dont la voûte n'est pas à plus de 2 mètres en contre-bas de la surface du terrain actuel, et il est fort présumable que l'on n'eut pas exécuté ainsi ces travaux, s'ils avaient été destinés à rester à découvert, ou même à affleurer le sol. S'il y a eu un relèvement général du fond du vallon de Borne, ce ne peut donc être que dans des limites assez faibles, trop restreintes pour modifier en rien nos appréciations.

Les sources apparaissaient naturellement dans le fond de la dépression, sans doute même dans le lit du ruisseau de Borne : l'étymologie de ce nom nous paraît, en effet, être la même que celle du dieu Borvo, c'est-à-dire *verv*,

bouillant. De plus, la disposition du terrain permet de supposer que le cours du ruisseau passait primitivement très près du puisard romain, et que la main des hommes lui a imposé sa position actuelle, ce que nous admettrons sans autre discussion. Un marais chaud devait être formé par le mélange du ruisseau et des sources thermales, et occuper une étendue de 1 ou 2 hectares, à peu près représentée aujourd'hui par la place des Bains, avec l'emplacement des Thermes civils (établissement de 1re classe).

Le premier soin des Romains a dû être de détourner le cours du ruisseau. Ils devaient naturellement le rejeter vers la rive gauche, où des pentes adoucies permettaient facilement cette déviation, et ce sont eux, sans doute, qui ont creusé dans les alluvions le lit où la Borne coule encore maintenant; sur la rive droite, il n'y avait pas place pour un lit artificiel, parce que les sources sont fort rapprochées du pied du coteau. Celui-ci est d'ailleurs très raide, et s'avançait peut-être encore plus près du puisard romain à cette époque : nous avons trouvé des travaux enfouis dans le jardin des Bains, qui indiquent que les Romains ont entaillé la colline et rejeté sa base un peu vers le sud.

Une fois le ruisseau de Borne mis de côté, on a dû voir les eaux chaudes sourdre à la surface en venues d'importance variée, sur une étendue assez considérable, allant de la pompe civile à la pompe militaire, distantes de 100 mètres, et sur une largeur maxima de 50 mètres. Ces dimensions se déduisent de la disposition des travaux romains eux-mêmes, dont les limites circonscrivent une surface de forme ovale, de 100 mètres de long sur 50 mètres de large, ayant son grand axe placé entre le sondage n° 11, et le puits des pompes militaires (Pl. V, *fig.* 1).

Le bassin des sources, ainsi limité, devait avoir pour sol des sablons disposés sous forme de pots au milieu des alluvions boueuses. Dans cet état, aucun travail de captage n'était possible sans un asséchement préalable des terrains,

et il a fallu, dès les premiers essais, créer un canal d'écoulement, dirigé vers la rivière d'Apance. Il est probable que l'enlèvement des premières terres n'a pas changé beaucoup l'état des choses, et que l'on a continué progressivement les excavations, en même temps que les travaux nécessaires à l'écoulement des eaux. Les Romains ont poussé l'opération jusqu'au moment où l'enlèvement des alluvions, poursuivi jusqu'à 6m,50 de profondeur, eut mis à découvert les couches argileuses en place, et montré une source bien définie, émergeant sur un espace de quelques mètres carrés, avec un puissant débit.

On déposa alors une couche de béton sur le fond de la fouille, en la soutenant par des pilotis au-dessus des sables de la source, et en réservant une seule ouverture de 1 ou 2 mètres carrés pour le passage des eaux thermales. On commença, sans doute, à ce moment, la construction de l'aqueduc définitif, en donnant à son radier, à l'amont, le niveau de la partie supérieure de ce béton, et en le prolongeant assez loin pour qu'il ne fut pas habituellement rempli par les eaux de l'Apance. Cet aqueduc a été recoupé lors des travaux de 1869, à 850 mètres en aval du puisard romain. La cote de son radier en ce point est de 249 mètres, soit 1m,75 plus bas que le radier de l'aqueduc moderne. Pour qu'il débouche dans la rivière dans les mêmes conditions que le nôtre, c'est-à-dire pour que son radier soit au niveau des basses eaux, il faut qu'il se prolonge encore à 2 kilomètres à peu près en aval, ce qui lui assignerait une longueur totale de 3 kilomètres depuis le puisard romain jusqu'à son extrémité libre. A en juger par l'état des travaux romains que nous avons visités, cet aqueduc doit encore exister sur presque toute sa longueur. Nous avons cherché à reconnaître sa présence, au lieu où doit couper le cours de l'Apance, au moyen de tiges de sonde enfoncées dans le sol, mais sans succès : il est vrai que nous n'avons pas pu faire cette recherche avec tout le

soin nécessaire : nous supposons qu'il doit déboucher dans la rivière à l'aval du barrage dit « le Battant-d'Écorce. »

Après avoir mis à découvert la source principale, et limité son orifice par l'ouverture ménagée dans le béton, les Romains ont entouré ce trou d'une maçonnerie en forme de puits. Ils ont construit ainsi le puisard romain. C'est une tour rectangulaire, dressée verticalement autour du trou du béton, et ayant à l'intérieur, 2m,50 et 3 mètres de cotés. Pour assurer l'étanchéité, les parois étaient composées de deux murs en pierre de taille blanche, séparés par une zone de béton fin, et pour éviter les effets de la perméabilité du grès du pays, les constructeurs allaient chercher leur pierre dans les carrières de la grande oolithe, à Chalvraines, localité située à 50 kilomètres environ au nord de Bourbonne.

La tour du puisard était destinée à forcer l'eau minérale à s'élever assez haut pour être ensuite utilisable sans appareils élévatoires, et pour qu'elle pût se distribuer sous l'influence de la pesanteur seule dans les piscines à créer sur le béton autour de cette source. Mais il est probable que la construction de la tour ne donna pas aux ingénieurs du temps les résultats qu'ils en attendaient. Refoulée par cet excès de pression dans les niveaux perméables, au-dessous du béton, l'eau thermale dut perdre beaucoup de son débit en ce point, et s'écouler en plus grande abondance par les autres lieux d'émergence antérieurement visibles, et sans doute par de nouveaux orifices, sans cependant s'écarter de la région occupée par le marais thermal précédemment reconnu. Pour compléter le captage, il fallut prolonger le béton en même temps que les terrassements, et occuper successivement toute la zone d'émergence des sources. La stabilité du béton exigeant un sous-sol d'une certaine solidité, les fouilles descendirent jusqu'à près de 10 mètres de profondeur au lieu occupé aujourd'hui par les pompes militaires. Encore fut-on obligé de

laisser des vases en certains points où elles pénétraient trop loin. Cela obligea à donner près de 2 mètres d'épaisseur au béton en ces points, pour en assurer la résistance. En même temps, pour profiter des sources découvertes, on réserva dans ce béton un certain nombre d'orifices au-dessus des venues d'eau les plus importantes, et on y établit autant de tuyaux en plomb.

L'excavation creusée dans le sol ne devait pas seulement servir de moyen de captage : les Romains l'utilisèrent pour y placer leurs établissements thermaux. Connaissant l'effet des abaissements d'émergences pour accroître le débit des sources, ils procédèrent comme à Luxeuil, et enterrèrent la plus grande partie de leurs installations balnéaires au-dessous du sol de la vallée. Pour éviter l'afflux des infiltrations d'eaux douces, ils établirent autour de la nappe de béton des murs verticaux de $0^m,80$ à 1 mètre d'épaisseur. A l'aval et au nord, ces murs furent faits en béton ; à l'amont et du côté du coteau des bains, ils élevèrent un mur en maçonnerie, en reculant la base de la colline pour augmenter la surface disponible (*).

Le niveau général du pavé de la grande construction romaine fut placé à la cote 251 ; on remplit de glaise, rapportée en mottes, l'excédant de profondeur que présentait la nappe de béton à l'aval, où sa surface supérieure était à la cote 247 seulement. En comblant cet espace vide, on prolongea les tuyaux en plomb placés au travers du béton, au moyen d'autres tubes de plomb rattachés entre eux par des emmanchements de bronze.

Au-dessus des murs d'enceinte en béton, au sud, à l'est et au nord, dans la partie aval, on construisit des galeries (**) destinées à être ensuite noyées dans les remblais.

(*) Ces murs sont tracés sur le plan des termes romains, Pl. V, *fig.* 1, ainsi que l'axe de l'aqueduc romain.

(**) Voir la coupe Pl. V, *fig.* 2.

Elles ont été recoupées par les travaux du puisard et de la galerie d'ascension militaires. Ces galeries servaient à drainer le sol, et à conduire à l'aqueduc principal les eaux d'infiltration et certains trop-pleins : elles pouvaient aussi, sans doute, être utilisées pour recevoir une tuyauterie, et pour conduire les eaux douces et minérales aux points nécessaires.

Les autres murs d'enceinte, prolongés au-dessus du sol, fermaient les constructions balnéaires, et en supportaient les toitures et les voûtes. Un large caniveau, taillé dans une forte dalle de grès, garnissait le haut de ces murs et dirigeait les eaux pluviales vers les galeries d'aval et vers l'aqueduc. A la base du mur d'amont, des conduites maçonnées étaient réservées et conduisaient directement aux égouts les eaux arrêtées par cet ouvrage. Les parois de ces petits canaux étaient formées de dalles minces, de $0^m,10$ d'épaisseur, obtenues par sciage de blocs d'oolithe blanche.

Les tubages en plomb, surmontant le béton, étaient au nombre de quatre au moins, car on en a rencontré ce nombre dans les travaux modernes. L'extrémité de chacun d'eux aboutissait au radier d'une galerie, et se trouvait probablement prolongé par un tuyau de plomb faisant partie de la distribution générale, et conduisant les eaux thermales aux appareils balnéaires. Nous n'avons détruit qu'un seul de ces tubages, celui de la source n° 2. Il présentait de curieux joints en bronze, dont M. Daubrée a donné la coupe (*) d'après un croquis fourni par M. Préchey, gardemines chargé des travaux. Mais, par une erreur de cet agent, le joint est indiqué à l'envers, et il faut retourner la figure sens dessus dessous pour se rendre compte de la disposition adoptée. Elle était fort ingénieuse pour permettre le prolongement du tubage par une pose instantanée, malgré

(*) *Annales des mines*, 7e série, tome VIII, Pl. X, *fig.* 6.

Planche XIII
1875

l'écoulement continu des eaux, et devait fournir un joint étanche par le seul effet de la mise en place.

Vers l'aval, dans une région occupée par ces tubages, les Romains ne paraissent pas avoir élevé des établissements thermaux, ou du moins ils leur avaient donné peu de développement. Ils avaient concentré leurs édifices dans le voisinage du puisard romain, et surtout à l'ouest de cette source, et placé l'ensemble des bâtiments perpendiculairement au sens de la vallée. Ils y avaient placé des piscines de dimensions très diverses, mais point de baignoires probablement, car nous n'en avons rencontré aucune dans nos fouilles. Leurs piscines les plus importantes se trouvaient à l'ouest du puisard romain, et étaient partagées en plusieurs sections.

Au-dessous de la chambre des pompes civiles, nous avons pris pour fondations une grande piscine à gradins. Elle comprenait cinq marches de $0^{m},25$ de hauteur chacune et d'une largeur égale. Le fond horizontal n'a pas été exploré vers son extrémité sud, mais il devait avoir environ 7 mètres de longueur sur 3 mètres de largeur, et par conséquent le bord supérieur de la piscine présentait des dimensions respectives de $9^{m},50$ et $5^{m},50$. Le haut des dernières marches se trouvait prolongé par un dallage placé au même niveau que celui du grand temple romain (O du plan). Le long de ce pavage, on remarquait une rainure peu profonde dirigée vers le nord : cette même cavité traversait tout le temple romain. En l'entamant, lors des fouilles du puisard civil, nous avons trouvé qu'elle indiquait la position d'une petite galerie renfermant un gros tuyau de plomb. Un trou percé dans le dallage et fermé par une pierre pyramidale munie d'un anneau devait servir à manœuvrer un robinet placé sur ce tuyau ou sur l'un de ses embranchements. Nous en avons la preuve par les travaux du sondage n° 12 qui ont trouvé exactement la même disposition, à 30 mètres plus au nord, et qui ont mis à jour

le prolongement du même tuyau de plomb, muni d'un embranchement avec robinet. Cette identité montre que des piscines, analogues à celle dont nous parlons ici, existaient aux environs du sondage n° 12. Nous les avons tracées symétriquement aux premières, sur le plan général (Pl. V, *fig.* 1), bien qu'elles n'aient été reconnues qu'en ce point unique.

La grande piscine à gradins atteint à peu près le niveau du radier de l'aqueduc collecteur romain, placé vers la cote 250. Nous n'avons pas assez dégagé les parois pour reconnaître la communication, mais nous avons constaté que l'orifice du dallage était percé sur une galerie située à ce niveau, et qui servait sans nul doute à la vidange. La piscine devait être alimentée par un embranchement du gros tuyau de plomb, et recevait peut-être aussi des eaux douces par une des conduites que les Romains avaient créées à cet effet. Une porte cintrée, de $2^{m},50$ de diamètre, ouverte dans le mur du temple, en face l'axe de la piscine, semble avoir mis cet édifice en communication avec l'installation balnéaire.

La piscine était recouverte par une voûte ; les nombreux morceaux de tuf, taillés en voussoirs, qui la remplissaient, ne peuvent laisser aucun doute à cet égard. Le dallage qui entourait le bassin présentait une largeur de $1^{m},50$ environ sur tout le pourtour. Sur la paroi nord de la chambre, des deux côtés de la grande porte, se trouvaient deux niches cintrées peu profondes, renfermant des pilastres surmontés par des bustes en bronze. Une seule de ces niches a été déblayée, celle de l'est : nous y avons trouvé un buste de femme en bronze doré, fortement corrodé, et d'un beau dessin ; les travaux n'ont pas conduit à visiter la seconde niche. La position en évidence de ce buste nous a fait supposer qu'il pouvait représenter la déesse Damona, mais, faute d'inscription, ce n'est là qu'une simple hypothèse.

Sur la salle de la grande piscine, à l'est, s'ouvraient

deux très petites piscines, de 1 mètre carré chacune, placées au-dessus du niveau du dallage, et limitées par une pierre de taille de $0^m,60$ de hauteur. Deux entailles peu profondes dans cette pierre semblent avoir pu servir à franchir plus aisément cette barrière.

Au delà de ces deux petites piscines, il y en avait deux autres plus grandes, ayant 3 et 4 mètres de côtés, et probablement d'autres petites cachées sous les remblais. Une porte entaillée dans le mur du temple avait dû primitivement faire communiquer les deux édifices ; mais une nécessité quelconque avait exigé une fermeture hermétique à une époque ultérieure, et on l'avait fermée par une vanne énorme en pierre de taille, garnie de glaise.

La grande piscine ne renfermait pas de fragments de marbre : ses degrés étaient en pierre blanche et ses parois en briques. Les cloisons séparatives des autres piscines étaient également construites en briques, mais les déblais retirés de cet emplacement contenaient de nombreux fragments de marbre de nature variée, noirs, blancs, roses et verts. La forme de ces échantillons et l'abondance des encadrements en filets de marbre noir montraient que ces marbres avaient été autrefois employés à garnir les parois de ces salles de bains. Certaines de ces piscines étaient également revêtues à l'intérieur de plaques de marbre blanc, et ornées de moulures de même nature à la partie supérieure de leurs parois. Les autres avaient leurs bords formés de lames minces sciées dans des calcaires compactes du Jura.

Au-dessus du bâtiment des piscines, sur l'emplacement de l'établissement de seconde classe actuel, s'élevait une autre construction ayant son sol à peu près au niveau naturel de la vallée. Les chambres qui s'y trouvaient étaient revêtues entièrement, à l'intérieur, d'une fausse paroi formée de tuyaux en terre à parois très minces et à section rectangulaire. Ces canaux avaient servi de moyen de chauffage artificiel pour ce genre d'étuves. Un espace assez considérable, rempli de remblais, existait sous une de ces chambres, vers le centre de l'édifice, et indiquait l'emplacement de l'ancien foyer de chauffage.

Autour du puisard romain, des galeries souterraines profondes, établies immédiatement au-dessus du béton (*), semblent avoir servi d'étuves à chauffage naturel. Nous les avons visitées en 1875, et nous avons reconnu que leur plan était à peu près conforme à celui que leur attribue de Varaigne dans son mémoire. Elles se trouvent maintenant sous les étuves nouvelles de l'établissement de première classe. La galerie de l'est du puisard renferme un puits en plomb de $0^m,50$ de diamètre et de $1^m,20$ de profondeur, muni de deux robinets qui y amenaient à volonté l'eau thermale et l'eau douce froide. Ce puits a dû servir à faire alterner l'étuve avec les bains à température variée. En le visitant à la fin de février 1878, on y a recueilli quelques monnaies romaines en bronze, très bien conservées, qui se trouvaient mélangées à la vase.

D'autres piscines romaines existaient encore en dehors du corps principal des édifices thermaux, vers les bords de l'établissement de première classe actuel. Il est possible que celui-ci en recouvre aussi un certain nombre qui resteront enterrées sous les fondations des constructions nouvelles.

La partie la plus importante des bâtiments romains est le temple que les fouilles du puisard civil ont fait découvrir. C'était une grande construction, de forme rectangulaire, ayant, dans œuvre, 30 mètres de long et 25 mètres de large : cette salle était partagée en trois parties par deux rangées composées chacune de cinq colonnes.

Cet édifice était posé directement sur les marnes bario-

(*) La coupe de ces galeries est indiquée sur le profil de l'ancien puisard, *Annales des mines*, tome VIII, Pl. XIII, *fig.* 1 ; le plan est marqué à très petite échelle, sur le dessin des thermes romains ci-joint, Pl. V, *fig.* 1.

lées en place. Son sol primitif se composait d'une assise de moellons bruts, comme drainage, recouverte de $0^m,50$ de béton d'assez mauvaise qualité, puis d'un pavé de $0^m,10$ d'épaisseur, formé de très petites briques disposées de champ en parquet.

Pour fonder les murs et appuyer solidement les colonnes, on avait entaillé les marnes à une profondeur de $1^m,70$ plus grande et muni l'excavation de pilotis dans les points les moins solides. Sous les murs et entre les colonnes, la fouille avait été remplie d'une maçonnerie de moellons bruts. Au-dessous des colonnes, on avait établi des massifs en pierres de taille, simplement posées sur les argiles, sans béton ni pilotis. Chacun de ces massifs se composait de cinq assises formées chacune de deux pierres de grande oolithe blanche, ayant $1^m,30$ de long, $0^m,65$ de large et $0^m,50$ de haut. Les assises successives étaient mises en croix, sans mortier ni ferrements.

Nous avons vu complètement une des rangées de cinq colonnes et rencontré les angles de deux des autres dans les travaux des galeries, ce qui nous a permis de déterminer la position de la seconde rangée. Ces colonnes appartenaient à deux catégories différentes (*). Dans chaque rangée, les trois colonnes à l'est mériteraient plutôt le nom de pilastres ; les deux autres étaient montées sur piédestaux et taillées en forme de cœur. Les six premières se composaient d'une série d'assises de pierre de taille de Chaloraines, chacune composée de deux blocs de $1^m,60$ de long, $0^m,75$ de large et $0^m,60$ de haut. Le bloc extérieur était simplement équarri, l'autre taillé en forme de pilastre, demi-colonne de $0^m,60$ de diamètre, adossé à une face plane. Les blocs présentaient tous des entailles dont les unes avaient servi à les placer à la louve, tandis que les

(*) Voir les coupes de détail figurées au-dessous du plan des thermes romains, Pl. V, *fig.* 3 et 4.

autres étaient destinées à recevoir des ferrements de consolidation, lesquels n'ont jamais été posés. Les pierres de l'assise inférieure, prises dans des échantillons un peu plus gros, avaient à leur base un empâtement mouluré en guise de piédestal. Elles reposaient sur le massif de fondation, exactement au niveau supérieur du sol en petites briques.

Mais il semble que, dès les commencements de la construction du temple romain, des infiltrations gênantes se soient produites au travers du sol de cet édifice, car ce premier pavé de briques avait été recouvert d'une mince couche de béton fin, puis de grandes dalles de grès de $0^m,20$ d'épaisseur, avec réserve de petits canaux d'assainissement. Ce second sol doit être considéré comme un remaniement, parce que les dalles ont été entaillées de manière à encastrer la moulure de la base des pilastres *a*, disposition qui aurait été sans raison d'être *à priori*. Cette embase, seule partie travaillée dans les colonnes *a*, était faite évidemment pour dépasser le niveau du sol primitif.

Les quatre colonnes *b* placées à l'ouest affectaient une taille soignée et assez compliquée, malgré leur inégalité de dimensions ; elles étaient pourvues de piédestaux posés sur le dallage de grès, ce qui peut faire supposer qu'elles n'avaient été établies qu'après la réparation du sol ; cependant, il est possible que le niveau fût plus élevé d'une marche, primitivement, dans l'espèce de chœur déterminé par ces quatre colonnes, que dans le reste de la nef. Au-dessus des piédestaux s'élevaient des demi-colonnes cannelées, au nombre de deux pour chaque pilier, tandis que les faces postérieures étaient planes. Nous avons retiré des fouilles la partie inférieure de deux des colonnes *b* avec leurs piédestaux, et nous les avons installées dans le jardin des bains en respectant leur distance. L'un des deux piédestaux a $0^m,10$ de côté de plus que l'autre, et les pierres qui les composent sont placées en travers dans l'un, en long dans l'autre.

Tous les entablements de l'édifice et les voussoirs de la porte cintrée présentaient de riches moulures et des dentelures très soignées, tandis que les gros pilastres *a* étaient seulement dégrossis. Ce défaut d'harmonie peut faire supposer que ces derniers éléments étaient destinés à subir sur place des perfectionnements que le temps n'aura pas permis d'exécuter.

Le plan approximatif des travaux romains, que nous avons dressé sur les éléments recueillis pendant nos fouilles, montre que les thermes de Bourbonne avaient été établis avec une certaine ampleur. Il est possible qu'il y eût d'autres édifices contigus, peut-être au nord des bâtiments que nous avons tracés, une cinquième partie nécessaire pour compléter la symétrie et allant jusqu'au ruisseau de Borne; mais là-dessus nous n'avons aucune donnée.

Nous savons seulement encore que toutes les excavations ouvertes sur la place des Bains ont mis à découvert des chapitaux de marbre blanc statuaire, des colonnes d'albâtre, des débris de divers matériaux de construction. Tous ces objets, sans liaison entre eux, montrent qu'il y avait une grande variété d'édifices élevés dans la région du béton romain et qu'un certain nombre d'entre eux étaient établis avec beaucoup de luxe.

Bourbonne au moyen âge (*). — Le goût si accusé qu'avaient les Romains pour les stations thermales ne paraît pas s'être propagé facilement au milieu des invasions barbares. Placés dans une contrée relativement isolée, les bains de Bourbonne ont dû compter parmi les premiers abandonnés; la plus récente des monnaies retirées du puisard romain est une pièce d'or de Honorius, datant par

(*) Nous avons puisé une bonne partie des renseignements nécessaires pour cet article dans l'ouvrage de M. Bougard « *Bibliotheca Borvoniensis* », 1 vol. in-8°, Chaumont, 1865, tiré à 300 exemplaires.

conséquent à très peu près de l'an 405, époque des dernières victoires de Stilicon : les Barbares n'allaient pas tarder à envahir la Gaule.

Il ne nous paraît pas cependant que l'usage des eaux soit tombé brusquement en désuétude avec la disparition de la splendeur romaine en Occident, car une de nos trouvailles nous paraîtrait inexplicable dans cette hypothèse : c'est celle d'un tronc en grès rencontré sur le pavé du grand temple romain. Ce petit monument se composait de deux blocs de grès. La partie inférieure, de forme presque cubique, est creusée d'une cavité rectangulaire. La partie supérieure, taillée en tronc de pyramide rectangulaire, est percé sur l'une des petites faces d'une petite ouverture de $0^m,05$ de long et $0^m,01$ de large, destinée évidemment à recevoir des pièces de monnaie. Les deux pierres présentent des scellements dont les ferrures ont été arrachées par la main de l'homme. En forçant la fermeture du tronc, on a brisé un morceau de la pierre supérieure. La disposition des autres scellements montre que les uns servaient à fixer des charnières, les autres retenaient un levier pour manier le lourd couvercle. Ce tronc est actuellement déposé dans le jardin des bains.

L'emploi du grès fruste pour ce travail suffirait à en dénier l'origine romaine. Nous voyons, en effet, que les Romains avaient proscrit presque complètement l'usage du grès à Bourbonne, sauf pour former les grands dallages du temple; quelques gros blocs avaient cependant été employés par eux dans les travaux souterrains. Ils aimaient mieux avoir des matériaux de meilleure qualité et n'avaient pas reculé devant les frais nécessaires pour des transports considérables. Les gros matériaux de leurs édifices étaient des pierres de la grande oolithe tirées des carrières de Chaloraines, à 50 kilomètres au nord de Bourbonne. Les voûtes étaient composées de tuf, apporté sans doute des gisements de Vesoul. Les piscines étaient garnies, les unes

en pierre sciée du Jura, les autres en marbres de Grèce et d'Égypte (*). Enfin les fûts de colonnes et les entablements sont tous en marbre, en albâtre ou en calcaire oolithique, malgré les facilités que présentaient les carrières de Châtillon pour obtenir d'énormes pièces de grès bigarré.

Il est donc inadmissible que les Romains aient employé le grès fruste pour construire le tronc dont nous parlons. Il n'aurait guère eu d'usages d'ailleurs probablement, puisque les offrandes étaient jetées directement dans le bassin de la source, à l'adresse des divinités thermales. Nous assignons donc à ce monument une date postérieure à la chute de l'empire romain. Les thermes, abandonnés par les riches étrangers, ont dû offrir quelque temps encore leur action bienfaisante aux habitants de la contrée, et nous savons, par les inscriptions, que les Lingons formaient un des éléments importants de la population flottante de Bourbonne. Les habitudes ayant changé, quelque intelligent spéculateur aura imaginé d'installer un tronc pour recueillir les offrandes qui ne se perdaient plus dans le puisard romain, et se sera contenté, pour cet usage, des matériaux les plus solides et les moins coûteux.

Le tronc gallo-romain a été forcé, et les ferrures ont été arrachées avant l'enfouissement de l'édifice, probablement pendant quelqu'une des incursions des Barbares, ce qui montre que le temple n'a pas été immédiatement envasé. Ses ruines sont restées assez longtemps livrées aux injures du temps et plongées dans l'oubli. C'est alors que les inondations de la Borne ont progressivement comblé l'excavation romaine et fait disparaître le sol des thermes sous une couche de détritus de 4 mètres d'épaisseur, suffisante pour effacer les traces de tout travail hydraulique. Les restes de murs et de colonnes qui pouvaient dépasser le

(*) C'est M. Daubrée qui nous a signalé cette origine pour certains fragments de marbres verts recueillis dans nos fouilles.

sol ont été plus tard enlevés pour d'autres travaux, sans qu'il soit resté souvenir de leur destruction.

La tradition prétend que les sources furent complètement oubliées et plus tard retrouvées, grâce à un porc qui se vautrait dans la fange, au-dessus du puisard romain. Cela supposerait que la contrée a cessé complètement d'être habitée pendant un temps plus ou moins long. Mais le fait est inadmissible, car les noms de la Borne, de rue Vellone, de source Matrelle ou Massaille, de source Patrice, renouent directement la chaîne entre l'époque romaine et les temps modernes; peu importe, au reste, à notre sujet.

Le fait établi, c'est que les nouvelles générations perdirent le souvenir des travaux anciens et se contentèrent de recueillir les eaux qui coulaient naturellement dans le fond du bassin. Les sources étaient à peu près rentrées à l'état de nature par suite d'un long abandon, et, lorsqu'on songea de nouveau à les utiliser, on les traita comme si aucun travail de captage n'avait été fait antérieurement.

Le nom d'*Indesina* n'a pas tardé non plus à disparaître lors de l'écroulement de l'empire romain. Au dire du moine Aimoin, Théodoric, dans la dix-septième année de son règne, en 612, se rendit de Langres à Toul en passant par le château de *Vernona*, que l'on commençait alors à construire, et qui occupait le promontoire qui domine le confluent de la Borne et de l'Apance. Ce nom de Vernona renferme probablement une faute d'orthographe et devrait s'écrire *Vervona;* il aurait alors l'étymologie celtique que nous avons donnée plus haut pour le dieu Borvo ou Borvon (de *verv*, bouillant, et *on*, eau).

Les Romains, en arrivant dans les Gaules, ont dû trouver ainsi dénommées un certain nombre de sources thermales : ils en ont transformé les noms qui sont devenus Bourbon-Lancy, etc., et ici Bourbonne. Lors de la disparition de leur influence, le nom de Vervona a remplacé de nouveau

celui d'Indesina, puis il a subi progressivement la même altération qu'en d'autres localités. La transformation des B en V trouve, à Bourbonne même, un exemple inverse dans le nom de rue *Vellone*, attribué à une portion de voie romaine qui traverse la ville, en remplaçant certainement l'ancienne appellation de *Bellone*.

L'altération définitive de *Vervona* a été fort rapide, car on rencontre en l'an 1000 la forme *Borbonia*, en l'an 1126, elle est devenue *Borbona*, enfin en 1233 on arrive déjà à l'orthographe actuelle.

En résumé, le nom de *Bourbonne* a une origine fort ancienne, et signifie exactement source d'eau bouillante.

D'après ce que nous venons de dire, il est probable que l'usage des eaux de Bourbonne fut repris au commencement du VIIe siècle, époque de la fondation du château de Vernona. Vers l'an 1000, un hôpital fut créé par des moines pour le traitement des pauvres malades, et il n'est pas douteux que les vertus éprouvées des eaux de Bourbonne aient été la cause principale du choix de cette localité pour un établissement de bienfaisance. Un second hôpital plus important fut bâti en 1304 par les moines de Saint-Antoine de Besançon, et doté par les seigneurs de Choiseul. Il subsista jusqu'en 1700.

Pour utiliser les sources, il fallut nécessairement leur creuser quelques bassins, et leur donner un écoulement : ce travail dut être exécuté dès les premiers temps du réemploi des eaux, et divisé en trois parties, comme il l'est resté jusqu'à ces derniers temps.

La première correspondait au puisard romain, qui portait aussi le nom de source Saint-Antoine, sans doute en souvenir du porc auquel on en attribuait la découverte. La seconde était appelée Matrelle comme la mère de toutes les autres, ou Massaille, noms qu'elle a changés plus tard pour celui de Fontaine-Chaude. Enfin la troisième, située plus à l'est, était désignée sous le nom de Source-Patrice.

Auprès de ces sources, ou sur leur emplacement même, des piscines avaient été organisées sous les dénominations de bains des Pauvres, bain du Seigneur et bain Patrice, et accompagnées de quelques édifices de peu d'importance pour abriter les baigneurs. Mais ces diverses constructions ne sont décrites que dans les ouvrages de la fin du XVIe siècle, et on ne peut savoir à quel moment chacune d'elles avait été créée.

Les sources de Bourbonne n'étaient pas seulement employées au traitement de certaines maladies : on en tirait encore parti pour fabriquer le sel par évaporation, comme on avait dû le faire aux temps préhistoriques. Voici les quatre pièces qui peuvent nous en donner la preuve ; nous ne faisons qu'en extraire les faits intéressants : on les retrouverait au besoin dans l'ouvrage de M. Bougard (*).

Des lettres patentes de 1324 constatent l'acquisition par le roi de France Charles IV, au profit de la couronne, de la moitié de tout ce que le sire Renard de Choiseul avait, pouvait et devait avoir en la ville de Bourbonne et appartenances, notamment « la moitié de la revenue des bains et eau salée de Bourbonne ». Le procès-verbal d'estimation, dressé la même année par le bailli de Chaumont, par ordre du roi, en conséquence de l'achat précité, fixe à « 6 livres la rente payée par l'eau salée et les bains ». Plus tard, dans sa charte de 1338, le roi Philippe de Valois, recevant l'hommage de Guillaume de Vergy, définit les droits de la couronne de Bourbonne, en y citant « Sel, bains, » etc.

Cette dernière pièce prêterait évidemment à confusion, car il serait difficile de discerner s'il s'agissait des droits particuliers sur le sel fabriqué à Bourbonne, ou seulement des droits généraux de gabelle. Mais les deux autres nous paraissent plus concluantes : la distinction formelle établie

(*) Pages 36, 38, 46 et 180.

entre les bains et l'eau salée semble bien attribuer deux usages différents au produit des sources. Nous en concluons qu'au XIVe siècle on faisait réellement emploi des eaux chlorurées de Bourbonne pour la préparation du sel commun.

Cette production n'a pas été bien longtemps maintenue, et elle avait déjà disparu à la fin du XVIe siècle, tout en laissant des traces certaines dans l'ospuscule paru en 1590 et intitulé : *Des bains de Bourbonne*, par Jean Le Bon Hétéropolitain, médecin du roi. Après une description assez embrouillée de l'état de la station et du traitement des malades, cet auteur signale la source Patrice, « auprès de « laquelle se voit le lieu où autrefois ont été salines, et de- « puis délaissées et abolies, de peur du dégast ès bois qui « s'en fut faict ». Il est certain que le traitement pour sel de l'eau de Bourbonne devait être peu économique, surtout en la prenant à la source Patrice, qui renfermait 4 à 5 millièmes seulement de cette matière. A la Fontaine chaude, le résultat eût été meilleur, puisque le résidu solide aurait atteint 7,5 millièmes. Une fois abolie, la saline ne reparut pas, et les auteurs ultérieurs n'en parlent plus.

L'opuscule de 1590 est la première pièce imprimée relative à Bourbonne : la seconde est un mémoire de 1600, fait par un autre médecin nommé Nicolas Thibault. Il donne une description des sources et des établissements balnéaires de la station à son époque. On y voit que la Fontaine chaude avait un petit bassin cubique, de 4 pieds de côté, servant à puiser les eaux, et pouvant suffire à une consommation de 50 mètres cubes par jour. Les eaux en étaient déversées par une conduite dans le bain couvert, dont le trop plein alimentait le petit bain ou bain du Seigneur. Le grand bain carré, ou bain des Pauvres, était placé sur le puisard romain et utilisait la source qui sortait du sol en ce point. Enfin le bain Patrice était considéré comme ayant la propriété de relever les femmes de leur stérilité : l'eau y sourdait aussi naturellement du sol.

Époque moderne. — Un petit plan des sources de Bourbonne, daté de 1700-1720, existe à la Bibliothèque nationale (*Topographie de la Haute-Marne*) ; il a été reproduit dans l'ouvrage de M. le Dr Bougard (page 697). Ce plan correspond assez exactement à la description de Thibault, et montre qu'aucun travail n'a été fait aux eaux de Bourbonne avant le moment où les ingénieurs s'en sont occupés.

En 1714, Gauthier, inspecteur des ponts et chaussées, commença la série des travaux hydrauliques : il réunit à la source Patrice une petite source chaude peu éloignée, et détourna les eaux froides qui venaient se déverser dans le bassin de la Fontaine-Chaude. Dans un mémoire daté de 1716, il donne une description assez nette de l'état des sources à son époque, dans les termes suivants :

« 1° Ces eaux minérales sont dispersées en plusieurs « sources. Elles ont donné lieu à une fontaine destinée « pour les boire : on s'en sert aussi pour doucher les ma- « lades en les transportant par le moyen d'un tonneau « dans les maisons. On les emploie encore pour les bains « domestiques, en remplissant les cuves dans les chambres « où les malades de distinction les prennent chez eux, « sans être troublés de personne, avec toutes les commo- « dités possibles, car du sortir du bain on les met dans « un lit préparé à cela, où ils suent et où ils sont servis « par des chirurgiens-baigneurs qui en ont tout le soin « imaginable et qui sont très experts à cette manœuvre, « dont il y a un grand nombre établis à Bourbonne.

« 2° D'un bain qu'on nomme Patrice, à cause d'un Pa- « trice qui, du temps des Romains, y ayant fait baigner « son épouse, où elle recouvra la santé, a porté depuis ce « tems-là par la tradition, le nom de Patris. Ce bain est « divisé en deux parties par une cloison, où les hommes « se baignent d'un côté, et les femmes de l'autre sans se « voir. On y donne la douche aux uns et aux autres ; les

« instruments convenables aux baigneurs sont toujours en « place, disposez à celà.

« 3° Du bain du Seigneur qui reçoit les eaux toutes « pures de la fontaine cy-dessus n° 1, où les hommes « comme les femmes se baignent également dans des bas- « sins séparés des uns des autres par un mur de cloison.

« 4° Des bains des pauvres qui sont tous remplis de « sources minérales que l'on voit bouillonner, partagés en « deux également par une cloison, où les hommes et les « femmes se baignent également sans être aperçus les uns « des autres.

« 5° Et enfin de plusieurs sources garnies chacune de « leurs bassins et d'enveloppes pour y prendre des étuves, « des bains et des boues à l'usage des vieilles plaies, des « douleurs, etc., destinées pour des personnes de considé- « ration qui peuvent seules s'en servir.

« Tous ces bains sont dans des rues ou dans des places « publiques proprement pavées. Le fuyant de toutes leurs « eaux coule dans un canal disposé pour celà, qui les con- « duit dans le ruisseau de Borne; les uns et les autres de « ces bains couverts, différemment suivant la disposition « la plus favorable qu'on a jugé à propos de leur donner « pour la commodité des malades. La fontaine où l'on boit « les eaux est couverte d'un pavillon, et tout près, il y a « une halle où les buveurs, en prenant les eaux, peuvent se « promener à l'abri du mauvais temps, soit de la pluie ou « du soleil. On peut dire enfin que ces bains ont toutes « commodités possibles, et la propreté qu'on vient d'y « ajouter (*), avec leurs qualitez merveilleuses peuvent « passer pour les premiers bains de l'Europe. »

Gauthier a fait une analyse des eaux des trois principales sources, et il en donne ainsi les résultats :

(*) Par les travaux de Gauthier.

« Le eaux de toutes ces sources donnent plus ou moins de sel les unes que les autres.

« En voici le compte :

Deux livres pesant d'eau de la Fontaine où l'ont boit les eaux, m'ont donné ci. . . .	135 grains.
Deux livres pesant d'eau prise aux bains des Pauvres, m'ont donné ci.	105 —
Deux livres pesant d'eau prise au bain Patrice, m'ont donné ci.	180 —
Total.	420 grains.

En transformant ces chiffres par rapport au kilogramme on trouve respectivement :

Pour la Fontaine-Chaude.	$7^g,291$
Pour le Puisard-Romain.	$5^g,671$
Pour la Source-Patrice.	$9^g,730$

Or la fontaine chaude paraît avoir été la source la plus chaude, au temps de Gauthier comme au nôtre, tandis que la source Patrice était la plus froide. Il en résulterait que la salure n'aurait pas décru en même temps que la température : ce résultat paraît peu admissible, car tout porte à croire que les différences les plus importantes entre les températures provenaient de mélanges d'eaux douces, au XVIIIe siècle comme au XIXe.

De plus il faut remarquer que le chiffre de $9^g,73$ est bien considérable, surtout pour la source Patrice, car nous n'avons jamais trouvé plus de $7^g,40$ dans nos meilleures sources, et celles de l'hôpital militaire ne comptent pas dans ce nombre. Comme la fontaine chaude a continué à renfermer $7^g,30$ à $7^g,40$ de sels jusqu'à nos jours, il serait bien singulier que la salure de la source Patrice se fut réduite à moitié environ, et il est bien plus probable que les 180 grains de Gauthier sont une simple erreur et devraient être remplacés dans son tableau par 100 ou par 80 grains.

D'ailleurs, en 1671, une note insérée par Du Clos, dans

les mémoires de l'Académie royale des sciences (*), avait donné déjà des résultats conformes aux nôtres. L'auteur constate que l'eau recueillie au mois d'août, renfermait $\frac{1}{142}$ de sels, sans mélange de terres, et que le produit de l'évaporation présentait la plus grande analogie avec le sel commun. Ce chiffre de $\frac{1}{142}$, transformé en décimales, donne $7^{g},04$, nombre qui diffère peu de la teneur actuelle de $7^{g},40$, correspondant à l'eau thermale pure.

Quant à la température des sources, elle est définie dans une autre note du même recueil (**), par Geoffroy. On y voit que l'eau de Bourbonne est assez chaude pour que l'on ne puisse y tenir longtemps la main sans se brûler. Les œufs y cuisent incomplètement (***), les plumes des volailles s'y détachent de la peau, les feuilles d'oseille sont considérablement altérées. Tous ces effets sont ceux que l'on a pu observer dans la source du puisard jusqu'à ces derniers temps, et que produisent encore nos sondages. Ils prouvent que la température maxima ne dépassait pas 65° au commencement du XVIIIe siècle. Il n'y a par conséquent pas eu de changement de température depuis 200 ans, et il est fort probable que la salure n'a pas varié davantage.

Très peu de temps après le passage de Gauthier, le 1er mai 1717, un grand incendie éclata à Bourbonne, dans la rue Vellone, et en deux heures détruisit toute la ville, sauf quelques maisons isolées. Les anciens hôpitaux de Bourbonne disparurent, et avec eux, sans doute, beaucoup de précieux documents. D'ailleurs, à cette époque, des projets étaient préparés depuis quelques années par l'État, en vue de la construction d'un hôpital militaire, et des terrains avaient été choisis dans ce but, le long du ruisseau de Borne, à l'aval des sources thermales.

(*) Tome IV, page 71.

(**) Année 1700, page 59.

(***) Au bout de 24 heures, le jaune est dur et le blanc reste liquide.

La construction de l'hôpital militaire fut entreprise en 1732 : ces bâtiments existent encore, et forment la moitié est de l'établissement militaire actuel. On ne prenait pas alors les eaux dans cet établissement ; les malades utilisaient les piscines établies auparavant, en vertu du droit sur la moitié des eaux, acheté par la couronne en 1324. Ces piscines étaient toujours au nombre de trois :

Le bain des Pauvres,
Le bain du Seigneur,
Le bain Patrice.

En 1765, M. de Chartraire fit curer quelque peu l'une des plus belles sources thermales, et la couvrit d'un petit édifice de style grec : on lui donna le nom de Fontaine-Chaude. La date de cette construction n'est connue que depuis 1846, époque où le remplacement nécessaire des colonnes en grès du péristyle amena la découverte d'une plaque de cuivre, assez corrodée déjà, et portant mention de la pose de la première pierre de l'édicule, le mercredi 17 août 1765. L'édifice n'avait pas d'autre but que d'abriter les personnes qui venaient boire à la source ; il a disparu en 1865, quand on a foré sur son emplacement le sondage n° 12 ; il est décrit dans un récit de Diderot, de 1770, en même temps que le reste de la station.

En 1780, l'État occupa le bain Patrice, et étendit ses bâtiments vers l'ouest, en y créant des bains faisant partie de l'hôpital militaire : en même temps on s'occupa d'améliorer le captage des sources Patrice, en 1782, 1783, 1784, sous la direction de Lebrun, inspecteur en chef des ponts et chaussées. Cet ingénieur n'a d'ailleurs rédigé qu'en 1808 un mémoire relatif aux travaux qu'il avait suivis, et aux projets qui en devaient découler.

En même temps que l'État travaillait aux sources militaires, le comte d'Avaux commençait la construction d'un établissement thermal au lieu occupé aujourd'hui par l'é-

tablissement de première classe. Les travaux hydrauliques exécutés en 1782-1783, se bornèrent à curer le puisard romain jusqu'à 4 mètres de profondeur, et à enlever les boues qui remplissaient cet ouvrage et les galeries romaines adjacentes. On construisit au-dessus de celles-ci un second étage de voûtes destinées à servir de fondation au nouvel établissement : ce sont ces dernières substructions que nous avons réservées comme étuves lors de la reconstruction récente de l'établissement de 1re classe. Une chaîne à godets, mue par un manège, servit à puiser les eaux dans l'excavation, pour alimenter les bains et les douches.

De Varaigne, capitaine-ingénieur des ponts et chaussées et des colonies, fut envoyé en mission en mars 1783, pour examiner les travaux, et en fit la description dans un mémoire écrit la même année. Il y évalue le produit des sources connues de son temps, ainsi que leur température et leur salure ; il en donne le tableau suivant :

Grande-Fontaine (Fontaine-Chaude). .	209 muids	à 50° R.
Bains neufs (Puisard-Romain).	401 —	à 35° R.
Bains-Patrice (Sources militaires). . .	165 —	à 39° R.
Total.	775 muids.	
	ou 10 pouces 110 lignes.	

En tenant compte de ce que le pouce d'eau représente par jour 19mc,1953 et la ligne 0mc,1333, on en déduit la valeur du muids de Bourbonne 0mc,2666 ; puis en transformant les nombres ci-dessus en mètres cubes et les degrés réaumur en degrés centigrades, on a :

	mètres cubes.	
Fontaine-Chaude	55,72	à 62° 1/2
Puisard romain.	106,91	à 44°
Sources militaires.	43,99	à 49°
Total.	206,62	

Les chiffres de de Varaigne ne méritent pas une con-

fiance absolue, puisque cet auteur dit que la température s'est élevée jusqu'à 62° réaumur ou 77° centigrades, quand on eut suffisamment épuisé les eaux du puisard. Ce nombre est certainement exagéré, car on n'a jamais constaté plus de 65° : d'ailleurs la température ne pouvait pas dépasser de beaucoup celle de la Fontaine chaude. Cependant les chiffres que nous donnons ci-dessus sont probablement à peu près exacts, parce qu'ils ont été observés par de Varaigne lui-même, tandis qu'il ne connaissait que par ouï-dire de l'entrepreneur Jarrié les 62°, nombre qui faisait sans doute tradition à Bourbonne, car il se retrouve dans la lettre de Diderot, citée plus haut, et qui date de 1770.

Les données sur la salure recueillies par de Varaigne ne sont pas aussi intéressantes que les résultats obtenus par Gauthier, parce qu'elles n'indiquent pas la source d'où provenaient les eaux analysées. De Varaigne prétend à tort que toutes les sources ont même composition, et il en donne le tableau suivant :

PRINCIPES.	MESURES anciennes.	PAR kilogramme.
Sel marin.	63 grains.	6g,8
Sélénite.	4 5/6 —	0 ,4
Terre absorbante	2 1/7 —	0 ,2
Totaux.	70 grains.	7g.5

De Varaigne avait sans doute choisi l'eau thermale la plus chaude, celle de la Fontaine chaude, et le résultat diffère fort peu de ceux que donnent aujourd'hui nos sondages, accusant environ par litre 7g,40 de résidus salins.

Quant au débit réduit en eau thermale pure, de Varaigne le calcule en partant des températures de 62° réaumur pour l'eau thermale pure, et de 3° réaumur pour l'eau froide. Il prétend que les chiffres des débits constatés doivent être respectivement réduits de $\frac{1}{17}$, $\frac{3}{17}$ et $\frac{2}{9}$, pour représenter l'afflux des eaux vagues, et il dresse le tableau suivant :

Fontaine-Chaude	$55^{mc},72 \times \frac{16}{17}$	$= 51^{mc},44$ eau pure.
Puisard-Romain	$106\ ,91 \times \frac{7}{9}$	$= 83\ ,15$ —
Sources militaires	$43\ ,99 \times \frac{14}{17}$	$= 36\ ,23$ —
Totaux	$206^{mc},62$ impure	$= 170^{mc},82$ eau pure.

Bien que les données soient peu exactes, puisqu'elles supposent une température exagérée de 62° réaumur pour les sources thermales, et pour l'eau douce une température de 3° réaumur, sensiblement inférieure à la moyenne annuelle du pays, qui est environ de 8° réaumur ou 10° centigrades, le résultat définitif se trouve très voisin de la réalité. Nous allons le retrouver par un raisonnement différent, basé sur les expériences modernes.

Il est probable que l'eau minérale fournie par la Fontaine chaude à la haute température de 50° réaumur relevée par de Varaigne, ou 60° et demi centigrades, était à peu près pure et telle qu'on l'a trouvée en 1862; le débit doit donc en être admis sans réduction dans le tableau.

Pour le puisard civil, on a eu l'occasion d'y constater la température de 44° pendant les expériences de jaugeage par épuisement, faites en 1859. La salure du liquide était alors réduite à $5^{g},40$ au lieu de $7^{g},40$, accusant ainsi une venue d'eau douce de 37 p. 100, qui réduit à 78 mètres cubes les $106^{mc},91$ mesurés par de Varaigne.

Quant aux sources militaires, les essais faits dans ces dernières années ont retrouvé la température de 49° avec une diminution de 15 pour 100 sur la salure normale de $7^{g},40$.

Nous pouvons donc corriger maintenant les chiffres de de Varaigne, et nous aurons :

SOURCES.	TEMPÉRATURE.	DÉBITS OBSERVÉS.	EAU PURE.
	deg. centig.	mètres cubes.	mètres cubes.
Fontaine-Chaude	62 1/2	55,72	55,72
Puisard-Romain	44	106,91	78,00
Sources militaires	49	43,99	37,39
Totaux et moyennes	50	206,62	171,11

Ce résultat se trouve fort peu différent de celui auquel parvenait de Varaigne : il représente la quantité d'eaux disponibles à son époque; mais on ignore quelle quantité on pouvait tirer du puisard, chaque jour, au moyen de la chaîne à godets.

Les travaux d'épuisement et l'extraction journalière aux bains du comte d'Avaux ayant fait diminuer beaucoup le débit de la Fontaine chaude et le trop plein du bain Patrice, l'ingénieur Lebrun, chargé des travaux de l'hôpital militaire, s'occupa de curer cette dernière et d'en rechercher l'origine pour en augmenter le débit. Il trouva qu'elle provenait de deux tuyaux en plomb, aboutissant au radier d'une ancienne galerie, et fit dégager complètement ces orifices : celui de l'est reçut le nom de Source n° 1 ou des Étuves; celui de l'ouest fut appelé Source n° 2 ou Patrice.

C'est cette dernière que nous avons conservée par un tuyau noyé dans la paroi est du puisard militaire. Le produit des deux tubages fut réuni dans une petite galerie, débouchant au fond d'un puisard en pierres de taille. Une corde à nœuds servit d'appareil élévatoire.

Lebrun ne rédigea qu'en 1808 son mémoire sur les travaux qu'il avait fait exécuter. Il crut avoir constaté que la quantité d'eau, que pouvaient journellement aspirer ses appareils, avait diminué d'une manière sensible depuis 1784, et attribua cet effet à des fuites qui permettaient à ces eaux de s'épancher dans les terrains environnants. Il trouvait que les filets d'eau minérale sortant à la surface du sol étaient devenus beaucoup plus nombreux; mais

cela est douteux, car le plan de 1700-1720 montre des sources chaudes dans une région assez étendue. Il est plus que probable que ces suintements avaient disparu lors des travaux de 1783-1784, pour se montrer de nouveau un peu plus tard.

Lebrun reconnut d'une manière positive que le débit des sources diminuait rapidement quand on exhaussait leur niveau d'émergence, et il en conclut qu'il fallait abaisser ce niveau pour accroître la quantité d'eaux disponibles.

Enfin, en sondant les tuyaux de plomb des sources nos 1 et 2, Lebrun trouva une profondeur de 12 mètres : on lui avait dit aussi qu'au puisard civil on avait pu enfoncer un bâton dans les sables jusqu'à cette profondeur : de plus les sources 1 et 2 se trouvaient en dépendance évidente par communication souterraine. Lebrun édifia une théorie des sources sur ces données incomplètes, et leur assigna pour origine commune une certaine « fontaine de bronze » dont il fixa l'emplacement sur le plan qu'il dressa hypothétiquement. Suivant lui, toutes les eaux minérales provenaient de ce point unique par des galeries souterraines construites par l'homme à 12 mètres de profondeur.

Malgré les erreurs de cette théorie, elle conduisit Lebrun à des conclusions justes, qui ne sont pas bien mises en évidence dans son mémoire, mais que l'on peut résumer ainsi :

1° Il y a nécessité d'empêcher les propriétaires des maisons situées autour de la place des bains, de s'approprier les filets d'eau minérale qui sourdent dans leurs terrains, parce qu'il serait trop facile d'augmenter indéfiniment ces émergences aux dépens du produit des sources principales.

2° Il faut curer le lit du ruisseau de Borne et le disposer de façon à diminuer la fréquence des inondations qu'il cause dans le quartier bas de Bourbonne, et notamment à l'hôpital militaire.

3° Comme il est impossible de surélever le niveau d'émergence des sources, sans s'exposer à voir leur débit diminuer ou disparaître, il n'existe pas d'autre moyen d'assurer un écoulement régulier, que de construire un aqueduc allant déboucher dans la rivière d'Apance, à 2 kilomètres en aval de Bourbonne. Ce travail qui coûterait environ 6.000 francs pour 3.000 mètres de longueur (*), permettrait d'abaisser de 1 mètre le niveau (**) d'émergence des sources, et doublerait leur débit.

4° Les améliorations projetées ne peuvent être complètes, tant que l'État n'aura pas racheté à M. de Chartraire la moitié des eaux qui lui appartient.

La quatrième proposition de Lebrun fut immédiatement acceptée par l'État. En 1812, on acheta la moitié des eaux qui restait aux seigneurs de Bourbonne en vertu de la charte de 1324. Comme conséquence, on reconstruisit les bains civils à la place des Thermes commencés en 1783 par M. le comte d'Avaux.

La seconde proposition de Lebrun ne tarda pas non plus à être suivie d'exécution : le cours du ruisseau de Borne fut pavé et encaissé entre de hautes berges muraillées.

L'État éprouva quelques difficultés à empêcher les propriétaires de prendre un peu des eaux thermales, suivant la première proposition de Lebrun. Un propriétaire placé à l'amont de la région aquifère, et nommé Mayran, exploitait un de ces suintements, et soutint ses droits par un procès. Pour en finir avec lui, l'Administration acheta cette source et la boucha. Afin d'éviter le retour de semblables affaires, et sur la proposition de M. Drouot, alors ingénieur en chef des mines à Chaumont, un décret du 31 mai 1859 déclara les sources de Bourbonne d'utilité publique, et leur assigna un périmètre de protection. Un second décret du

(*) Il doit y avoir une erreur : Lebrun a dû écrire 60.000 francs, et il était encore bien au-dessous de la vérité.

(**) Sans doute 1 mètre au-dessous de l'émergence des sources 1 et 2 au fond du puisard militaire, niveau où plongeait l'aspiration.

4 février 1860 reconnut aussi l'utilité publique des sources militaires, avec la même zone de protection, et stipula qu'aucun travail de fouilles ne pourrait être exécuté dans le périmètre déterminé, sans concert préalable entre les Ministères de la guerre et des travaux publics.

Restait enfin l'idée exprimée par Lebrun, qu'il y aurait avantage à abaisser le niveau d'émergence pour augmenter le débit des sources. Diverses expériences ont été faites en 1858 à l'hôpital militaire, par le service du génie, pour vérifier cette affirmation : on déprimait le niveau au moyen de pompes dans un certain nombre de sources. On trouva ainsi, comme l'avait annoncé Lebrun, qu'il suffisait d'une dépression de 1 mètre environ pour doubler le débit. Mais une grave cause d'erreur avait été négligée, car on n'agissait pas sur toutes les sources à la fois. Or les venues d'eaux sont en communication plus ou moins directe entre elles; il en résulte que le produit des unes diminuait, pendant que l'on exagérait celui des autres. En réalité, si le débit augmente par l'abaissement du niveau d'émergence, c'est beaucoup plus lentement que ne le supposait Lebrun.

D'autres données, recueillies par les fonctionnaires chargés de l'hôpital militaire, semblent accuser une diminution considérable dans le produit des sources disponibles dans cet établissement : en voici le tableau

ANNÉES.	AUTEURS DES JAUGEAGES.	DÉBIT JOURNALIER sous des pressions au-dessus du radier du puisard militaire.	
		2,20	0,40
		mèt. cubes.	mèt. cubes.
1818	Lamarle, administrateur	165	328
1836	Le chef du génie	125	283
1840	Commission de casernement	69	105 à 172
1855	Le chef du génie	70	130
1857	Le chef du génie	»	109

Mais ces résultats ne méritent pas grande confiance, faute

d'une désignation exacte des modes de jaugeage adoptés. Il suffit en effet de réduire à peu de temps la durée d'un épuisement, pour obtenir un débit énorme, rapporté aux 24 heures, et tout à fait différent de la puissance productive réelle. On a, pour 1857, une preuve patente de l'incertitude des jaugeages; car on pouvait à peine suffire, à cette époque, aux besoins des deux établissements. Or, la consommation comprenait :

	mètres cubes.
Thermes civils	148
Thermes militaires	84
Total	232

Comme on descendait alors l'épuisement jusqu'au radier du puisard militaire, on avait moins de 0,40 de charge sur les sources 1 et 2, et cependant on n'obtenait en réalité que 84 mètres cubes au lieu de 109 mètres cubes. La différence provenait des épuisements opérés simultanément au puisard civil.

Il ne nous paraît pas probable qu'il y eût eu diminution considérable depuis le temps de Lebrun; aucune des conduites souterraines ne s'était obstruée; aucun travail, de nature à porter atteinte au débit, n'avait été exécuté; si les chiffres trouvés par les officiers allaient en décroissant, cela tient simplement à ce que les expériences étaient faites dans des conditions de plus en plus conformes à la réalité.

En tout cas, il est constant qu'en 1857 les pompes ne pouvaient pas fournir chaque jour plus de 232 mètres cubes, quantité à peine suffisante pour les besoins urgents des deux établissements.

Une décision ministérielle du 15 octobre 1855 ayant prescrit l'intervention des ingénieurs des mines dans toutes les questions d'aménagement des eaux minérales, ce soin incomba pour Bourbonne à M. l'ingénieur en chef Dnouot. Cet ingénieur n'était pas d'avis d'abaisser les niveaux

d'émergence. Il faisait remarquer que toute dépression des niveaux des sources en diminuait sensiblement la température et la salure, par suite d'afflux des eaux douces arrivant par infiltration : donc l'augmentation de débit observée ne prouvait pas l'existence de nouveaux afflux d'eaux thermales et présentait au moins autant d'inconvénients que d'avantages.

Cherchant un autre moyen d'accroître les ressources de la station, et s'appuyant sur des considérations théoriques parfaitement exactes, M. Drouot proposa d'aller chercher l'eau thermale à sa véritable origine, c'est-à-dire à 40 ou 50 mètres au-dessous du sol du vallon de Borne, au-dessous des argiles bariolées et à leur contact avec les grès bigarrés.

Pour atteindre ce niveau, des sondages étaient nécessaires. On perça successivement ceux qui portent les numéros 1, 6, 7, 8, 9, 10. Chacun d'eux permit de vérifier l'exactitude de l'opinion de M. Drouot, et amena au jour une notable quantité d'eau minérale très chaude. On dut abandonner plus tard le n° 6, qui était infecté par des matières organiques; le n° 7, mal établi, ne donna jamais d'eau; mais les quatre autres fonctionnent toujours. Les sondages 8 et 9, placés à l'hôpital militaire, ont un faible débit, et l'eau qui en sort n'a guère plus de 50° de température, bien qu'elle atteigne à peu près la salure de 7°,40. Les sondages 1 et 10 ont même salure, mais leur puissant débit maintient la température à 62° au moins.

Chacun des nouveaux sondages augmenta sensiblement la masse du rendement général, mais assez irrégulièrement, et en diminuant le produit des autres sources, à chaque fois, d'une bonne partie de la valeur de la nouvelle venue d'eau. De nombreux jaugeages accusent cette situation, malgré leur peu d'exactitude, due à la brièveté des épuisements, ce qui rend tous les chiffres trop forts : voici le tableau des résultats intéressants.

1858, avant les sondages. Débit journalier.	Sources civiles.	Fontaine chaude.	160	250
		Puisard romain.		
	Sources militaires.	Patrice	90	
		Etuves.		
1859, après le sondage 8, qui donnait à lui seul 50 m. c.	Sources civiles.	Fontaine chaude.	134	290
		Puisard romain.		
	Sources militaires.	Romaines.	(*) 156	
		Sondage 8.		
1859, après le sondage 1, qui donnait à lui seul 133 m. c.	Sources civiles.	Anciennes.	227	340
		Sondage 1.		
	Sources militaires.	Anciennes.	113	
		Sondage 8.		
1861, après le sondage 9, qui donnait à lui seul 32 m. c.	Sources civiles.	Anciennes.	172	350
		Sondage 1.		
	Sources militaires.	Anciennes.	(*) 178	
		Sondage 8.		
		Sondage 9.		
1862, après le sondage 10, qui donnait à lui seul 196 m. c.	Sources civiles.	Anciennes.	285	420
		Sondage 1.		
		Sondage 10.		
	Sources militaires.	Anciennes.	135	
		Sondage 8.		
		Sondage 9.		

Un nouveau sondage, portant le n° 12, fut exécuté en 1864 sur la place des Bains, à peu de distance de l'ancienne source Mayran. Il fournit un débit de 75 mètres environ, dont 32 s'ajoutèrent à la quantité totale. Un autre encore, le n° 12, fut établi en 1866 à la face de la Fontaine chaude, et donna 100 mètres dont la moitié empruntée aux autres sources.

Malgré ces additions successives, qui sembleraient atteindre un produit de 502 mètres par jour, les registres de jaugeage tenus régulièrement, constatent que la situation réelle n'était pas tout à fait aussi brillante. Voici en effet les résultats de l'année 1866 :

(*) Ce chiffre accuse l'inexactitude des expériences, puisqu'un débit nouveau de 50 mètres aurait élevé de 66 mètres le rendement des Sources militaires. Même remarque pour le sondage 9.

DÉBITS MESURÉS AUX TROP-PLEINS.

Sources.	Température.	Salines.	Débit.
	degrés.		mèt. cubes.
Puisard romain	52	7,0	20
Sondage n° 1	58 1/2	7,4	20
— n° 8	44	7,2	8
— n° 9	49	7,25	25
— n° 10	65	7,4	148
— n° 11	60 1/2	7,35	55
— n° 12	64	7,40	98
Patrice, Etuves	25	3,0	6
Total			380

Pour avoir la puissance réelle de la station, il faut ajouter à ce nombre le surcroît de débit total, 60 mètres environ, dû au maintien des épuisements par les pompes du puisard civil. Mais une partie de cet excédant se composait d'eaux froides.

Largement suffisante pour les besoins immédiats des services balnéaires, cette quantité d'eaux ne pouvait pas permettre de donner de grands développements aux deux établissements. Aussi la question de l'abaissement du niveau d'émergence, ou de la création de nouveaux sondages, resta-t-elle à l'étude, en vue d'arriver à un rendement de 600 mètres.

De grandes expériences complètes de jaugeages par épuisement, opérées par M. Debette en 1863 et par M. Duporcq en 1866, montrèrent qu'il fallait déprimer de 4 mètres environ le niveau d'émergence dans toutes les sources, au-dessous de la cote du pavé des bains civils, pour atteindre le résultat désiré. En 1868, l'administration se décida à ordonner les travaux nécessaires à cet abaissement, et M. Duporcq construisit en 1869 un aqueduc de 850 mètres de longueur, ayant son radier à 4 mètres en contre-bas du sol.

Le premier effet de ce travail fut de créer un drainage important dans lequel se déchargèrent naturellement les

sources : une grande partie de leur débit fut ainsi perdue jusqu'à nouvel ordre. Les sources militaires romaines cessèrent de couler ; les sondages 1 et 8 se réduisirent presque à rien ; enfin le puisard romain fonctionna comme puits absorbant tant qu'on ne tirait pas l'eau par les pompes, et les sources romaines jouèrent un rôle analogue. Cette situation est définie par le tableau ci-dessous.

SOURCES.	SANS épuisement.	PAR épuisement.
	mèt. cubes.	mèt. cubes.
Puisard romain	perte 100	60
Patrice, Etuves	Id. 15	0
Sondages n° 1	8	0
— n° 8	6	5
— n° 9	20	15
— n° 10	130	108
— n° 11	50	75
— n° 12	80	0
Totaux	149	311

Les travaux d'abaissement ne furent repris qu'en 1875, en même temps que le forage du sondage n° 13 sur le puisard romain : ce dernier a donné de beaux résultats, évalués à 175 mètres cubes par jour aussitôt son ouverture.

Pour obtenir l'abaissement général des émergences de toutes les sources, nous avons laissé de côté, au moins provisoirement, toutes les sources romaines, et réuni seulement le produit des sondages dans une tuyauterie établie à la cote 252. Les tuyaux sont installés dans des galeries voûtées créées à cet effet. Le sondage n° 1 ayant été, d'abord, laissé à l'écart, nous avons obtenu les résultats suivants à la date du 28 décembre 1875.

SOURCES.	TEMPÉRATURE.	DÉBIT journalier.
	degrés.	mèt. cubes.
Sondages n° 8	41	34,6
— n° 9	45	28,8
— n° 10	65	123,4
— n° 11	61	61,7
— n° 12	64	108,0
— n° 13	65	172,8
Totaux, moyennes.	61 1/2	529,3

Toutes les eaux ainsi réunies et mélangées, arrivent dans un appareil distributeur qui les partage inégalement entre les services civils et militaires, suivant la règle fixée pour cette répartition. La part de chaque établissement va s'accumuler dans un grand puisard souterrain, suffisant pour recueillir toutes les eaux pendant 14 ou 15 heures: la marche des pompes pendant le reste du temps permet ainsi de ne rien perdre du débit des sources pendant la saison balnéaire. En hiver, leur produit s'écoule par l'aqueduc dans la rivière d'Apance, sans surcharge habituelle de la pression sur les sondages.

La température des sources étant trop élevée pour leur utilisation directe, il a fallu de tout temps en refroidir une partie vers 30°. Cette opération s'était faite primitivement dans de grands bassins en plomb, placés dans les combles des deux établissements: l'eau y arrivait en moyenne, avec une température de 50°, et 24 heures au plus de séjour la ramenait au point nécessaire. Dès la création des premiers sondages, l'élévation de la température avait obligé à accroître la surface des réservoirs de refroidissement.

Mais avec le nouveau débit de plus de 500 mètres et avec une température de 60° au moins, des moyens de refroidissement plus énergiques devenaient nécessaires. Lors de préparation de son projet d'ensemble, M. Debette pensa à obtenir la réfrigération en faisant circuler les eaux thermales autour du tuyau où aurait passé une partie du débit

du ruisseau de Borne. Ce moyen très logique, mais très coûteux, et d'une application difficile, aurait soulevé une grande et légitime opposition de la part des riverains, et il a fallu l'abandonner. M. Duporcq a proposé ensuite de faire tomber l'eau thermale en pluie dans un cylindre ou dans une tour parcourus par un ventilateur énergique: il fit même construire à Bourbonne un réfrigérateur de ce système, sur une assez grande échelle pour bien juger le procédé. Les résultats furent satisfaisants; mais l'entretien était difficile, le moteur coûteux, et de plus, les médecins se montraient fort peu satisfaits d'un procédé que certaines idées fausses leur faisaient regarder comme susceptible d'altérer l'efficacité de leurs eaux minérales.

Nous en sommes revenus au refroidissement par simple exposition à l'air, suivant les anciennes habitudes, mais en donnant aux bassins une large surface et une capacité suffisante pour y conserver les eaux pendant deux jours. Les bassins ont été placés en dehors de tout bâtiment, pour éviter la rapide destruction des charpentes sous l'influence des vapeurs salées dues à l'eau thermale. Ils ont une superficie de 400 mètres carrés, et une profondeur de 1 mètre, soit une capacité totale de 400 mètres cubes. Adoptant les mêmes idées, le service du génie a construit auprès des nôtres des bassins analogues.

Nous avions proposé de couvrir ces réservoirs d'une légère toiture montée sur arcs en briques pour éviter le soleil qui, pendant l'été, gêne beaucoup le refroidissement. Cette toiture devait encore empêcher la chute des feuilles mortes, diminuer la vigueur des végétations aquatiques et rendre moins nuisible l'effet de la gelée. La toiture a été supprimée par l'administration, sans que nous ayons eu à constater de trop mauvais effets de cette simplification.

Aussitôt achevés ces travaux définitifs d'aménagement général des sources minérales, l'État a entrepris la construction d'établissements civils nouveaux où doit être

consommée la part d'eaux réservée à ce service. Ces bâtiments, établis suivant les projets de M. Multzer, architecte, ont dû être exécutés par parties, pour ne pas arrêter complètement une saison balnéaire, ce qui aurait ruiné Bourbonne. Au fur et à mesure de cette reconstruction, on a établi des galeries souterraines destinées à recevoir la tuyauterie de la distribution, qui se trouve ainsi facile à surveiller et à entretenir.

On a bâti d'abord un établissement de deuxième classe, comprenant deux piscines, peu de baignoires et beaucoup de cabinets de douches. Nous y avons installé la distribution, et cet établissement a fonctionné pendant la saison 1878. C'est maintenant le tour de l'établissement de première classe, et toute cette restauration sera complète pour la saison de 1880.

État définitif de la station. — Comme l'ont fait successivement Le Bon, Thibaut, Gauthier et Diderot, nous allons exposer maintenant l'état de l'ensemble des bains de Bourbonne en 1879.

Les sources de Bourbonne appartiennent à deux catégories :

La première a son origine directe dans la nappe d'eau thermale qui circule vers la surface de contact des argiles bariolées et des grès bigarrés, dans une zone assez restreinte située vers 45 mètres de profondeur au-dessous du sol naturel. Cette zone paraît occuper à peu près l'étendue représentée à la surface par les installations balnéaires et par la place des bains ; son maximum de puissance productive est très rapproché du pied du sondage n° 13. Elle donne des eaux qui présentent une température de 65 degrés environ en parvenant aux orifices d'émergence ; dans quelques cas, ces eaux sont refroidies sensiblement par leur passage lent à travers des terrains froids, mais sans mélange d'eau douce. La salure est assez fixe et très voisine de 7g,40 de résidus par litre; la composition de ces

résidus, d'après la moyenne de nombreuses analyses, est la suivante :

	grammes
Chlorure de sodium	5,75
Chlorure de magnésium	0,37
Sulfate de potasse	0,13
Sulfate de chaux	0,86
Carbonate de chaux	0,09
Silicate de soude	0,11
Alumine	0,03
Total	7,34

L'émergence des eaux est accompagnée d'un dégagement de gaz assez abondants évalués à 3 ou 4 p. 100 du volume d'eau écoulé, et composés presque exclusivement d'azote, avec un peu d'acide carbonique, d'après une analyse récente de M. Ladrey (*).

La seconde catégorie d'eaux minérales est fournie par une zone aquifère existant à la base des alluvions, dans des couches perméables immédiatement reconvertes par le béton romain. Elle reçoit des eaux douces par infiltrations, tandis que l'eau minérale lui est amenée depuis l'autre nappe par des cheminées naturelles remplies de sable siliceux. Les sources romaines étaient composées exclusivement de cette seconde catégorie. Aujourd'hui, elle est laissée de côté, au moins jusqu'à nouvel ordre, tant que les sondages suffiront aux besoins des deux établissements. Mais deux orifices sont réservés pour permettre au besoin la reprise de ce débit supplémentaire.

Nous n'avons donc aujourd'hui, comme sources normales en activité à Bourbonne, que sept sondages (**), créés à diverses époques, et dont nous allons donner les principaux éléments dans le tableau ci-dessous :

(*) Professeur à la faculté des sciences de Dijon.

(**) La position de ces sondages est indiquée sur le plan général, Pl. IV, *fig.* 5.

NUMÉROS.	DATE d'exécution.	EMPLACEMENT.	PROFONDEUR du fond du forage.	COTE du fond du forage.	NATURE du tubage.	DIAMÈTRE intérieur.
1	1859	Jardin des thermes civils. . . .	43,98	212,51	Bois.	0,10
8	1859	Cour de l'hôpital militaire. . .	41,97	213,94	Id.	0,10
9	1863	Rue de l'hôpital.	35,85	219,37	Id.	0,10
10	1862	Cour intérieure des thermes. .	45,60	210,31	Cuivre.	0,19
11	1864	Place des Bains (source Mayran).	46,49	209,42	Bois.	0,10
12	1865	Place des Bains (Fontaine chaude)	51,00	204,91	Id.	0,15
13	1875	Établissement de 1re classe (Puisard romain)	45,45	210,46	Cuivre.	0,19

Chacun de ces tubages a été percé de trous à un niveau convenable pour recevoir, aussi directement que possible, l'eau des nappes aquifères rencontrées pendant le forage.

Le n° 1 présente des trous sur 25m,04 de longueur entre les cotes 214,59 et 239,63.

Le n° 8 est percé sur 6 mètres de longueur à partir de la base des tuyaux, qui ne sont enfoncés que jusqu'à la profondeur de 26m,81. La lanterne est donc comprise entre les cotes 229,10 et 235,10.

Le n° 9 a une lanterne de 15m,12 de hauteur, comprise entre les altitudes 222,14 et 237,26.

Le tubage du n° 10 présente des trous sur 16 mètres, de 210,46 à 226,46.

Le n° 11 a une lanterne de 20m,52 commençant à la cote 209,42 pour se terminer à 229,94.

Le n° 12 n'a que 7m,31 de tuyaux munis d'ouvertures, entre les cotes 204,91 et 212,22.

Le n° 13 a 8 mètres de longueur de lanterne, entre les cotes 210,60 et 218,60.

Chaque sondage est pourvu d'une tête, sorte de puits en maçonnerie de briques, ayant 0m,33 de diamètre intérieur et 0m,33 d'épaisseur, recouvert d'un second puits en maçonnerie de moellons de 0m,30 d'épaisseur (Pl. VIII, *fig.* 3). Le fond du puits descend à la cote 251,69, et l'ouvrage repose sur une couche de béton de 0m,30 d'épaisseur et

1m,80 de diamètre. Le tubage du sondage dépasse de 0m,10 à 0m,15 le fond du puits, et son ouverture libre est recouverte d'une forte grenouillère en cuivre. Le haut du puits est fermé par deux tampons, le premier en bois, le second en fonte. L'ensemble de cette disposition permet d'ouvrir facilement au jour l'orifice de chaque sondage et de le curer au moyen d'une petite sonde lorsqu'il s'ensable; de plus, aucun corps étranger ne peut pénétrer dans le tubage en venant de l'extérieur.

Le sondage n° 13 a seul une disposition particulière, due d'abord à ce qu'il est placé sous les galeries de distribution de l'établissement de première classe, puis à ce que ce forage a été percé au centre du puisard romain. Nous n'avons pas rempli tout le vide de cet ouvrage; mais nous avons appliqué contre ses parois une tour en briques, de forme ovale, ayant pour axes 1m,45 et 1m,60. Le fond est formé aussi de briques posées au ciment et présentant un radier légèrement concave, ce qui en augmente la solidité et l'étanchéité. Le tout repose sur une masse de béton de 2 mètres d'épaisseur, reliée aux travaux romains, et qui a été posée pour les travaux du forage. Le haut du puits est couvert d'une voûte ayant au centre une ouverture fermée par un double tampon et placée dans le radier de la galerie de distribution, entre les deux étuves. Le tubage en cuivre dépasse de 0m,25 le fond du puits.

De chaque sondage part un tuyau de cuivre ayant son axe à la cote 252,17, soit à 0m,42 au-dessus du fond du puits en briques. C'est par cet orifice que se fait la sortie de l'eau thermale.

Les tuyaux sont placés horizontalement à ce niveau dans tout leur parcours. Leurs diamètres sont calculés de manière à ce que la perte de charge totale soit de 0m,10 environ depuis chaque sondage jusqu'au point de déversement des eaux dans les deux puisards. Dans ces conditions, les tuyaux devront se trouver toujours à peu près remplis sur

tout leur parcours, et les plus gros d'entre eux (sondages 10 et 13), qui ont 0,105 de diamètre, auront leur embouchure complètement noyée. On évitera ainsi la corrosion du cuivre par l'air humide que le courant d'eau minérale aurait entraîné à sa suite sans cette précaution.

Noyés d'abord dans la maçonnerie sur une longueur de $0^m,70$ et cimentés dans les parois des têtes de sondages, les tuyaux, à leur sortie, sont fixés à des robinets-vannes en bronze, prolongés ensuite par les conduites.

Le robinet-vanne a pour but de mettre le sondage en charge en cas de besoin, par exemple en cas de réparation à faire à une conduite. Mais il porte, en outre, un robinet latéral de $0^m,05$ de diamètre, placé entre la vanne et le sondage (Pl. VIII, *fig.* 4). Habituellement fermé, cet orifice peut être utilement ouvert dans deux cas, pour les curages et pour les jaugeages.

Les curages sont nécessaires pour faire disparaître les quantités considérables de sables siliceux qui s'amassent peu à peu au fond des trous de sonde, amenés par les eaux thermales. Leur amoncellement successif rend le passage de l'eau de plus en plus difficile, et leur hauteur maxima arriverait à atteindre ou à dépasser les fenêtres les plus élevées percées dans le tubage, peut-être même à remplir toute la colonne. Il est nécessaire, de temps en temps, de remédier à cet état de choses pour maintenir le débit normal des sources.

Il y a deux catégories de curages à effectuer. Les premiers seront annuels et se borneront à agiter les dépôts du fond au moyen d'un poids assez lourd suspendu à une forte cordelette. Nous savons qu'il suffit de produire un faible mouvement de piston dans le tubage pour déterminer de fortes oscillations dans la colonne des eaux ascendantes. Le poids servira de piston, et les brusques soubresauts du courant d'eau minérale entraîneront une grande quantité de sables. La majeure partie de ceux-ci est très

ténue, et le courant ascendant les entraînera jusqu'à la tuyauterie. Ils s'y déposeraient, si la fermeture de la vanne et l'ouverture du robinet de jauge ne permettaient de les déverser immédiatement dans le caniveau des galeries.

Des curages à la sonde seront nécessaires, à des intervalles assez longs, pour ramener directement à la surface la partie la plus grossière des matières étrangères. La manœuvre de la vanne et du robinet de jauge permettra, comme dans le cas précédent, de se débarrasser des eaux sales que produira l'opération.

Il sera toujours précieux de pouvoir vérifier le débit de chaque sondage. Cette mesure fera connaître les accidents qui les auraient affectés isolément, et permettra de juger de l'opportunité et de l'efficacité des curages.

Les jaugeages les plus soignés n'avaient pu jusqu'ici être effectués avec précision. Lors des essais par épuisement, le régime et le nombre des sources étaient fort différents de ce qu'ils sont aujourd'hui : de sorte que les résultats obtenus n'ont plus qu'un intérêt historique. De plus ces expériences étaient loin d'être parfaites par elles-mêmes. Nous savons en effet que le moindre effort d'aspiration exercé sur la colonne ascendante, produit pour la source des variations de régime considérables et assez durables : ces mouvements oscillatoires sont fort inégaux et affectent le sondage n° 12, plus qu'aucun des autres. Il faut un temps fort long pour amener le régime constant au niveau d'épuisement choisi, et cette durée n'est pas compatible avec une expérience, pas plus que la parfaite régularité de la marche de toutes les pompes.

Aujourd'hui, nous n'avons plus à craindre ces incertitudes. Pour faire un bon jaugeage, il suffit de fermer toutes les vannes en ouvrant tous les robinets, puis d'attendre deux ou trois jours que le régime fixe soit rétabli. La charge est très faible au-dessus de chaque niveau de prise

d'eau, et ne dépasse $0^m,06$ pour aucun des sondages. On se trouve donc sensiblement dans les conditions où les eaux sont normalement recueillies pour le service balnéaire.

On place alors un seau de 10 litres sous le robinet de jauge, et l'on vérifie au compteur à secondes le nombre de secondes nécessaire pour remplir le seau. Les résultats ainsi obtenus ne sont pas très précis, car on ne peut trop apprécier que le quart de seconde, ce qui correspond à une erreur de 5 p. 100 pour le débit du sondage n° 13. Mais au moins les chiffres sont absolument comparables entre eux, à quelque époque qu'ils aient été recueillis.

Le premier jaugeage d'ensemble effectué par cette méthode date du 28 décembre 1875, le n° 1 n'était pas alors réuni à l'ensemble des sources : voici les résultats obtenus.

SOURCES.	TEMPÉRATURE.	TEMPS NÉCESSAIRE pour remplir 10 litres.	DÉBIT CACULÉ par 24 heures.
		secondes.	mèt. cub.
Sondage n° 8. . . .	41°	25	34,6
— 9. . . .	45	30	28,8
— 10. . . .	65	7	123,4
— 11. . . .	61	14	61,7
— 12. . . .	64	8	108,0
— 13. . . .	65	5	172,8
Totaux et moyennes	61° 1/2	»	529,3

Un aqueduc général de décharge, construit en 1869 sur une longueur de 840 mètres, depuis l'angle nord-ouest de l'établissement de première classe, jusqu'à la rivière d'Apance, sert à envoyer à ce cours d'eau tous les produits des sondages non utilisés, en même temps que les eaux provenant des cabinets de douches et de bains. Son radier est à la cote 251,75 à l'amont, et présente une pente régulière de 1 millième. La section, de forme générale ovoïde, est suffisante pour le passage des hommes chargés de le nettoyer. Une vanne autoclave, installée dans la tête aval, devrait servir à empêcher le reflux des eaux de l'Apance, lors des crues de cette rivière : mais elle a quelque peine

à remplir cette fonction, et les inondations se font rapidement sentir jusqu'à l'amont. En temps normal, l'aqueduc ne renferme que le courant d'eau représentant le débit des sources ; il maintient alors à peu près à sec toutes les galeries qui viennent déboucher sur lui.

Toutes les eaux des sondages doivent être réunies ensemble et mélangées, de manière à obtenir un produit régulier et uniforme : leur point de jonction est une petite chambre voûtée créée en 1875 sous la place des bains, et que nous décrirons plus loin sous le nom de chambre de distribution ; elle est très voisine du sondage n° 12.

Pour amener les eaux en ce point, nous avons construit en 1875 un réseau de galeries souterraines. Elles ont un caniveau axial dont le fond est à la cote 251,74 ; toutes les eaux reçues dans ce caniveau sont conduites par lui à l'aqueduc général de décharge. Les bords du caniveau forment banquettes à la cote 251,94. Les galeries ont une largeur de 1 mètre, et une hauteur de $1^m,20$ et $1^m,50$ au-dessus de la banquette.

Ces banquettes soutiennent une tuyauterie, dite tuyauterie des sondages, qui rayonne depuis la chambre de distribution en trois branches provenant respectivement du sondage n° 12, des sources militaires et des sources civiles ; en outre, elles reçoivent les deux tuyaux qui, après le partage, conduisent les eaux aux deux puisards. Faite primitivement en tuyaux de grès, cette tuyauterie n'a pas pu résister aux efforts de dilatation et de raccourcissement, non plus qu'aux brusques variations de température dues à l'invasion des eaux froides venant de l'Apance par l'aqueduc au moment des crues, malgré la vanne autoclave : au bout de trois ans, beaucoup de tuyaux étaient fendillés, et il a fallu recourir à l'emploi du cuivre. En 1878, nous avons donc créé une tuyauterie nouvelle, composée de tubes ayant des diamètres de $0^m,065$ à $0^m,160$, calculés de manière à égaliser les pertes de charge sur tout le parcours.

Les tuyaux sont posés sur des cales en bois, réunis entre eux par des joints en bronze à vis, et interrompues en certains points pour permettre les mouvements de dilatation. Le jeu des extrémités libres se fait alors dans des manchons en cuivre, dits *boîtes à rallonges*, dont les brides renferment des garnitures de caoutchouc,

Au centre de la chambre de distribution, est installée la *bâche de distribution*. C'est une cuve en cuivre, de $1^m,10$ de côté, dont un des angles est abattu. Le dessus est fermé par un couvercle, et les parois verticales sont pourvues de 5 vannes. Une cloison intérieure, descendant jusqu'à $0^m,10$ du fond, partage la bâche en deux compartiments ; l'un de mélange, pourvu de 3 vannes, l'autre de départ, pourvu de 2 vannes.

Les trois conduites d'arrivée débouchent dans le premier compartiment, où s'accomplit le mélange de toutes les eaux des sondages : les eaux passent ensuite ensemble dans le second compartiment, par-dessous la cloison séparative. Ainsi confondues, elles sont réparties, au moyen des vannes, entre les deux conduites de départ, suivant les règles posées dans la décision commune des Ministres de la guerre et des travaux publics en date des 18-27 mai 1869. Voici les termes de cette décision :

« Lorsque le débit journalier total des sources s'élèvera « à 580 mètres cubes, les bains civils recevront 310 mètres « cubes, le service militaire 250 mètres cubes, et les ha- « bitants de Bourbonne 20 mètres cubes.

« Les augmentations et diminutions seront partagées « entre les deux services civil et militaire dans la propor- « tion de 5 à 7, la part des habitants de Bourbonne for- « mant toujours $\frac{1}{20}$ du chiffre total, sauf entre 580 mètres « cubes et 600 mètres cubes, où cette part restera fixée à « 20 mètres cubes.

« Le service civil sera chargé de desservir les habi- « tants de Bourbonne et recevra leur part à cet effet. »

Dans les conditions actuelles, avec un débit de 530 mèt. cubes par 24 heures, le calcul, basé sur cette décision, donne les chiffres suivants :

Service civil. . .	$316^m,6$	Dont 17,7 pour les habitants de Bourbonne et 298,9 pour l'établissement.
Service militaire.	213 ,4	pour les services balnéaires.
Total. . .	$530^m,00$	

Quoique le puisard civil doive recevoir plus d'eau que le puisard militaire, les tuyaux qui conduisent au premier ont $0^m,12$ de diamètre, et les seconds ont $0^m,13$, ce qui tient à la différence entre les parcours : la perte de charge devant rester sensiblement la même depuis la bâche de distribution jusqu'à chacun des déversoirs.

Une fois le régime normal du partage établi par les positions convenables des vannes, il suffira d'un très faible mouvement de celles-ci pour amener les quantités d'eaux respectives exactement au débit exigé, lorsque le produit total variera un peu, ainsi que cela a lieu suivant les saisons.

Les conduites de départ des eaux, parvenues en face de chacun des puisards, présentent des coudes en cuivre, aplatis pour passer en dessous des conduites des sources, et qui font tomber l'eau dans chacun des puisards.

Le puisard civil est construit sur la place des Bains, entre le sondage n° 11, l'établissement de première classe, et le bâtiment des pompes.

Son profil et son plan sont représentés Pl. VII, *fig.* 4 et 5. Sa capacité est de 200 mètres cubes, calculée jusqu'au niveau d'accès des eaux, à la cote 251,97, qui est aussi le niveau des naissances de la voûte. En admettant que cette cuve reçoive 300 mètres cubes par jour, ce volume permet de ne faire marcher les pompes que pendant 8 heures par jour. Ce temps leur est d'ailleurs nécessaire,

car, en marche normale, nos appareils ne permettent guère de faire monter que 35 mètres cubes par heure dans les grands réservoirs. Le trop plein du puisard est muni d'une vanne autoclave en bronze, destinée à empêcher le retour des eaux sales provenant de l'aqueduc et de la vidange des bains, lorsque les crues de l'Apance arrêtent l'écoulement naturel.

Pour pouvoir faire des jaugeages directs du courant d'eau à l'arrivée dans le puisard, afin de régulariser le partage, le mur de tête présente une porte réservée, habituellement fermée par une légère cloison en briques, facile à détruire et à rétablir. Deux cheminées percées dans la voûte, et prolongées jusqu'au sol de la place, permettent l'aérage pour les jaugeages ou pour les nettoyages.

Le puisard civil est sensiblement étanche. Son radier est composé de briques debout, posées à bain de ciment, et suivant une forme cylindrique légèrement concave. Il repose sur un massif de béton de près de 1 mètre d'épaisseur. Une petite cuve a été ménagée au pied d'une des parois pour loger l'aspirateur des pompes. Le béton lui-même est posé sur un drainage formé de moellons calcaires bruts, interposés entre lui et les argiles bariolées sous-jacentes.

Au milieu du radier, vers son extrémité est, on aperçoit une double bride de bronze, boulonnée, dont l'orifice est fermé par une plaque de cuivre. A cette bride se rattache un tuyau en plomb de 0,10 de diamètre, qui traverse le radier et tout le béton, Cet orifice, facile à ouvrir et à fermer, a dû être ménagé pendant la construction, par suite des nécessités imposées par les épuisements. Il communique avec le drainage, où se réunissent toutes les eaux vagues des terrains ambiants, et il suffit de l'ouvrir pour assécher les terres jusqu'à une certaine distance. Cette circonstance a été fort utile pour la construction de l'établissement de deuxième classe, dont les fondations ont dû

être établies profondément : elle permettra, au besoin, toutes les réparations nécessaires au puisard et aux galeries avoisinantes, sans installation spéciale pour les épuisements.

L'aspirateur des pompes plonge directement dans le petit bassin du fond du puisard. Le tuyau suit la paroi voisine, puis arrive horizontalement au-dessous de trois corps de pompe en bronze, à piston plongeur. Sur le même bâti que les pompes sont fixés deux cylindres à vapeur dont les bielles agissent directement sur l'arbre des pompes, muni de deux volants. Le tout est calculé pour marcher avec une vitesse de trente tours par minute, avec une détente de moitié environ.

Les pompes sont installées dans une excavation de 2 mètres de profondeur, qui réduit la hauteur d'aspiration maxima à 6 mètres à peu près. La chaudière est au-dessus du sol : elle se compose d'un cylindre de 1 mètre de diamètre et 2 mètres de longueur, chauffé directement sur presque toute sa moitié inférieure; les gaz chauds reviennent ensuite en avant par douze tubes de $0^m,06$ de diamètre; enfin ils suivent deux carneaux sur les deux flancs pour retourner à la cheminée. Toute la chaudière est noyée dans un massif de briques; elle fonctionne à une pression normale de 6 kilog.

L'eau chassée par les pompes passe d'abord par un réservoir d'air en bronze, puis par un robinet-vanne : elle suit alors une colonne d'ascension en tuyaux de cuivre de $0^m,12$ de diamètre, longue de 105 mètres. Cette conduite est interrompue vers son milieu par une boîte à rallonge qui en permet la dilatation sans trop grands efforts sur les joints; cette précaution est particulièrement nécessaire sur ce long tuyau, fort peu flexible, et dont la température peut varier, suivant les cas, entre les limites extrêmes de 61 degrés et de — 10 degrés.

La conduite est installée dans la galerie d'ascension,

tantôt soutenue à la voûte par des colliers, tantôt posée sur les tablettes de pierre et appuyée sur des cales en bois qui en empêchent l'usure par frottement. Enfin elle aboutit au réservoir des eaux chaudes, un peu au-dessus du trop-plein, à la cote 276, soit à $27^{m},50$ au-dessus du fond du puisard placé à la cote 248,50.

Ainsi que les autres grands réservoirs d'eau minérale, le réservoir des eaux chaudes est placé au-dessus de l'ancien jardin des bains civils. Le flanc du coteau présente une pente relativement douce, suivant la courbe de niveau 275; à cette hauteur, le sol est formé par les assises pierreuses du muschelkalk et doué d'une bonne stabilité. Les réservoirs généraux des deux services ont été installés sur cette espèce de terrasse.

Les réservoirs civils commencent, à l'est, par le réservoir des eaux chaudes : c'est une cuve voûtée, construite en moellons, ayant son radier à la cote 273,50, et contenant 40 mètres d'eau dans la partie utile. La voûte est percée d'une ouverture carrée munie d'une trappe. La paroi nord présente un trou à la cote 276 pour le passage de la colonne d'ascension. Enfin une ouverture carrée percée dans la paroi ouest, à la cote 275,50, conduit le trop-plein dans une rigole en pierre de taille. Ce petit canal fait circuler l'eau chaude à l'air libre autour des bassins de refroidissement et la distribue entre eux au moyen de gargouilles et de petites vannes en pierre de taille.

Les grands bassins de refroidissement s'étendent sur une longueur de 42 mètres à l'ouest du réservoir des eaux chaudes. Trois petits murs les divisent en quatre compartiments ayant chacun 10 mètres de côté et 1 mètre de profondeur utile. L'ensemble est posé sur une plate-forme taillée dans le sol à la cote 272,50, recouverte par une nappe de béton de $0^{m},50$ d'épaisseur et par une couche de maçonnerie de moellons de même force. Le fond et les parois sont recouverts d'un enduit en ciment de Grenoble qui

en assure l'imperméabilité. Les couronnements des murs sont faits en pierre de taille blanche provenant des travaux romains.

Chaque bassin présente deux ouvertures à la base de sa face nord. L'une d'elles, de 0,05 de diamètre, fermée habituellement par un tampon de bronze vissé dans un écrou scellé dans la maçonnerie, sert à la vidange et aux nettoyages. La seconde est un trou horizontal, à garniture de bronze, de $0^{m},20$ de diamètre, muni d'une soupape conique de même diamètre. Une grenouillère de cuivre à trous très fins entoure la soupape, et celle-ci est mue par une longue tige filetée, en bronze, manœuvrée par une clef mobile. Ce système permet de faire communiquer séparément chaque compartiment avec un gros tuyau de grès de 0,20 de diamètre, enterré horizontalement au pied de la face nord de la construction. Fermé à un bout, ce tuyau débouche à l'autre dans le distributeur des eaux refroidies.

La capacité de chaque bassin étant de 100 mètres cubes, l'ensemble renferme deux jours d'approvisionnement. On compte, en effet, une consommation journalière de 300 mètres cubes, dont le tiers en eau chaude. La durée moyenne du séjour à l'air libre sera, par conséquent, de quarante-huit heures. Comme le service des bains commence vers cinq heures du matin, les eaux auront toujours deux nuits pour se refroidir, ce qui paraît suffisant, même pendant la canicule, pour abaisser leur température vers 30 degrés. Lorsque la consommation des deux établissements civils atteindra son maximum, on pourra toujours augmenter le refroidissement, au besoin, en ajoutant une toiture pour préserver les eaux des rayons solaires pendant la journée.

Les deux distributeurs sont placés dans une petite chambre en pierres de taille, couverte d'un vitrage, et située immédiatement à l'aval du réservoir des eaux chaudes. Ils sont installés sur des blocs de taille et main-

tenus parfaitement immobiles par de fortes armatures en fer. Chacun de ces appareils est une forte caisse rectangulaire en cuivre fermée de toutes parts par des pièces boulonnées à joints au minium. Chaque caisse présente trois ouvertures munies chacune d'une soupape conique guidée, mue au moyen d'une tige filetée et d'une clef; deux d'entre elles correspondent au départ des eaux, la troisième à l'arrivée.

Le plus grand de ces appareils est destiné aux eaux refroidies. Il reçoit sur sa face ouest le prolongement de la grosse conduite des bassins de refroidissement par une ouverture de $0^m,20$ de diamètre. Sur sa face nord prennent naissance, aux deux autres orifices, des tuyaux de cuivre de $0^m,13$ et $0^m,105$ de diamètre : les premiers forment la colonne descendante des douches fortes (eau refroidie), la seconde est la colonne descendante des bains et piscines (eau refroidie).

Le second distributeur reçoit les eaux chaudes par son ouverture sud, qui communique avec le fond du réservoir des eaux chaudes par un tuyau de cuivre de $0^m,12$ de diamètre, muni d'une grenouillère. De sa face nord partent les colonnes descendantes des douches fortes (eau chaude, diamètre $0^m,105$) et des bains et piscines (eau chaude, diamètre 0,08).

Ces quatre colonnes de tuyaux suivent des tablettes en pierre fixées dans les parois de la galerie d'ascension. Cet ouvrage a une section intérieure de $1^m,60$ de largeur et 1^m80 de hauteur; trois dalles en pierre de taille sont encastrées dans chacun des piédroits pour former les tablettes d'appui. La galerie descend le flanc du coteau, dans la direction du nord, sur 90 mètres de longueur; elle se prolonge ensuite jusqu'à la chambre des pompes par un ouvrage plus petit qui ne renferme que la colonne d'ascension. Arrivée à la hauteur de l'établissement de seconde classe, la galerie se bifurque, et l'une de ses branches fait

le tour de l'édifice, dans ses fondations, comme galerie de distribution et de vidange de deuxième classe, tandis que l'autre branche rejoint l'établissement de première classe, où elle se divise de nouveau en deux galeries de distribution, l'une sous le bain des dames, l'autre sous le bain des hommes. Comme la galerie d'ascension, les galeries de distribution sont pourvues de tablettes sur leurs paroi pour poser les conduites nécessaires.

Vers le milieu de la hauteur du coteau, à l'ouest et près de la galerie d'ascension, se trouve placé le réservoir des eaux douces, à la cote 265°. C'est un ouvrage voûté, de même forme que le réservoir des eaux chaudes, ayant une capacité de 50 mètres cubes. Il reçoit les eaux de la source de Montlétang par une conduite en grès de $0^m,10$ de diamètre, et donne naissance à une conduite en cuivre de $0^m,08$, installée dans la galerie d'ascension, et allant aux cabinets de bains.

Au-dessous du réservoir des eaux douces, lui est accolé un autre réservoir plus petit, nommé bâche des douches faibles, et divisé en deux compartiments, l'un pour l'eau minérale chaude, l'autre pour l'eau refroidie. Ces bâches sont alimentées par des branchements pris sur les colonnes descendantes des bains et piscines, munis de robinets-vannes à clapets près de la bifurcation. Les deux branchements débouchent au fond des bâches, dans des vannes à flotteurs, en bronze, destinées à maintenir constant le niveau de chaque compartiment. Du fond des bâches partent de nouvelles colonnes descendantes en tuyaux ayant des diamètres respectifs de $0^m,16$ et $0^m,13$ pour les eaux refroidies et chaudes. Cette tuyauterie, destinée aux douches faibles, rejoint les tablettes de la galerie d'ascension.

On a donc dans celle-ci, vers sa partie inférieure, 9 conduites en cuivre :

			Diam. mèt.
Colonne d'ascension			0,120
Colonne d'arrivée des eaux douces			0,080
Colonnes descendantes.	Douches fortes,	eau refroidie.	0,150
Id.	Id.	eau chaude.	0,105
Id.	Bains et piscines,	eau refroidie.	0,105
Id.	Id.	eau chaude.	0,080
Id.	Douches faibles,	eau refroidie.	0,160
Id.	Id.	eau chaude.	0.150
Id.	Eau douce		0,080

Au point où la galerie d'ascension donne dans la galerie de distribution de deuxième classe, toutes les conduites descendantes sont interrompues par des boîtes à rallonges d'où partent les conduites de distribution de deuxième classe. Grâce à cette distribution, les mouvements de dilatation sont possibles, tandis que les colliers d'attache des rallonges rendent parfaitement fixes les points de départ des conduites de distribution. Tandis que les colonnes descendantes se prolongent ensuite, avec quelques réductions de diamètre, vers l'établissement de première classe, les embranchements suivent la galerie de deuxième classe, avec les diamètres ci-dessous :

		mèt.
Douches fortes,	eau refroidie	0,050
Id.	eau chaude	0,065
Bains et piscines,	eau refroidie	0,050
Id.	eau chaude	0,050
Douches faibles,	eau refroidie	0,090
Id.	eau chaude	0,065
Eau douce		0,050

A chaque angle de la galerie, les distributeurs sont pourvus de boîtes à rallonges; ils sont munis de robinets-clapets à leur origine et à leur milieu.

Dans les naissances de la voûte de la galerie sont ménagées des ouvertures correspondant chacune à un cabinet. Au-dessous d'elles, les tuyaux distributeurs sont percés de

trous garnis de tubulures ayant des diamètres de $0^m,05$ pour les piscines, et de $0^m,035$, — $0^m,030$, — $0^m,025$ et $0^m,020$ pour les autres appareils balnéaires.

Les thermes de deuxième classe sont partagés symétriquement entre les deux sexes : le lot de chacun d'eux se compose des locaux suivants :

1° Une piscine à parois en ciment, divisée en trois compartiments. Le premier reçoit un mélange d'eau douce et d'eau minérale chaude; les deux autres sont remplis d'eau minérale pure portée par mélange à deux températures différentes. Des trop-pleins sont ménagés dans les parois, et un jeu de soupapes permet de vider rapidement et séparément chacun des compartiments. Les eaux de vidanges sont conduites par un tuyau de cuivre au caniveau central de la galerie de distribution, qui les emmène à l'aqueduc. Ce caniveau est couvert, dans tout son parcours, de dalles légères en pierre sciée, qui facilitent le parcours des galeries, et évitent l'afflux des vapeurs destructives et nauséabondes. Une petite buvette d'eau douce est placée dans un angle de la salle de la piscine.

Les piscines ne devant être remplies qu'à de longs intervalles, et pendant les interruptions du service balnéaire, nous avons donné un diamètre de $0^m,05$ aux robinets de remplissage, et branché les tuyaux sur les distributeurs des bains : le point important était la rapidité du remplissage, sans qu'il fût nécessaire de rendre indépendants les divers appareils. Pour les douches, au contraire, cette indépendance était de rigueur. Aussi avons-nous donné de faibles diamètres aux orifices balnéaires, tandis que nous avons calculé toutes les conduites maîtresses pour un débit triple de celui de toutes les douches fonctionnant à la fois. Avec cette précaution, nous évaluons à 3 pour 100 seulement la variation de charge produite par l'ouverture ou la fermeture simultanée de toutes les douches. De plus, toutes les colonnes descendantes pour douches sont sé-

parées, dès leur origine, de toutes les autres, afin qu'elles ne subissent aucune influence de leur part.

2° Trois cabinets sont destinés aux bains minéraux ordinaires. Chacun d'eux est pourvu d'une baignoire de cuivre et reçoit dans un mélangeur trois eaux provenant des conduites pour bains et de celle d'eau douce. Le mélange convenable, déterminé par le jeu inégal des soupapes, parvient au fond de la baignoire par un petit tuyau. Un autre tuyau conduit la vidange au caniveau des galeries.

3° Un quatrième cabinet est dévolu aux bains sulfureux qui se prennent dans une baignoire en bois, avec mélangeur à trois eaux.

4° Un cabinet pour douche ascendante reçoit des eaux minérales empruntées aux conduites pour douches faibles. A côté de lui sont les lieux d'aisances.

5° Sept cabinets sont destinés aux douches de chaque sexe. Trois d'entre eux ont à la fois des appareils de douches fortes et de douches faibles. Deux autres n'ont que la douche forte, les deux derniers ont la douche faible seule. Les appareils de douches sont tous à deux eaux : deux petits tuyaux les réunissent aux conduites correspondantes. Ils sont fixés contre les parois des cabinets, et leur face antérieure présente deux ouvertures, dont l'une pour alimenter un bain de pluie suspendu à la voûte, l'autre pour fixer un tuyau de caoutchouc avec lance à doucher.

Les parois des cabinets de douches sont complètement revêtues de ciment ainsi que leur sol. Une légère pente conduit toutes les eaux à un entonnoir de cuivre scellé dans le ciment, et prolongé par un tuyau jusqu'au caniveau des galeries.

En sortant des boîtes à rallonges placées à la jonction de la galerie de deuxième classe, les colonnes descendantes présentent les diamètres suivants :

			mèt.
Douches faibles,	eau refroidie,	diamètre.	0,160
Id.	eau chaude,	id. . .	0,130
Douches fortes,	eau refroidie,	id. . .	0,130
Id.	eau chaude,	id. . .	0,105
Bains,	eau refroidie,	id. . .	0,080
Id.	eau chaude,	id. . .	0,065
Eau douce.		id. . .	0,080

Elles conservent ces dimensions jusqu'à leur arrivée à la galerie de distribution de 1re classe, où elles se bifurquent pour aller, à droite, sous le bain des dames, et, à gauche, sous le bain des hommes.

Chacune des deux branches présente le même diamètre, bien que le nombre des cabinets à desservir soit moindre du côté des dames que du côté des hommes, parce qu'il faut prévoir l'emploi ultérieur, pour le service balnéaire, de la quatrième face de l'établissement de 1re classe, aujourd'hui consacrée aux salons.

Les diamètres des conduites distributives restent fixes pendant la première partie de leur parcours, jusqu'aux angles de l'établissement. Elles pénètrent alors dans des boîtes à rallonges coudées et en ressortent avec des diamètres réduits. Voici le tableau des diamètres dans ces deux sections.

		mèt.	mèt.
Douches faibles,	eau refroidie. .	0,130	0,105
Id.	eau chaude. . .	0,105	0,090
Douches fortes,	eau refroidie. .	0,105	0,090
Id.	eau chaude. . .	0,090	0,080
Bains,	eau refroidie. .	0,080	0,080
Id.	eau chaude. . .	0,065	0,065
Eau douce		0,050	0,050

Les appareils de douches et de bains prennent tous leur eau directement sur ces conduites, au moyen de petits tuyaux de cuivre de $0^m,02$ à $0^m,035$ de diamètre. Suivant les règles générales que nous nous sommes imposées, ces tuyaux sont tous apparents dans les cabinets, afin qu'il

soit facile de voir les fuites et de les réparer, en évitant les effets désastreux des infiltrations dans les maçonneries.

L'établissement de 1re classe ne renferme pas de piscines, mais il a deux étages de cabinets : au rez-de-chaussée, un cabinet de douches pour deux cabinets de bains; au 1er étage, des cabinets de bains avec ou sans douches Tivoli. Les baignoires du rez-de-chaussée sont partiellement enterrées, et établies en pierre de taille, en marbre ou en ciment. Celles du 1er étage sont toutes en cuivre. Enfin les cabinets de douche sont enduits de ciment, tandis que les autres sont peints ou couverts de carreaux de faïence vernie. Quant aux appareils balnéaires, ils sont les mêmes qu'à l'établissement de 1re classe.

Voici la composition générale de l'établissement :

Bains des dames,	rez-de-chaussée,	Bains.	9
Id.	id.	Douches.	11
Id.	1er étage.	Bains.	21
Id.	id.	Tivoli.	10
Bains des hommes,	rez-de-chaussée,	Bains.	18
Id.	id.	Douches.	18
Id.	1er étage.	Bains.	22
Id.	id.	Tivoli.	15

En outre de ces cabinets, chaque sexe disposera d'une douche ascendante et de lieux d'aisances. Mais une seule étuve est actuellement comprise dans les nouvelles constructions : elle est placée sous le bain des hommes, à l'angle nord-ouest, et formée par une partie des chambres voûtées construites en 1783, comme fondation, au-dessus des anciennes étuves romaines. La chaleur et la vapeur y sont fournies directement par le sondage n° 13. Dans le bain des dames, si l'on veut créer une étuve, on y amènera sans doute les vapeurs du sondage n° 10.

Dans les deux établissements, on dispose de douches à six pressions différentes.

		mèt.
Établissement de 2e classe.	Douches fortes.	15,50
Id.	Douches faibles.	6,00
Établissement de 1re classe, rez-de-chaussée.	Douches fortes.	17,00
Id.	Douches faibles.	7,50
Id. 1er étage.	Douches fortes.	13,50
Id.	Douches faibles.	4,00

Le mouvement de l'eau dans les conduites ne produit qu'une réduction insignifiante sur ces chiffres, car, avec les diamètres que nous avons adoptés, la perte de charge ne s'élèvera qu'à 3 p. 100 environ quand toutes les douches marcheront à la fois.

Dans l'établissement de 2e classe, les baignoires ne sont pas destinées à un usage habituel, et les douches serviront toutes aux baigneurs en piscine, qui payeront un prix réduit : cependant nous devons remarquer que les bains en piscine exigent, par baigneur, une consommation d'eau moyenne supérieure à celle d'une baignoire. Il faut en effet compter 30 mètres cubes par jour et par piscine, soit l'équivalent de cent bains. En supposant quatre séries de baigneurs, il faudrait à chaque fois vingt-cinq personnes, chiffre qui sera probablement rarement atteint, bien que chaque piscine puisse recevoir environ quarante baigneurs. L'emploi des piscines n'est donc pas un avantage pour un établissement doté d'une quantité d'eau aussi faible que Bourbonne.

En comptant, comme l'expérience l'a appris, 300 litres d'eau par bain ou douche, et cinq séries pendant les meilleures journées de la saison balnéaire, tous les appareils exigeront, pour leur alimentation, les quantités suivantes :

			m. c.
Établissement de 2e classe,		2 piscines à 30 mètres cubes.	60,00
		8 cabinets de bains à 5 séries 40 × 0,3.	12,00
		14 cabinets de douches à 10 séries 140 × 0,3.	42,00
Établissement de 1re classe,	Rez-de-chaussée,	38 cabinets de bains à 5 séries 190 × 0,3.	57,00
		21 cabinets de douches à 10 séries 210 × 0,3.	63,00
	1er étage,	13 cabinets de bains à 5 séries 215 × 0,3.	64,50
		25 douches Tivolis à 5 séries 125 × 0,3.	37,50
		Total.	336,00

Ce nombre est un peu supérieur à la part afférente au service civil : il est vrai qu'il se produira toujours quelques manquants pour établir l'équilibre. Mais nous ne pouvons pas compter sur l'eau douce pour augmenter le débit disponible, parce que nous avons toutes raisons de supposer que son usage disparaîtra presque complètement dans les mélanges. En effet, les médecins se plaignaient jadis amèrement du mélange forcé d'eaux douces produit par les infiltrations dans les puisards, depuis que nous leur promettons de l'eau thermale pure, ils ont réclamé de l'eau douce pour faire des bains mixtes. Mais nous croyons qu'ils en oublieront bientôt l'existence pour se contenter des eaux thermales naturelles qui donnent leur seule raison d'être aux thermes de Bourbonne. Nous pourrons seulement nous servir de l'excédant d'eaux douces pour remplacer l'eau thermale refroidie dans la bâche des douches faibles, ce qui nous fera une économie de 40 à 50 mètres cubes par jour en faveur des ressources de la station. Il n'y a en effet aucun intérêt à donner la douche avec l'eau minérale plutôt qu'avec de l'eau douce, et l'eau chaude permettra toujours de ramener la température au degré convenable.

Avec les dispositions actuelles, les deux établissements civils suffisent pour desservir une popualtion de 600 baigneurs environ, mais on consommera alors à peu près la totalité de l'eau des sources, et il ne sera pas possible de donner de nouveaux développements aux services balnéaires.

On peut remarquer, dans tous ces travaux, l'emploi exclusif du cuivre ou du bronze. Le fer ne se rencontre que dans quelques colliers ou barres d'appui destinés à rendre invariables certains points des conduites. Dans ce cas, il ne peut être exposé que par accident aux effets des eaux minérales, et il est facile de s'apercevoir de son usure et de procéder aux remplacements et raccommodages des pièces détériorées. Partout ailleurs, nous avons dû le proscrire absolument, parce qu'il est rapidement détruit par l'action des eaux de Bourbonne. Lorsqu'il se trouve en contact avec une pièce de cuivre, la rapidité de la corrosion est très grande, et peut détruire en moins d'un an une goupille de 5 millimètres de diamètre comme nous l'avons constaté.

Pour les conduites, le choix reste donc entre le plomb et le cuivre. Dans ses travaux, le service du génie a adopté le plomb, espérant obtenir une plus longue durée, grâce à une épaisseur plus grande ; il basait son opinion surtout sur la rencontre faite en 1783 dans les étuves romaines, de la plaque de plomb marquée COCILLA, et qui était bien conservée. Mais les renseignements recueillis pendant les travaux de 1875 sont en contradiction avec cette première observation. En effet, dans les tubages des sources romaines, les tuyaux en plomb avaient à peu près complètement disparu, tandis que les joints en bronze étaient parfaitement conservés et presque neufs. Dans les galeries romaines, nous avons trouvé des clous en cuivre rouge parfaitement sains. Dans l'établissement romain, des robinets de bronze et un clapet se trouvaient en bon état et fixés à des tuyaux complètement corrodés. Enfin, dans la source du puisard, un grand nombre de monnaies romaines en bronze étaient bien conservées, tandis que de grandes quantités de galène semblaient accuser une plus rapide altération pour les pièces ou autres objets renfermant du plomb.

Dans le service civil, le cuivre et le bronze ont été seuls employés partout ; ils coûtent d'ailleurs sensiblement moins cher, malgré le prix du cuivre quatre fois plus élevé que celui du plomb, parce que ce dernier métal exige une épaisseur cinq ou six fois plus grande. Il faut, en effet, tenir compte des pressions, qui s'élèvent jusqu'à 20 mètres dans nos conduites et, en outre, du peu de résistance du plomb à la déformation.

Pour les gros diamètres, le cuivre est plus facile à poser, car les tuyaux de plomb de $0^m,16$ de diamètre, ayant au moins 15 millimètres d'épaisseur, pèseraient près de 100 kilog. le mètre courant, au lieu de 12 kilog. poids des tuyaux en cuivre de même calibre, et de $2\frac{1}{2}$ millimètres d'épaisseur.

Pour les diamètres inférieurs à $0^m,05$, le plomb est plus commode à employer, parce qu'on peut le courber à froid, sans être obligé de le remplir d'abord de résine. Malgré cela, nous n'avons employé que du cuivre, et, en opérant avec quelques précautions, nous avons pu donner à ces tuyaux toutes les formes nécessaires pour passer à travers d'étroites ouvertures, depuis les distributeurs jusqu'aux appareils balnéaires.

Dans les galeries des sources, où la tuyauterie se trouve toujours en présence de l'air humide et chaud, la corrosion des tuyaux de cuivre par l'extérieur pourrait être assez rapide. Une couche de goudron de houille, étendue sur les conduites et entretenue avec soin, permettra de prolonger l'existence de ces tuyaux.

Aux thermes militaires, le service du génie a adopté des dispositions analogues aux nôtres, avec quelques différences que nous signalerons en passant.

Le puisard est de même forme que le puisard civil, mais avec une longueur de 13 mètres au lieu de 17 mètres dans œuvre, ce qui réduit sa capacité à 150 mètres. Il est moins parfaitement étanche que le puisard civil, par suite de défauts dans les maçonneries; mais les fuites sont faibles, et on pourrait les faire disparaître par des réparations en ciment.

L'aspiration des pompes se fait par un petit puits latéral dont l'exécution a présenté de grandes difficultés et qui laisse filtrer par son fond une certaine quantité d'eau thermale des terrains ambiants. Cette circonstance exigera une petite réparation, assez délicate à cause des faibles dimensions de l'ouvrage.

Dans la paroi est du puisard, vers son extrémité sud, se trouve encastré un tuyau de grès qui prolonge l'ancien tubage romain de la source n° 2. Un gros tuyau de plomb passe à travers la paroi, à la cote 249,50, et communique avec ce tubage. Il est normalement fermé par un robinet de bronze que l'on peut ouvrir lorsque le puisard est vide. Il fournit alors un débit de plus de 100 mètres cubes par jour, et cette source paraît avoir une assez grande stabilité. Mais l'eau qu'elle donne ne renferme que 5 grammes de sels par litre, et sa température n'est que de 42 degrés. Elle est donc composée comme un mélange de deux tiers d'eau thermale et d'un tiers d'eau douce.

Le tuyau de la source n° 2 n'est pas limité à la cote 249,50, mais prolongé verticalement sur toute la hauteur des parois du puisard. Il débouche au radier d'une ancienne galerie allant à la source n° 1 (anciennes étuves). Cette dernière a été complètement bouchée lorsque nous nous sommes assurés que son débit tout entier passait par le n° 2. Un tuyau de plomb de $0^m,03$ de diamètre continue le tubage : il fournit un débit moyen de 10 mètres cubes par jour, que l'on peut déverser dans la canalisation des sondages.

L'aspiration est faite dans le puits latéral au moyen d'une machine à action directe et à double effet installée sur le puits, construit en pierre de taille de Châtillon. L'eau refoulée passe d'abord dans un double réservoir d'air en bronze, puis elle est montée par un tuyau de plomb dans les grands bassins du coteau.

Construite par le Creusot sur le plan des grands appareils d'épuisement des mines, cette machine est simple et d'un entretien facile; son seul défaut est sa puissance un peu exagérée pour le but à remplir, car elle peut vider en deux heures le puisard, ce qui ne convient pas à un approvisionnement régulier d'eau chaude pour le service balnéaire. Il est vrai que ce qui aurait des inconvénients pour

des thermes ordinaires n'en présente pas pour les bains militaires, où le service a une durée réelle fort restreinte. Sauf le puisard et le puits des pompes, le service des mines n'a pas eu à s'ingérer dans la construction des appareils et des ouvrages destinés à l'usage des eaux à l'hôpital militaire. Nous ne donnerons, par conséquent, une brève description de ces travaux qu'à titre de complément des installations civiles, et pour en établir la symétrie.

Une galerie d'ascension de 120 mètres de longueur réunit l'hôpital à ses grands réservoirs. Elle ne renferme que trois tuyaux de plomb de 0,10 de diamètre, l'un pour l'ascension, les autres pour la descente des eaux chaudes et refroidies. Cette disposition permettrait difficilement un service direct des douches sous la pression totale de 18 mètres, parce qu'il y aurait trop de dépendance entre les divers appareils. Aussi les grands bassins ne servent-ils que comme réserve d'eau chaude, et comme moyen de réfrigération. Leurs eaux sont conduites dans de petites cuves en plomb placées dans les combles de l'hôpital, et qui agissent comme appareil de distribution.

Une conduite auxiliaire munie de vannes met en communication les conduites d'ascension civile et militaire, afin de pouvoir suppléer l'un des services par l'autre en cas d'avarie survenue à l'une des machines. Dans ce cas, par le jeu des vannes de la bâche de distribution, on déversera dans le puisard utile la totalité du produit des sondages, et la pompe correspondante marchera pendant le temps nécessaire pour monter toutes les eaux. Il y aura alors sur les sondages une légère surcharge de $0^m,15$ à $0^m,20$, mais la diminution du débit total sera faible, et on évitera le chômage de l'un des deux établissements.

Les réservoirs militaires sont installés dans une grande enceinte close, sur la même terrasse que les réservoirs civils : la seule différence importante consiste dans le choix des matériaux adoptés, choisis dans les meilleurs bancs

du calcaire à entroques. Il en est résulté une énorme augmentation de prix de construction, et cependant nous doutons que ce système présente plus de garanties de durée que notre ouvrage en moellon revêtu de ciments.

Le service balnéaire de l'hôpital militaire est divisé en trois sections : l'une est destinée aux officiers supérieurs, la seconde est réservée aux officiers subalternes, enfin la troisième sert au traitement des sous-officiers et des soldats.

Le bain des officiers supérieurs comprend six cabinets organisés avec un certain luxe, pourvus de baignoires en marbre blanc, et d'une installation de douches assez complète. Remarquons, en passant, que les officiers supérieurs vivent en dehors de l'hôpital, dans les mêmes conditions que les baigneurs civils, et n'utilisent l'établissement que pour y prendre bains et douches.

Le bain des officiers est une grande salle dont les côtés sont occupés par vingt-trois baignoires en plomb disposées par couples. Au fond de cette pièce se trouvent sept cabinets pourvus d'appareils de douches.

Le bain des soldats est également dans une salle unique où se trouvent à la fois dix baignoires en plomb pour les sous-officiers, deux piscines et huit cabinets de douches, et enfin une étuve dans un angle, au-dessus de l'ancienne source romaine n° 1. Elle reçoit aujourd'hui sa vapeur par une petite galerie venant de la voûte du puisard militaire.

L'ensemble des installations des thermes militaires est très primitif, sauf pour le bain des officiers supérieurs qui a été récemment repris complètement. Tels qu'ils sont, les locaux actuels conviennent passablement au traitement des militaires, bien qu'on puisse leur reprocher une trop grande communauté, pénible à bien des infirmités. Une semblable disposition serait impossible dans des bains civils, et il est probable qu'en reconstruisant l'hôpital militaire, on se rapprochera davantage des formes généralement admises pour les bains publics.

Tandis que l'établissement civil voit sa clientèle augmenter chaque année, la population de l'hôpital militaire va en diminuant. Ce phénomène tient, pour le premier, à la facilité sans cesse croissante des communications, et il y a lieu de supposer que l'ouverture prochaine du chemin de fer de Bourbonne à Vitrey sera l'occasion d'une recrudescence brusque dans le nombre des baigneurs. Pour l'hôpital militaire, au contraire, la réduction de durée de présence des soldats sous les drapeaux a diminué le nombre des demandes. Il est construit pour recevoir 312 soldats ou sous-officiers et 88 officiers : cette consistance suffisait à peine autrefois pour satisfaire aux demandes, tandis qu'en 1877, le service militaire n'a eu que 288 malades à traiter à la fois, et 284 en 1878 (*) ; ce sont surtout, aujourd'hui, les corps auxiliaires, tels que la gendarmerie et les douanes, qui recrutent les thermes militaires. En comptant en moyenne 500 litres d'eau par baigneur, comme aux bains civils, il aurait suffi de 144 mètres cubes par jour en 1877, et de 142 en 1878 pour desservir complètement les bains militaires. D'après le débit de 213 mètres cubes alloué au service militaire pour le débit constaté en décembre 1875, il restait donc, en 1878, 71 mètres cubes disponibles en faveur de l'établissement civil. C'est là une ressource importante qui méritera de ne pas être négligée dans l'avenir, car nous sommes bien près probablement du moment où le produit des sondages ne suffira pas aux baigneurs civils. Nous allons jeter un rapide coup d'œil sur les moyens que l'on aura d'augmenter encore le débit en cas de besoin.

La première et la plus intéressante opération à exécuter dans ce sens, est d'améliorer le débit du sondage n° 13 au

(*)

Saison de 1877	2 séries officiers	138	575	Saison de 1878	122	567
	2 séries soldats	437			445	
Moyennes. . . .			287 ½			283 ½

moyen de la dynamite ou de tout autre détonant. C'est un travail relativement facile, très peu coûteux et dont nous attendons les résultats les plus brillants. Nous l'aurions certainement tenté tôt ou tard si nous avions gardé la direction des travaux hydrauliques de Bourbonne. Voici pourquoi nous croyons à un accroissement considérable du débit de ce sondage ainsi traité. Le forage de 1875 a rencontré d'abord une colonne naturelle de sables quartzeux et pyriteux sur 25 mètres de profondeur : à ce niveau, il a quitté le sable pour pénétrer dans les argiles bariolées en place, puis dans quelques couches sableuses à grains fins, et enfin dans les assises supérieures du grès bigarré. Le débit du sondage n'avait malheureusement pas pu être observé au fur et à mesure de l'avancement des travaux, parce que l'apport considérable des sources romaines n'en pouvait être isolé, et aussi parce que les épuisements voisins auraient affecté tous les résultats dans des proportions aussi irrégulières que considérables ; mais une fois le scellement opéré, nous avons pu constater un débit énorme, 175 mètres cubes par jour, qui prouve, à nos yeux, qu'il faut considérer le pied du sondage comme très voisin d'une des principales fissures qui amènent l'eau à travers les grès bigarrés. De plus, la cheminée sableuse que nous avons perdue se prolongeait probablement, à côté du trou de sonde, presque verticalement, mais pas assez pour que nous ayons pu la suivre pendant les 26 mètres restant à parcourir, et nous regardons cet important dépôt adventif comme l'indice probable de la principale émergence naturelle des eaux de Bourbonne : son pied doit nécessairement aboutir à la fissure la plus aquifère. Comme il n'est pas bien éloigné du trou de sonde, il suffirait de broyer le grès sur une étendue restreinte autour et au-dessous de ce point pour être certain de mettre le sondage en communication directe avec les grandes fissures aquifères. L'opération du broyage à la dynamite est très facile à faire avec les moyens

dont on disposerait aujourd'hui : le courant d'eau du sondage suffirait sans doute à enlever les sables produits par les explosions; dans tous les cas on les retirerait aisément avec une cuiller à soupape manœuvrée à la corde. Et si le sourant était une gêne pour l'introduction des cartouches, il est facile de le supprimer : il suffit pour cela de l'arrêter complètement, et le moyen est fort simple : il consiste à prolonger le tubage actuel de 6 mètres environ, car nous savons que le sondage n° 13 est alors à son maximum de charger. Un cuir emboutir placé à l'intérieur et vers la base du tuyau de rallonge, emboîté sur le bout libre du tubage, suffirait à assurer l'étanchéité et l'arrêt du courant. Un robinet latéral, vers la base, servirait à le rétablir pour l'écoulement des sables; enfin la manœuvre de la vanne et du robinet de jauge empêcherait les sables d'être jetés dans les tuyaux collecteurs. Dans tous les cas, quelque hypothèse que l'on puisse faire sur l'origine des sources, le broyage à la dynamite aurait au moins pour effet de créer une chambre d'appel au-dessous du sondage, et par conséquent d'en augmenter le débit. A ce titre, la même opération pourrait être tentée, avec certitude de succès, sur un certain nombre d'autres sondages, dont la position en dehors des bâtiments rendrait le travail plus facile.

Un autre moyen d'augmenter les ressources de la station est toujours à la disposition des services pour les besoins urgents : c'est l'ouverture du robinet de la source n° 2 installé au fond du puisard militaire, et qui peut fournir plus de 100 mètres cubes par jour en maintenant les épuisements dans cette enceinte : sans doute cette eau n'a pas absolument la même valeur que les produits des sondages, mais c'est elle, en somme, qui représente les anciennes eaux de Bourbonne, et qui en a fait jadis le succès.

De même qu'on peut faire arriver au puisard militaire une partie des sources romaines, on peut aussi en avoir au puisard civil, soit en faisant ouvrir la bonde de fond, soit

plutôt au moyen d'un percement latéral fait dans la paroi est, vers le milieu de sa largeur, à 1m,20 au-dessus du fond du puisard. Un tuyau de 0m,10 scellé dans le mur et muni d'une vanne donnerait des résultats semblables, mais plus considérables encore que le robinet du puisard militaire, sans exposer d'ailleurs à aucun affouillement, puisque le courant d'eau se produirait dans les travaux romains. Le débit de cette source a été de 400 mètres cubes pendant nos travaux : en admettant que moitié fût empruntée aux sondages, il resterait toujours un accroissement d'environ 200 mètres cubes.

Il existe encore d'autres moyens d'accroître le débit des sources, par exemple un nouvel abaissement d'émergence de 3 ou 4 mètres; mais cela mènerait à une dépense de 600.000 francs au moins. Il serait plus simple d'installer directement des moyens d'aspiration puissants, en profondeur, dans deux ou trois des meilleurs sondages, pourvus de chambres d'appel au moyen de la dynamite, ou au moins sur le n° 13, si le broyage y produisait les résultats que l'on doit en attendre.

Enfin il y aurait quelque intérêt à tenter un sondage dans un petit vallon qui débouche, en aval de Bourbonne, presque en face de la tête de l'aqueduc actuel : il semble que l'aqueduc romain avait un branchement provenant de cette direction; peut-être ce vallon renfermait-il autrefois des sources thermales, ce qui n'aurait rien d'étonnant, car il est à peu près parallèle à celui de la Borne, et on y rencontrerait, au percement, les argiles bariolées, puis le grès bigarré, comme au pied du coteau des bains qui en est à 600 mètres en ligne droite.

En résumé, on voit que l'insuffisance probable du débit des sources dans un avenir prochain pourra être combattue par des moyens dont plusieurs sont d'un effet certain et d'une exécution peu dispendieuse.

III. — EXÉCUTION DES TRAVAUX PAR LE SERVICE DES MINES.

§ 1. — Travaux préliminaires.

État de la station en 1855. — Une décision ministérielle du 15 octobre 1855 a prescrit l'intervention des ingénieurs des mines dans les questions relatives à l'aménagement des eaux minérales.

A cette époque, rien n'avait été tenté à Bourbonne, sauf ce que nous avons dit pour la fin du siècle dernier, c'est-à-dire :

1° On avait, en 1765, amélioré un peu le bain en pierre de taille, construit au moyen âge, où se montraient les eaux de la Fontaine Chaude, et couvert cette source d'un petit édifice de style grec.

2° On avait, en 1783, curé le puisard romain jusqu'à 4 mètres au-dessous du sol naturel, puis prolongé ses parois jusqu'au sol, et ajouté des fondations voûtées adjacentes audit puisard, ce qui formait un réservoir où plongeait l'aspiration d'une corde à nœuds mue par un manège. Un établissement de bains commencé, au-dessus et à côté du puisard, avait été achevé par l'État en 1812.

3° A l'hôpital militaire, en 1783, on avait retrouvé une galerie romaine, débouché les sources tubées n°s 1 et 2, et amené leurs eaux au fond d'un petit puisard en pierre de taille où se faisait l'aspiration.

4° Enfin l'État avait acheté les droits que le sieur Mayran prétendait avoir sur une source reconnue à peu de distance des établissements, et cette source avait été bouchée.

Telle était la situation en 1855. M. Drouot, alors ingénieur en chef des mines à Chaumont, eut Bourbonne dans son service, et s'en occupa activement. Il a exposé ses travaux dans une notice insérée aux *Annales des mines*, 1863, tome III.

Malgré cette publication relativement récente, nous ne pouvons nous dispenser de passer rapidement en revue les opérations exécutées par M. Drouot; mais nous ne donnerons pas tous les détails que l'on pourra, au besoin, retrouver dans la notice de 1863.

Études géologiques. — M. Drouot a commencé par étudier la contrée au point de vue géologique; cet examen est consigné tout au long au commencement de la notice précitée. Il a reconnu que les bancs solides du grès bigarré devaient passer à une quarantaine de mètres en contre-bas du pavé des bains dans la région occupée par les établissements thermaux, et que ces 40 mètres devaient être occupés entièrement par les argiles bariolées imperméables. Le niveau supérieur des argiles bariolées se trouve à la cote 263 environ dans le jardin des thermes civils, soit à 3 mètres au-dessus du pavé des bains. Aucune nappe perméable ne venant couper les argiles bariolées, M. Drouot a pensé que les eaux thermales devaient s'épanouir à la surface du grès bigarré, au contact des argiles.

Faille de la Borne. — Un heureux hasard a permis au même ingénieur de reconnaître l'existence d'une faille à peu de distance des thermes : voici l'histoire de cette découverte.

En 1856, un puits percé à 50 mètres de la rive gauche de la Borne dans la maison Lessertois, a rencontré une couche de sable absorbante à la cote 256,19. Informé de cette circonstance, M. Drouot a recherché quel pouvait être, sur la rive droite, le représentant de ce niveau aquifère, et l'a identifié aussitôt avec un banc de sable de 1 mètre d'épaisseur, qui est unique dans cette région. Ce banc forme la séparation des argiles bariolées et du muschelkalk et fournit des sources importantes le long de la rive droite. Or un nivellement spécial a fixé à 263m,31 la

cote de cette couche sur la rive droite, et, comme elle est presque horizontale, ainsi que l'ensemble des terrains, la différence de $7^m,12$ dans cet intervalle de 100 mètres environ n'était explicable que par la présence d'une faille entre les deux points observés.

L'importance de la faille étant bien inférieure à la puissance des argiles bariolées, celles-ci devaient continuer à former une zone imperméable au-dessus des grès bigarrés; dès lors la faille elle-même pouvait être considérée comme le passage choisi par l'eau minérale pour s'épancher à la surface des grès, et il ne s'agissait que d'atteindre cette nappe pour tirer des sources tout ce qu'elles pouvaient produire.

Les observations ultérieures n'ont guère permis de modifier les opinions émises par M. Drouot, sauf sur des détails accessoires qui n'ont pas assez d'importance pour changer les conséquences pratiques que l'on en a tirées.

Explorations. — Pour compléter ses études, M. Drouot a pratiqué sept forages dans le sol autour des établissements pendant l'année 1857. Nous allons les énumérer avec les résultats qu'ils ont fournis. Ces sondages préliminaires ont tous été exécutés au diamètre de $0^m,07$.

Le n° 1, placé dans le jardin des bains civils et tout près de l'établissement, a sa margelle à la cote 256,01. A la profondeur de $2^m,10$, il a rencontré un pavé ancien; immédiatement après il a pénétré dans les argiles bariolées; il a continué dans le même terrain sur 2 mètres de hauteur, et a été arrêté à la cote 228,01, soit à 28 mètres de profondeur. Dès la profondeur de 18 mètres il avait donné un peu d'eau thermale à la température de 53°, sans que le débit eût paru augmenter beaucoup avec l'approfondissement. On le reboucha avec de l'argile jusqu'à reprise ultérieure.

Le n° 2 n'a été poursuivi que sur 5 mètres de profondeur, au milieu d'éboulements qui forment la base du coteau et

qui sont fort importants dans certaines parties du jardin des bains, par suite de remaniements superficiels dus à d'anciennes constructions que ne pouvait soupçonner M. Drouot.

Le n° 3, placé dans une position analogue à celle du n° 1, et poursuivi sur $8^m,50$ de profondeur, a traversé, comme celui-ci, environ $2^m,60$ de terres rapportées; puis il a pénétré dans les argiles bariolées sans rencontrer de pavé ancien.

Le n° 4, entamé un peu plus haut sur le coteau, à la cote 263,98, a traversé des terrains peu réguliers, et s'est arrêté à la cote 244,78; au niveau 252,60, il a passé dans un banc de calcaire. M. Drouot a cru reconnaître là un banc naturel dont la présence à ce niveau devait bien le surprendre, quoique il n'en fasse pas l'observation. En effet il n'y a aucun lit calcaire dans les argiles bariolées, et celles-ci commencent à la cote 263, comme le dit M. Drouot. Il est évident que le sondage est tombé sur une des maçonneries romaines qui existent jusque dans cet emplacement, recouvertes par des éboulements considérables.

Le n° 5, placé au sud du jardin des bains, à mi-coteau, a été commencé à la cote 274,06 et poussé à $15^m,40$ de profondeur : il a traversé les bancs inférieurs du muschelkalk sur $9^m,50$ d'épaisseur. Il a rencontré ensuite le lit de sable quartzeux dont la base s'est trouvée à la cote 263,06, puis un mince banc calcaire; enfin il a pénétré de 4 mètres dans les argiles bariolées régulières.

Le n° 6 a été foré dans la cour de l'établissement civil. Commencé à la cote 265,63, il a été poussé à $32^m,68$ de profondeur. Il a traversé d'abord 7 mètres environ de terrains remaniés, composés de pierres en fragments et de sables; ceci provient évidemment de ce que le forage a été commencé sur une ancienne excavation, et peut-être dans un ancien puits, car le remaniement ne dépasse pas, en général, 4 mètres de profondeur dans les environs du point

choisi. Aussitôt après ces décombres, le sondage a rencontré les argiles bariolées et ne les a plus quittées. Il a commencé à donner de l'eau thermale vers la profondeur de 24 mètres, à une température de 64°; le débit s'accroissait au fur et à mesure de l'approfondissement. Comme on ne l'avait pas tubé, on l'a rebouché avec de l'argile jusqu'à reprise ultérieure.

Le n° 7 a été entrepris à peu de distance du puisard militaire dans la cour des officiers : il n'a trouvé que des débris remaniés et de la glaise grise jusqu'à une profondeur de 8 mètres; il a rencontré alors une couche épaisse de béton et on l'a arrêté aussitôt pour le reprendre ensuite plus tard.

Conséquence des explorations. — L'ensemble des travaux précités montre que la vallée de Borne a pour sol une certaine épaisseur de terrains rapportés reposant sur les argiles bariolées. Les sondages 1 et 6 justifient les prévisions de M. Drouot : les eaux thermales ont leur origine au-dessous des argiles bariolées ou dans les zones sableuses qui alternent avec des argiles en formant la transition entre ce terrain et les bancs de grès.

M. Drouot a tiré beaucoup d'autres conséquences de ses recherches : il croyait, notamment, que les chances de fort débit iraient en augmentant en s'éloignant du puisard romain dans la direction de l'ouest : les sondages ultérieurs ont contredit cette opinion comme nous aurons occasion de le voir.

Mais l'hypothèse justifiée d'une nappe d'eau thermale circulant vers la surface des grès bigarrés a amené M. Drouot à demander un périmètre de protection pour empêcher tout propriétaire de chercher à atteindre l'eau thermale par des sondages. M. Drouot désirait que les limites fussent assez reculées vers l'ouest, dans la direction d'où lui paraissaient provenir les eaux souterraines. Tout en accordant le périmètre par décret du 31 mai 1859, l'administration a pensé

que l'épaisseur des bancs à traverser suffisait pour protéger les sources contre les sondages, et qu'il était nécessaire seulement de se prémunir contre des fouilles peu profondes qui recueilleraient les eaux minérales superficielles extravasées, comme autrefois le puits Mayran. Le périmètre a été limité, par suite, à la surface occupée par les terrains d'alluvion ou de remaniement autour des deux établissements jusqu'à une centaine de mètres de chacun d'eux en amont et en aval.

Augmentation du débit. — En admettant une nappe d'eau minérale continue, entravée dans sa marche par diverses résistances, l'augmentation du débit ne pouvait être obtenue, suivant M. Drouot, que par l'accroissement du nombre et des diamètres des orifices offerts à son ascension; il fallait donc forer de nouveaux sondages. Ce travail a commencé pendant l'année 1858 et continué ensuite à diverses reprises jusqu'au dernier, exécuté en 1875. Nous allons passer en revue l'exécution de chaque sondage et les résultats obtenus.

Bien que le sondage n° 13 soit de beaucoup postérieur à tous les autres, et qu'il ait été exécuté au milieu des travaux d'abaissement des niveaux d'émergence, la connexité des sujets nous l'a fait placer après la description des travaux militaires, ce qui a plus d'importance que la succession précise des dates.

§ 2. — Sondages.

Sondage n° 7. — L'hôpital militaire n'ayant que des sources insignifiantes, M. Drouot crut pouvoir égaliser la situation en le dotant de quelques sondages.

On commença par rouvrir le sondage n° 7. Au mois de mai 1857, il avait été entamé seulement jusqu'au béton romain, avec des outils de $0^m,07$ de diamètre, pendant les recherches de M. Drouot. Le médecin en chef de l'hôpital

militaire, M. Cabrol, l'avait fait continuer ensuite au même diamètre pendant l'été, et était parvenu à la profondeur de 27m,90, c'est-à-dire à la cote 228m,19. Le forage n'avait rencontré que les argiles bariolées, et n'avait pas fourni d'eau jaillissante : il avait reçu un tubage en tuyaux de fer-blanc. Pendant la durée de l'été, sous l'influence probablement des épuisements destinés au service balnéaire, l'eau s'y maintenait à 3m,50 en contre-bas du sol, et des épuisements tentés à la pompe lui assignaient un débit de 40 mètres cubes à la cote 252,09, avec une température de 58°. Ce résultat avait peu d'utilité, car il était probable (et certain aujourd'hui) que le débit constaté ne représentait qu'une dérivation des sources militaires Patrice et Étuves.

Cependant, au mois de juin 1868, M. Drouot fit un nouvel essai dans ce sondage : il retira le tube, complétement détérioré, installa une caisse de sondage, et fora avec des outils de 0m,22 de diamètre. A la cote 247,16, le puits rencontra la couche de béton romain. M. Drouot ne jugea pas opportun de pousser les travaux plus loin, et se contenta de vérifier que le béton avait 2 mètres d'épaisseur, puis il boucha le trou avec de la glaise et l'abandonna. Nous ne comprenons pas quel pouvait être le but de cette reprise si facilement laissée de côté.

Mais en 1862, après l'ouverture des sondages 1, 8, 9, 10, le service du génie ayant reconnu une diminution sensible sur l'ensemble des sources militaires, l'attribua à des fuites résultant des forages 7 et 9. Il se décida à faire reprendre, tuber et sceller le n° 7 par les soins des ingénieurs des mines.

Les travaux furent commencés au mois d'octobre 1863. On installa une nouvelle caisse de sondage, ayant son orifice à la cote 256,04, et scellée dans un puits de 4 mètres de profondeur. Puis on fora au diamètre de 0m,42 jusqu'à la profondeur de 8m,88 en posant des tubes de retenue en

tôle. A ce niveau, cote 247m,17, on retrouva le béton romain. On l'entama avec les outils de 0m,225 de diamètre, et on poussa le sondage jusqu'à la profondeur de 28m,13 comme en 1857 : le trou traversait d'abord les 2 mètres de béton, puis des argiles bariolées assez résistantes, parfois mélangées de sable, parfois un peu solidifiées et à texture schisteuse. La température au fond du trou de sonde s'élevait à 53°.

Le forage fut tubé au moyen d'une colonne en bois formée de cylindres en chêne de 0m,20 de diamètre extérieur percés suivant leur axe d'un trou de 0m,10. Chacun de ces cylindres avait une longueur de 3 mètres environ. Ils furent réunis par des entailles à mi-bois et fixés ensemble à chaque joint, par dix vis en bois disposées en quinconces. Des frettes en fer empêchaient les tuyaux de se fendre pendant les efforts de l'assemblage. La longueur totale de la colonne était de 27m,65.

Les deux cylindres inférieurs furent percés de trous longitudinaux de 0m,15 de long sur 0m,015 de large, au nombre de cent quatre-vingts, disposés en quinconces suivant six lignes verticales : ils forment la lanterne.

Trois cornets de scellements furent fixés le long de la colonne pour empêcher le ciment d'obstruer la lanterne : deux sont en cuir et le troisième en tôle mince. C'étaient des collerettes de forme tronconique, la petite base en bas, clouées autour du tuyau, et divisées par des génératrices en feuillets qui se recouvrent les uns les autres. Placés vers le milieu de la hauteur de la colonne des tubes, ils séparent ainsi en deux l'espace laissé libre par l'excès de diamètre du forage. La partie inférieure restant vide, la partie supérieure fut remplie d'un mortier de ciment formant le scellement demandé. La dépense de cet ensemble de travaux s'est élevée à 3.500 francs environ.

Résultats. — Des expériences, faites en 1863 par M. le garde-mines Delaissement, semblaient accuser une augmen-

tation de 6 mètres cubes pour le trop-plein au puisard militaire, lorsque le forage fut arrivé à fond, sans aucune communication directe entre le forage et le puisard. On attribuait cet accroissement à des eaux provenant de la profondeur, se répandant dans le terrain d'alluvion, et se dirigeant par là au puisard militaire : et c'est pour recueillir ces eaux que l'on avait laissé une lanterne au bout du tubage. L'excès de 6 mètres cubes observé ayant disparu après le scellement, M. Delaissement en concluait, à l'appui de la manière de voir ci-dessus indiquée, que ce nouvel effet provenait de la fermeture par le ciment, de toute communication entre les eaux affluant à la lanterne, et les terrains d'alluvion. Il pensait qu'il y avait lieu de réunir par un tuyau le tubage du n° 7 au puisard afin de recueillir le débit provenant du sondage.

En l'absence de tout document contradictoire, et en tenant compte de l'expérience précitée, nous pensions que le sondage n° 7 fournirait au moins un peu d'eau lors de l'abaissement général des niveaux d'émergence. Il était possible que les feuillets sableux signalés pendant le sondage amenassent un filet d'eau thermale, ainsi que cela s'est présenté pour les sondages 1 et 9. Mais dans les terrains de Bourbonne on est habitué à quelques surprises.

Ici la surprise a été de trouver les faits en parfaite contradiction avec les données ci-dessus rapportées. Le sondage n° 7 ne donne rien, pas plus à la cote 252 qu'au niveau du sol. Les six mètres de M. Delaissement sont une erreur, et si le sondage ne donnait pas d'eau jaillissante, c'est qu'il puisait dans les alluvions les eaux que l'on rencontrait, au lieu de les fournir à ces alluvions.

Cette fausse observation nous a fait construire, en 1875, une tête de sondage, 7 mètres de galeries souterraines et 7 mètres de conduites : dépense de 1.400 francs environ qui n'aura jamais aucune utilité, à moins toutefois que l'on ne se décide à reprendre le forage n° 7 et à le pousser

à 40 mètres de profondeur, opération qui serait assez facile et probablement avantageuse. Jusque-là le sondage 7 ne donnera absolument rien, preuve que son scellement est parfaitement étanche.

Sondage n° 8. — Lorsque M. Drouot abandonna le n° 7, il ouvrit le n° 8, à moins de 11 mètres de distance au nord-est du précédent. La caisse de sondage fut installée dans les argiles rapportées, et un premier forage fut exécuté avec des outils de $0^m,07$ de diamètre jusqu'à la profondeur de $31^m,66$, cote 223,98. L'eau s'éleva rapidement alors dans le trou de sonde avec une température de 55°. Des essais avec les pompes semblèrent fournir de bons résultats, et l'on recommença le forage avec des outils de $0^m,26$ de diamètre.

Jusqu'à la profondeur de $8^m,50$, cote 247,16, le forage rencontra des argiles rapportées. Puis il traversa le béton romain sur $1^m,87$ d'épaisseur. Au-dessous du béton, on trouva un peu de gravier calcaire, représentant les alluvions anciennes, puis on pénétra franchement dans les argiles bariolés. Elles commencèrent à devenir un peu sableuses vers le niveau de la cote 224, et se mélangèrent de bancs schisteux et grèseux vers la cote 223. Le sondage fut poursuivi pendant 9 mètres encore dans des lits peu épais alternativement composés de marnes et de grès marneux, et finit à la cote 214 sur le grès bigarré, dans un petit banc de sable fin.

Le trou de sonde fut tubé avec des cylindres de bois identiques à ceux indiqués ci-dessus pour le n° 7, mais frettés de rondelles de cuivre de 5 millimètres d'épaisseur. Les deux tuyaux inférieurs furent percés de cent vingt-quatre ouvertures circulaires de $0^m,025$ de diamètre pour former la lanterne.

Une fois le tubage achevé, on essaya le débit à la pompe, et on ne trouva qu'un résultat insignifiant, qui n'atteignait pas 6 mètres cubes par jour à la cote 252. On crut encore

reconnaître un mouvement d'eau souterrain comme celui que nous avons cité pour le n° 7, et à titre aussi peu justifié.

Aucune expérience n'avait été faite pour jauger le sondage avant le tubage : mais on avait quelques données fournies par les observations du débit du trop-plein du puisard militaire. Celui-ci s'élevait à 10 litres en 17 secondes, soit 50^{mc},80 par jour, avant le commencement des travaux de forage. Lors de la venue d'eau constatée à la profondeur de 31^{m},66, le trop-plein du puisard ne mit plus que 11 secondes à remplir le seau de 10 litres, ce qui fixait le débit à 78^{mc},50 : augmentation 40 mètres cubes. Aucun accroissement ne fut signalé jusqu'à la profondeur de 41 mètres, puis, à la fin du forage, on trouva 91 mètres cubes, ce qui semblait indiquer une nouvelle venue de 12 à 13 mètres cubes, supérieure encore au débit fourni quelques jours plus tard par le tubage définitif, qui fit retomber aussitôt le débit du puisard au chiffre primitif.

Il résulte de ces données que les lanternes étaient mal placées : il aurait fallu augmenter les ouvertures tout à fait à la base, et en créer d'autres aux environs de la profondeur de 32 mètres. M. Drouot voulut faire cette opération, mais il dut y renoncer faute de fonds. Il se contenta de retirer la colonne des tubes jusqu'à ce que la base ne fut plus qu'à une profondeur de 26^{m},81, enleva la partie supérieure et les tubes de retenue, enfin scella le tubage en coulant du béton dans le vide de la partie supérieure jusqu'au béton romain.

Résultats. — Aussitôt après le relevage de la colonne, on remarqua que la partie inférieure du trou de sonde s'était refermée, et que les argiles étaient remontées de 2 mètres dans la colonne de tubage. On cura cette portion, et l'on constata peu après une augmentation de 18 mètres cubes sur le produit des sources militaires, par comparaison avec une expérience semblable faite avant le relèvement du tubage. C'est là tout ce qu'on avait conservé des 40 mètres fournis par le forage lorsqu'il était libre. Il est évident que l'on a fait ainsi une déplorable opération, d'abord en ne reperçant pas la colonne pour la faire redescendre ensuite, ce qui aurait conservé le vide obtenu primitivement. Ensuite, voulant remonter la lanterne au niveau de plus grande émergence, on l'a soulevée au moins de 6 à 8 mètres trop haut, et l'on a perdu une bonne partie de ses communications avec la couche aquifère.

Pour réparer ce sondage, il faudrait y introduire un tuyau de cuivre de 0^{m},09 de diamètre extérieur et de 12 mètres de longueur, après l'avoir percé de trous sur presque toute son étendue, sauf au milieu si l'on veut ; puis chasser ce tuyau jusqu'à la surface des bancs solides de grès bigarré, enfin le nettoyer à la sonde. La dépense serait faible, et l'on pourrait en attendre 20 ou 30 mètres cubes par jour.

Les dépenses d'établissement du sondage n° 8 se sont élevées en tout à 4.000 francs, savoir :

	francs.
Réparation, entretien et réfection d'outils et engins. . . .	1.260
Main-d'œuvre pour le forage.	1.500
Tubage en bois de chêne pour 35 mètres de long.	540
Frais de surveillance et divers.	700
Total.	4.000

A la cote 252,06, son débit est maintenant de 34^{mc},600, d'après le jaugeage du 15 décembre 1876 : la température correspondante est de 41° et la salure de 7^{g},40.

Sondage n° 9. — Ce forage est situé en dehors de l'enceinte de l'hôpital militaire, sur la place des Bains, vers l'entrée de la rue de l'Hôpital. Il a été entrepris par le service du génie pendant l'automne de 1859.

Le trou, foré avec des outils de 0^{m},225 de diamètre, a traversé d'abord 5 mètres de terrains remaniés : puis il est entré dans les argiles bariolées sans rencontrer la couche de béton romain découverte aux sondages 7 et 8. Le tra-

vail, relativement facile, s'est continué sans accident jusqu'à la profondeur de 35m,46 où il s'est arrêté sur de petits bancs de grès, à la cote 219,86. L'eau qui avait commencé à se montrer dès les premiers mètres, vers 5 à 6 mètres de profondeur, ne s'accrut pas pendant la suite de l'approfondissement. Vers 20 mètres de profondeur parut se produire une nouvelle venue d'eau minérale, mais en petite quantité. Ce n'est qu'à 30 mètres que les eaux devinrent jaillissantes, et elles subirent une brusque augmentation lorsqu'on parvint à la profondeur de 34m,15, cote 221,20.

Comme dans tous les forages, le premier débit constaté dépassa de beaucoup les résultats des jours suivants. On trouva d'abord 172 mètres cubes par jour, puis 80, puis 40, et cela avec des variations importantes dans les intervalles de ces mesures. L'influence du nouvel orifice se fit sentir immédiatement sur toutes les autres sources, dont les débits diminuèrent du quart environ les premiers jours.

Le tubage du trou de sonde fut fait au moyen de tuyaux de chêne de 0m,20 de diamètre extérieur percés d'un trou de 0m,10 de diamètre. On eut la précaution de donner à la lanterne une grande longueur comprenant 5 tuyaux formant une colonne de 8m,23 de hauteur. Tous les joints furent faits à emboîtements réunis par des viroles de cuivre rouge ayant 0m,22 de hauteur et 0m,004 d'épaisseur, clouées sur les tubes avec des clous en cuivre. Mais la colonne des tubes ne put être enfoncée que jusqu'à la cote 222,14 : le reste du trou était déjà obstrué par des éboulements pierreux probablement, bien qu'on n'eut pas attendu quinze jours pour procéder au tubage. Cet accident avait pour résultat fâcheux de laisser la base des tuyaux à 1m,06 au-dessus du niveau où s'était produit le principal accroissement du débit. Il est vrai que l'on pouvait espérer que le remplissage délayé serait peu à peu entraîné et laisserait une chambre d'amenée des eaux. C'est ce qui paraît en effet s'être produit, car le sondage n° 9 a fourni de bons résultats.

Cependant, en ne retrouvant pas le débit primitif, les officiers du génie, et avec eux les ingénieurs des mines, pensèrent plus tard qu'une partie des eaux suivait l'extérieur des tubes et venait se perdre dans les alluvions. Ils jugèrent nécessaire d'effectuer un nouveau travail pour remplir de béton l'espace laissé libre, et le service des mines fut chargé de l'opération à la fin de l'année 1862.

On installa une nouvelle caisse de sondage, on retira toute la colonne de tuyaux ; puis on remplit le trou avec de la glaise pour éviter les éboulements. On reprit le trou au diamètre de 0m,42 jusqu'à une profondeur de 45m,40. On le continua ensuite avec les outils de 0m,225 jusqu'au niveau de 35m,66 précédemment atteint, puis on essaya d'aller un peu plus loin avec les trépans de 0m,15 puis de 0m,07. Mais on rencontra de petits bancs de grès très durs, et l'on s'arrêta à 35m,85.

Aussitôt après la fin de ce forage, la colonne de tuyaux fut redescendue dans le trou jusqu'au même niveau que précédemment, c'est-à-dire à la cote 222,14, sans qu'il y eût aucune raison pour ne pas la prolonger de 2m,77 et aller jusqu'au fond du trou de sonde. Le tubage fut percé sur 15m,12 de longueur à la base, au lieu de 8m,23. De plus on augmenta le nombre des trous de l'ancienne lanterne. Celle-ci comprenait 231 trous de 0m,10 de long sur 0m,012 de large : on y ajouta 693 trous circulaires de 0m,020 de diamètre, puis 744 trous semblables sur les deux tuyaux suivants. En comprenant dans le total la surface du trou du tuyau, la surface d'orifice de la lanterne s'élève à 0mq,74.

Sur le sixième tuyau, on installa un cornet en cuir de forme tronconique, découpé en six feuillets qui se recouvraient, pour retenir le ciment du scellement. Après la descente du tout, on introduisit d'abord un peu de glaise battue à la sonde, sur 0m,60 de hauteur environ, puis un mortier de ciment fut versé entre la colonne et les parois

du trou. Enfin on construisit une tête de sondage à la partie supérieure.

Une tranchée, creusée lors des travaux de 1860 pour réunir le sondage au puisard militaire, fut employée de nouveau de la même manière. On se contenta d'y replacer les cinq tuyaux primitifs débouchant à 0,28 au-dessus du radier du puisard, à la cote 252,14. Ces conduites ont naturellement disparu en 1875 lors de l'aménagement général, pour être remplacées par une prise d'eau faite à peu près au même niveau.

Résultats. — Au moment du tubage de 1860, le débit s'éleva un instant au chiffre de 576 mètres cubes (?), puis il subit de fortes variations, accompagnées de dégagements gazeux très abondants. La température, trouvée de 61° au fond du forage, se réduisit à 48° et 47°, pour se relever à 50° 1/2.

Lors de la reprise de 1862, on fit quelques expériences sur le débit de cette source, par deux procédés différents.

D'abord, on constata que le débit du trop-plein des sources militaires variait autour de 19 mètres cubes en moyenne peu de temps avant la reprise du sondage, tandis que trois mois plus tard il s'éleva à 33 mètres cubes : on constatait donc une augmentation de 14 mètres cubes, sans qu'il y eût eu changement sensible pour les sources civiles; et l'on attribua la différence à l'amélioration du scellement. Il nous paraît plus que douteux que ce travail ait pu changer ainsi le débit total, et nous sommes plus disposé à admettre que la différence tient tout simplement à ce que les premières expériences avaient été faites au mois de décembre et les secondes en mars. A cette dernière époque, l'eau qui remplit les alluvions s'opposait aux pertes par infiltrations et suffisait à créer le surcroît du trop-plein.

Mais une expérience directe semble plus concluante et a l'avantage de fixer le débit du sondage, en 1862, à la cote 252,14. Après avoir vidé le puisard militaire, on trouva un

débit de 32 mètres cubes pour les conduites arrivant du sondage 9. La température, mesurée dans un seau, était de 36° : l'expérience était faite en décembre, avant les travaux. Au mois de mars suivant, en opérant dans les mêmes conditions, on trouva 65 mètres cubes et 41°.

Aujourd'hui, tous les travaux terminés, le jaugeage du sondage n° 9, effectué le 15 décembre 1876, nous a donné 28,8 mètres cubes, à la température de 45°. Ce chiffre doit être considéré comme constant, sauf les variations que produisent les saisons pour toutes nos sources.

Sondage n° 1. — Ce travail fut entrepris, au commencement de 1859, sur le trou de sonde d'exploration n° 1 placé dans le jardin des bains civils. Celui-ci, profond de 28 mètres, avait été rempli de glaise pour éviter les éboulements. On le reprit avec les outils de $0^m,26$ jusqu'à une profondeur de 16 mètres pour y placer des tuyaux de retenue en tôle au milieu des terrains éboulés, puis on le continua avec les outils de $0^m,225$.

L'orifice du trou est à $0^m,58$ au-dessus du niveau du pavé des bains, cote 255,94, qui nous sert généralement de repère. Au-dessous de cette altitude, on trouva d'abord des terres remaniées, puis un dallage en grès à $1^m,92$ seulement. On entra ensuite dans un terrain argileux, assez éboulé, jusqu'à 16 mètres de profondeur. Une première venue d'eau se produisit à ce niveau, c'est-à-dire à 2 mètres environ au-dessus du point où la nappe aquifère avait été rencontrée en 1857, par suite du bouchage incomplet du trou laissé par ces travaux. La quantité d'eau ne fut d'abord que de 8 mètres cubes; à 18 mètres de profondeur, elle s'éleva rapidement à près de 40 mètres cubes, pour aller ensuite en croissant régulièrement, au fur et à mesure de l'approfondissement, jusqu'à la profondeur de 31 mètres. Le débit vérifié à ce niveau s'élevait à 86 mètres cubes. Il subit alors un brusque accroissement qui le porta à 144 mètres cubes. Le forage fut encore con-

tinué jusqu'à 42 mètres de profondeur avec les mêmes outils, puis à 43m,40 avec la sonde de 0m,07, mais sans grand accroissement de la venue d'eau, au moins en apparence. On s'arrêta sur les bancs solides du grès bigarré.

L'examen des terrains traversés n'a pas montré les argiles bariolées aussi nettement imperméables que dans les autres sondages. A partir de la profondeur de 18 mètres, elles se mélangeaient de plus en plus de particules solides, et à 31 mètres de profondeur elles présentaient un banc graveleux. Ces phénomènes ne sont pas sans une lointaine analogie avec ceux que présenta plus tard le n° 13, et peut-être sont-ils dus à la même cause, moins développée toutefois.

Le tubage a été fait avec une colonne formée de tuyaux en bois de chêne de 0m,20 de diamètre extérieur et de 3 mètres de longueur moyenne, au nombre de quatorze. Ces tuyaux étaient percés, suivant leur axe, d'un trou de 0m,10 de diamètre et réunis ensemble par des emboîtements recouverts de larges viroles en cuivre rouge, clouées au moyen de pointes en cuivre. Les tuyaux ne sont descendus dans le puisard qu'à la profondeur de 41m,90; il est cependant probable qu'ils sont au fond du trou de 0m,225 et que la différence avec les 42 mètres comptés sur les tiges de sonde tient seulement à une erreur de mesurage.

La partie inférieure du tubage sert de lanterne sur 25m,04 : elle est munie à cet effet de trous longs de 0m,15 sur 0m,015 et de trous circulaires de 0m,025. La colonne est pourvue, immédiatement au-dessus de la lanterne, d'une double collerette en cuir fort, clouée sur les tuyaux, destinée à retenir le ciment. Celui-ci a été versé dans le vide restant autour des tubes, après extraction de la colonne de retenue en tôle.

Résultats. — Le débit de 144 mètres cubes s'est presque maintenu après le tubage, grâce au grand nombre des ouvertures de la lanterne. On a trouvé 138 mètres cubes le

premier jour, puis 123 mètres quelques mois après. Le débit s'abaissa à 110 mètres après le forage du n° 10. Les autres sondages contribuèrent à leur tour à diminuer le volume d'eau fourni, qui se réduisait à 18 mètres cubes en 1867. Aujourd'hui, après l'abaissement général, l'eau ne parvient plus au niveau du sol, et nous ignorons ce que fournira le n° 1 à la cote générale 252. Mais nous en espérons 80 mètres cubes. Il sera fort intéressant de savoir quel effet son ouverture produira sur le régime des autres sources.

Sondage n° 10. — On a exécuté ce travail dans la cour des bains civils, à 13 mètres au sud-est du puisard romain, à la fin de l'année 1861. Son orifice est situé à environ 0m,30 en contre-bas du pavé de l'établissement, niveau dont nous ferons néanmoins partir les profondeurs, suivant nos habitudes.

La caisse de sondage fut installée dans les terrains remaniés au-dessus d'un ancien pavé romain placé à 4m,68 de profondeur, puis le forage commença par traverser cette construction. Elle avait une épaisseur de 0m,75 et se composait de calcaire réuni avec un mortier hydraulique. Aussitôt après ce passage, la sonde pénétra dans les marnes bariolées, tout à fait imperméables. Aussi l'eau et les gaz n'apparurent-ils qu'à 16m,38 de profondeur; mais le débit fut aussitôt important et s'éleva à 48 mètres cubes, à 0m,50 plus bas. Il se maintint fixe jusqu'à la profondeur de 26m,40, où il subit un accroissement presque égal dans un banc mélangé de graviers, et monta à 86 mètres environ. L'approfondissement ne donna ensuite rien de nouveau jusque vers 28 mètres, puis on obtint un chiffre de 144 mètres cubes. Ce changement brusque paraît être dû à une amélioration du scellement de la caisse de sondage plutôt qu'à la rencontre d'une nappe d'eau importante, et il est probable que le débit s'est accru assez régulièrement depuis le niveau de 16 mètres jusque vers 24 mètres.

Depuis ce moment jusqu'à 39 mètres, il continua à arriver 144 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures. Enfin, à partir de ce point jusqu'à la fin du sondage, il y eut une nouvelle augmentation qui porta le débit à 235 mètres cubes.

Le forage au diamètre de $0^m,225$ fut arrêté à $44^m,66$, cote 211,31, vers la surface du banc de grès dur. On le continua encore de 1 mètre avec le trépan de $0^m,07$, mais sans sortir de cette roche. Les travaux du forage avaient duré du 20 octobre 1861 au 3 mai 1862.

Le fort débit du sondage n° 10 rendait nécessaire un tubage soigné et de grand diamètre. On résolut de l'exécuter avec des tuyaux en cuivre rouge de 5 mètres de longueur chacun, étirés sans soudure. Leur diamètre intérieur fut fixé à $0^m,190$ et leur épaisseur à 5 millimètres. Les joints des tuyaux furent faits au moyen de viroles de $0^m,20$ de hauteur, posées extérieurement et fixées sur les tubes chacune par 32 vis en cuivre.

On perça dans le tuyau inférieur 810 trous circulaires, de $0^m,02$ de diamètre, pour recevoir l'eau provenant de l'étage aquifère correspondant; les tuyaux suivants reçurent 1.240 ouvertures semblables montant jusqu'à la profondeur de 16 mètres; enfin la partie supérieure resta pleine, car on n'avait pas rencontré d'eau dans cette partie du sol. Un large cornet en cuivre, formé de feuilles se recouvrant les unes les autres, fut fixé au-dessus de la lanterne, et le tubage fut mis en place. L'espace laissé vide au-dessus du cornet fut rempli de béton de ciment au fur et à mesure du soulèvement de la colonne de retenue provisoire.

Résultats. — Avant le tubage, le débit continua à s'accroître naturellement, sans doute par suite du délayage de l'argile qui obstruait une partie des couches perméables. Il s'éleva à 288 mètres cubes le 17 mai 1862 et se maintint vers 215 mètres jusqu'au moment du tubage. Plus tard, il redescendit à 196 mètres cubes. L'exécution du n° 11 le

réduisit à 172 mètres cubes; celle du n° 12, à 144 mètres environ.

Aujourd'hui, après l'abaissement général, il donne à la cote 252 une quantité de $123^{mc},4$.

Le tubage en cuivre s'est d'ailleurs parfaitement conservé depuis quinze ans, contrairement aux craintes souvent formulées contre la durée de ce métal dans les eaux de Bourbonne.

L'ouverture du n° 10 a provoqué une réduction sensible du produit des autres sources. Des expériences très nettes ne peuvent laisser aucun doute à cet égard. En effet, en 1861, la quantité d'eau fournie par les jaugeages, et rapportée aux vingt-quatre heures, était de :

Sources civiles. . .	172	Ensemble.		mètres cub. 350
Sources militaires.	178			

En 1862, en opérant exactement dans les mêmes conditions, on trouvait

Sources civiles. . .	285	Sondage n° 10. .	216	Ensemble. 420
		Autres sources.	69	
Sources militaires.	135	. . . . .	135	

Ces chiffres sont comparables, mais il ne faudrait pas en conclure que sur les 216 mètres cubes du sondage n° 10, il n'y en avait que 70 réellement gagnés, les 146 autres se trouvant empruntés aux autres sources. Pour éclaircir ce point, il faut remarquer que les mesures étaient prises un matin, et le débit obtenu rapporté aux 24 heures. Comme il y avait eu auparavant interruption de marche pendant toute la nuit, on obtenait des chiffres beaucoup trop forts. On ne peut donc tirer aucun résultat numérique des données ainsi obtenues, mais simplement des conclusions générales sur l'influence réciproque des forages.

Ces explications étaient d'autant plus nécessaires que M. Drouot ne les donne pas dans sa notice. Des tableaux qu'il reproduit, on induirait à tort que les établissements

de Bourbonne disposaient de 420 mètres cubes d'eau par 24 heures en 1862, tandis qu'ils n'en avaient pas 250. En étudiant comment se sont faits les jaugeages à Bourbonne, on s'aperçoit qu'ils exposaient à bien des erreurs, sitôt que l'on voulait en tirer des résultats précis. De bons jaugeages ne peuvent être opérés qu'en régime constant ; on ne pouvait obtenir cette condition que par la mesure des trop-pleins des sources et des puisards. Mais alors on obtenait des chiffres faibles par suite des pertes souterraines, et variables avec le temps, par suite des infiltrations. Même dans les grands jaugeages par épuisement, le régime permanent n'a certainement pas été atteint. Aujourd'hui, il serait facile de faire de bons jaugeages, mais ils n'auront plus guère d'importance qu'au point de vue théorique, car il est douteux que l'on recommence prochainement de nouveaux travaux.

Sondage n° 6. — Le forage n° 6, exécuté en 1857 jusqu'à la profondeur de 33 mètres, fut soupçonné de donner lieu à des pertes d'eau thermale. Les ingénieurs, comme les officiers du génie, supposaient qu'un trou incomplètement bouché, donnant de l'eau thermale, l'amenait dans les alluvions et déprimait la puissance des autres sources en répandant son produit en pure perte. Ils ne remarquaient pas que les alluvions sont profondément drainées par les puisards où plongent les aspirateurs des pompes. Ils avaient pourtant une preuve de ce fait dans la perte considérable que subissaient les puisards quand on les laissait se remplir ; les trop-pleins ne donnaient pas les tiers du produit des sources, ce qui établissait la directe communication desdits puisards avec les alluvions perméables. Au puisard civil, dont le fond fait partie de ces alluvions, les pompes n'auraient pas manqué de recueillir toutes les eaux vagues ; elles absorbaient bien l'eau douce ambiante. D'ailleurs les argiles bariolées suffisent à elles seules à reboucher à peu près hermétiquement les trous de sonde après un temps assez court.

Toujours est-il que, partant de cette idée inexacte, on voulut faire au sondage n° 6 ce qu'on a fait au n° 4, c'est-à-dire le reprendre et le tuber pour éviter les pertes d'eau.

On ouvrit donc le sondage, et on l'élargit d'abord avec des outils de $0^m,450$, sur 15 mètres de hauteur, en protégeant le travail par un tubage de retenue, puis on poussa au diamètre de $0^m,225$ jusqu'à 24 mètres de profondeur seulement, au lieu de descendre à 33 mètres comme en 1857. On établit alors dans le trou une colonne de tuyaux en chêne, divisée en sections de 3 mètres chacune, réunies à emboîtement par des vis en bois de chêne. Le bas de la colonne arriva à $23^m,83$ au-dessous du niveau de repère.

Les deux premiers tuyaux furent percés de trous de $0^m,015$ de large, au nombre de 180. Le bas du troisième tuyau fut garni d'une collerette en cuir pour former la base du scellement. On la couvrit d'abord de glaise, puis on versa du béton de ciment dans tout le vide restant, en relevant la colonne de retenue au fur et à mesure du remplissage.

Enfin on construisit autour de l'orifice un puits de $0^m,60$ de diamètre intérieur, à parois de briques et ciment, et l'on mit le sondage en communication avec le puisard civil par un tuyau en terre.

Résultats. — Deux années après la fin de ce travail, on crut reconnaître que le sondage produisait une mauvaise odeur, et, comme son débit était faible, on se décida à le boucher complètement avec de la glaise. On voit aujourd'hui suinter des bulles de gaz entre le tubage et la glaise, mais on ne sait ce que pourrait produire le sondage, nettoyé et abaissé au niveau général d'émergence. Il fournirait sans doute un accroissement de 25 ou 30 mètres cubes en le tubant à fond. Quant à sa mauvaise odeur, il est probable qu'elle ne tarderait pas à disparaître complètement. Elle est due sans doute au lavage de quelques dépôts anciens de matières organiques : il suffirait de laisser couler les

eaux en pure perte pendant un an ou deux pour supprimer ces mauvaises qualités. Avec le niveau actuel d'abaissement, on serait au-dessous de ces sources d'eaux impures et il serait assez facile de les éviter grâce au drainage des terrains par les galeries des sources.

Sondage n° 11. — A la suite d'une conférence entre le service des mines et celui du génie, et dans le but d'augmenter la quantité d'eaux disponibles, le ministère des travaux publics décida la création du sondage n° 11, sur la place des Bains. En s'appuyant sur les théories de M. Drouot, on voulait essayer l'effet d'un forage placé à l'ouest qu'amène des sources antérieures, et on détermina sa position en le plaçant à 26m,05 de l'angle nord-ouest de l'établissement civil, sur une parallèle à l'axe de la vallée de la Borne menée par le puisard romain. On pensait aussi se trouver à peu de distance de l'ancienne source Mayran, indiquée sur le plan de Lebrun, et bouchée après acquisition par l'État.

Les travaux durent être interrompus pendant un temps assez long, par suite de l'opposition qu'y faisait le sieur Péchiné-Morlot, propriétaire d'une maison placée à 6 mètres au sud-ouest. Cette personne prétendait que les coups de sonde et de mouton ébranlaient sa construction et la mettaient en péril. Une expertise fut ordonnée et les travaux, interrompus presque au commencement du forage, purent être repris peu après par décision ministérielle.

Une autre réclamation, émanant d'un sieur Houzelot, logeur, faillit encore retarder le sondage. Cette personne prétendait que le voisinage des travaux lui faisait perdre sa clientèle, et réclamait des dommages-intérêts. Sa prétention fut réduite à néant ainsi que celle du sieur Péchiné, après les constatations opérées par M. l'ingénieur des mines Duporcq, chargé de ces travaux.

Le travail commença le 28 novembre 1863, par la création de la caisse de sondage : le sol, situé à 0m,47 au-dessous du niveau de repère, fut entaillé en forme de puits carré de 2 mètres de côté et 4 mètres de profondeur, boisé en madriers de sapin avec cadres de chêne.

Dans cette cavité, on installa au centre, le 9 décembre, un prisme vertical à section carrée, formé de planches de sapin de 0m,03 d'épaisseur, et de 3m,97 de longueur, renforcé intérieurement par des pièces triangulaires remplissant les angles, et, à l'extérieur, par trois cadres en bois et une frette en fer. Le prisme avait 0m,52 de côté à l'intérieur : sa base était appuyée sur un grand cadre en chêne placé à la profondeur 4m,44 (au-dessous du repère). Un garni en glaise, remplissant le vide du puits, servit à en assurer l'étanchéité, et une conduite fut ménagée vers l'orifice pour déverser les eaux dans un égout et pour pouvoir jauger les débits.

L'installation de l'engin fut terminée le 22 décembre 1863, époque où se produisit l'opposition Péchiné-Morlot. Le travail fut repris du 11 février 1864 au 26 du même mois, puis du 7 mars au 8 juin. La durée totale du forage avait donc été de 132 jours, en comprenant dans ce chiffre les travaux préparatoires, mais en déduisant les interruptions forcées.

L'ouverture du puits d'orifice avait fait rencontrer seulement des terrains remaniés formés de débris de vieilles constructions, et des vases argileuses noires. On avait trouvé un tuyau de conduite en bois, posé horizontalement, un tronc d'aulne, des débris de moellons, de tuiles et de tuf, et un fragment de corne pétrifiée.

Au-dessous de la profondeur de 4m,44, on commença le forage au diamètre de 0m,435, avec élargissement, en posant des tubes de retenue en tôle de 0m,45 de diamètre sur 19 mètres de hauteur, puis on continua avec le trépan de 0m,225 sans colonne de retenue, jusqu'à la profondeur de 46m,49 à laquelle le travail fut définitivement arrêté.

Le commencement du forage traversa d'abord, sur 1m,56

d'épaisseur, un terrain ainsi défini par M. le garde-mines Delaissement. « Remblai formé de grès d'abord, puis de muschelkalk très dur et quelques parcelles de tuileaux ». Nous savons maintenant que cette définition représente le pavé du temple romain, composé d'abord d'un fort dallage de grès, puis d'une assise de petites briques sur champ et de béton, enfin d'une maçonnerie épaisse et d'un drainage formé de morceaux de muschelkalk : le tout posé sur pilotis.

Au-dessous des constructions romaines, le sondage a rencontré des marnes bariolées très imperméables devenant de plus en plus sableuses avec la profondeur, et dont une collection complète a été recueillie pendant les travaux. Ces marnes renfermaient un banc de grès de $0^m,65$ d'épaisseur au-dessous de $41^m,06$ de profondeur, puis elles se sont représentées sur $2^m,55$; enfin on est entré dans le grès tendre pour n'en plus sortir.

Le tableau des terrains rencontrés est donc le suivant :

	HAUTEUR partielle. mèt.	HAUTEUR totale. mèt.
Terrains remaniés et débris de constructions.	4,44	4,44
Constructions romaines.	1,56	6,00
Marnes bariolées de plus en plus sableuses à partir de 9 à 10 mètres de profondeur. . . .	35,06	41,06
Grès brunâtre tendre.	0,65	41,71
Marnes mélangées de petits bancs de schistes et de grès.	2,55	44,16
Grès brunâtre, jaunâtre et blanc	2,23	46,49

Températures. — Les températures des carottes retirées du sondage avaient été prises au fur et à mesure de leur extraction : elles représentent plutôt la température de l'eau débitée par le forage, que celle des terres elles-mêmes. L'accroissement a été constant jusqu'à 33 mètres de profondeur : il semble qu'il y ait eu ensuite un notable abaissement, mais ce fait, s'il est réel, nous paraît inexplicable, d'autant que les thermomètres à maxima descendus

dans le trou se sont maintenus constamment aux environs de 64° à partir de cette profondeur. Voici le tableau des températures des carottes, mises en regard avec la profondeur de leur situation, avec les débits rapportés à 24 heures, enfin avec les températures de l'eau écoulée et du fond du sondage.

PROFONDEURS au-dessous de la cote 255,91.	DÉBIT du forage.	TEMPÉRATURES des carottes.	du fond du trou.	de l'eau écoulée.
9,30	0	26	»	»
12,20	0	33	»	»
14,40	0	37	»	»
16,30	0	40	»	»
17,60	0	43	»	»
20,00	0	45	»	»
21,40	0	51	»	»
23,30	0	53 1/2	»	»
25,40	0	56 1/2	»	»
26,70	0	58	»	»
28,70	0	60	»	»
29,40	0	61 1/2	»	»
31,40	0	63 1/2	»	»
32,00	4	»	»	28
32,40	7	64 1/4	»	49 1/2
32,90	12,3	65 1/2	»	51 1/2
33,40	13,3	»	»	54
33,90	17,3	»	»	55
36,40	20,6	»	»	58 1/2
36,90	»	64 1/2	»	»
39,80	»	»	65	»
40,30	21,6	»	»	60
40,85	22,2	»	»	»
41,00	»	»	64 1/4	»
41,30	24,7	»	»	»
42,20	26,2	»	»	60 1/2
42,60	»	»	64 1/2	»
43,90	27	»	»	61
43,90	»	63 1/2	»	»
44,00	»	»	»	»
44,40	27,6	»	»	»
44,65	29,8	»	»	61 1/2
44,70	33,9	»	»	»
44,90	34,6	»	»	62
45,30	54	»	»	»
45,50	57,6	»	»	62 1/2
45,60	66,5	»	»	»
45,70	72	»	»	»
46,00	75,1	»	64 1/4	»
46,49	76,8	»	64 1/2	63

Le sondage n° 11 a été tubé au moyen de cylindres de bois semblables à ceux décrits pour le n° 6, et qui descendent jusqu'au fond du trou, à la cote 209,42. On a donné

à la lanterne une longueur totale de 20m,52, renfermant 102 ouvertures de 0m,15 sur 0m,015 et 171 trous circulaires de 0m,02. Ces ouvertures ont été réparties inégalement et occupent surtout les espaces compris entre les cotes 209,42 et 224,45 d'une part, et 227,44 et 230 d'autre part; on a jugé inutile de placer des ouvertures entre ces deux niveaux parce que les jaugeages les représentaient comme ne fournissant pas d'eaux.

Au-dessus des lanternes furent fixés deux cornets flexibles en fer pour arrêter la base du scellement, et le reste du trou a été rempli de béton de ciment au fur et à mesure de l'extraction des tubes de retenue. Enfin on installa une tête de sondage, détruite depuis, et mise en communication avec la Fontaine Chaude et avec le puisard civil. Les travaux, définitivement terminés le 16 septembre 1864, avaient duré un peu moins de dix mois.

Le travail ayant été régulier et facile, les dépenses ont été relativement faibles et peuvent être considérées comme un minimum pratique, sauf en ce qui concerne les achats d'engins : en voici le détail :

	fr.
Installation et démontage du chantier. . . .	271,22
Puits et caisse d'orifice.	220,25
Main-d'œuvre du forage.	1.457,43
Tubage définitif en chêne.	533,53
Scellement et tête de sondage, conduites, etc.	1.336,97
Achat d'outils, câbles et tubes de retenue. . .	2.691,89
Entretien ordinaire et réparation de l'outillage.	1.201,98
Dépenses diverses	95,91
Total.	7.809,16

Résultats. — Le tubage ayant été pourvu d'un grand nombre d'ouvertures sur toute la hauteur où affluaient les eaux, le débit définitif a été de 75 mètres cubes, c'est-à-dire le même que celui du forage.

Ce résultat était très satisfaisant : mais les autres sources

avaient subi une diminution sensible que l'on peut évaluer à 43 mètres cubes, ainsi qu'il appert du tableau suivant :

	SONDAGES			PUISARD	SOURCES	TOTAL.
	n° 11.	n° 10.	n° 1.	civil.	militaires.	
1° Avant le forage n° 11. .	0	196	45	20	29	290
2° Après le forage.	75	172	30	18	27	322
Différences. . . .	+75	−24	−25	−2	−2	+32

Ainsi, sur les 75 mètres produits, il n'y en avait que 32 ayant effet utile, tandis que les 43 autres paraissaient empruntés au débit des autres sources. Plus tard, l'ouverture du sondage n° 12 abaissa la production à 50 mètres cubes. Le sondage n° 13 l'aurait fait diminuer encore sans l'abaissement général des émergences.

Aujourd'hui le sondage n° 11 fournit une production régulière de 60 mètres cubes par jour; la salure de son eau est de 7g,40 comme celle de tous les sondages, et sa température de 60°.

On s'attendait à mieux en exécutant ce sondage, d'après les idées de M. Drouot. On en espérait plus que du n° 10, parce que cet ingénieur croyait à un accroissement de débit vers l'ouest. C'est par suite de cette opinion que l'on a percé les grès bigarrés sur plus de 2 mètres de hauteur. Mais si le sondage n'a donné que 75 mètres cubes, il a nettement montré la présence d'une nappe aquifère circulant dans les sables et les grès à la jonction du grès bigarré avec les argiles bariolées.

On doit conclure du sondage n° 11 que si les sondages civils ont mieux réussi que les forages militaires, ce n'est pas parce qu'ils sont plus à l'ouest, mais parce qu'ils sont voisins du puisard romain, qui indique la position d'un des points d'émergence les plus importants. C'est cette appréciation qui a motivé les emplacements choisis pour le sondage n° 12 et pour le sondage n° 13.

Le premier a été exécuté sur la Fontaine Chaude, parce qu'on la regardait comme une source naturelle. C'était une erreur, comme nous le dirons plus tard, et si le n° 12 a fourni d'assez bons résultats, il ne faut pas les attribuer au lieu choisi, autrement que pour sa position relativement au puisard romain. Le n° 13 au contraire, foré dans le puisard romain lui-même, est bien en un point d'émergence parfaitement défini : aussi ses résultats sont-ils très beaux.

Sondage n° 12. — Ce nouveau forage fut prescrit par décision ministérielle du 23 décembre 1864 et placé sur la Fontaine Chaude, conformément aux propositions des ingénieurs. Le sol de la place des Bains en cet endroit est à la cote de repère 255,91. L'orifice du puits fut placé à peu près au centre du bassin de la Fontaine Chaude, à 30 mètres de distance au nord-ouest du puisard romain, et sensiblement sur le prolongement de la ligne droite joignant le sondage n° 10 audit puisard. Après l'insuccès relatif du n° 11, montrant qu'il n'y avait pas de cassure importante dirigée vers l'ouest, on avait admis la probabilité d'une cassure transversale dirigée suivant cette ligne droite.

Les travaux commencèrent, le 2 janvier 1865, par la démolition de la Fontaine Chaude. Puis on creusa le puits d'orifice. Aussitôt après l'enlèvement du radier de la cuve de la Fontaine Chaude, composé de deux dalles de grès percées d'ouvertures pour l'afflux des eaux, on tomba dans des débris d'anciennes constructions. On rencontra d'abord un mélange de morceaux de pierres informes, puis un dallage formé de deux épaisseurs de briques placées à la profondeur de 3m,67, puis des débris de tuf (*).

A 4m,52 de profondeur, on découvrit un dallage avec escalier en pierre de taille oolithique présentant une ouverture carrée au fond de laquelle était un robinet de bronze (*). Sur le côté du puits creusé, au-dessus du dallage, se montrait dans la paroi une pierre de taille de forme demi-circulaire en oolithe blanche.

Après enlèvement du dallage, on trouva deux tuyaux de plomb, l'un dirigé nord-sud, avec un diamètre de 0m,090, et l'autre, soudé au robinet, dirigé vers l'ouest, avec un diamètre de 0m,035. Ces tuyaux étaient un peu ovales et avec nervure saillante, comme tous ceux rencontrés depuis lors. Les joints étaient faits par de simples emboîtements martelés. Le gros tuyau paraissait fermé à 2 mètres et 2m,60 des deux côtés du bout coupé, comme on s'en assura avec une sonde, et donnait cependant beaucoup d'eau froide. Le petit tuyau ne fournissait aucun débit.

Sous le dallage se trouvait un béton mince, puis un peu de glaise, puis un massif de béton de tuileaux, compris entre deux enrochements (**), qui laissaient passer une grande quantité d'eau composée d'un mélange d'eaux douces et minérales, et dont le débit atteignait environ 500 mètres cubes, lorsque l'on parvint enfin, à la profondeur de 6m,72, aux marnes imperméables, que l'on entama de 0m,40 pour placer la caisse de sondage.

Le lavage des déblais extraits fournit un petit nombre de monnaies romaines et françaises et quelques menus objets sans importance.

Les épuisements nécessités par ce travail s'étaient élevés, à la fin du travail, jusqu'à 500 mètres cubes par vingt-quatre heures, avec une température de 26 degrés et une salure de 2 grammes environ. Cette eau était surtout em-

(*) Il est probable que le dallage de briques n'est pas autre chose qu'une toiture en tuiles, effondrée, et qui recouvrait primitivement une voûte en tuf.

(*) Le dallage, en grès, faisait partie du pavé du temple romain; l'escalier signalé était le commencement d'une piscine symétrique à celle trouvée au sud; enfin la colonne, signalée plus loin, faisait partie du système représenté au plan figure 1a.

(**) Parce qu'on s'était trouvé entre deux des colonnes de l'édifice romain.

pruntée au puisard romain, qui ne fournit plus à un certain moment que 126 mètres cubes, au lieu de 288 à l'aspiration des pompes. La difficulté de ce travail préliminaire l'a fait durer six semaines environ avant le commencement du forage.

La caisse de sondage avait une longueur de 6m,70 et les mêmes dimensions horizontales que celle employée au n° 11. On la scella solidement avec du béton et du ciment et on la munit d'un tuyau de bois pour la vidange et le jaugeage du débit du forage.

Le sondage fut commencé avec un trépan de 0m,435, alésé à 0m,52 et tubé avec des tuyaux en tôle de 0m,45 sur 17m,50 de hauteur, au milieu des argiles bariolées. A cette profondeur, on trouva le terrain assez solide pour marcher sans retenue, et on continua au diamètre 0m,435 jusqu'à 34m,20. Puis, ne rencontrant pas d'eau, on réduisit le diamètre à 0m,225. Mais l'eau thermale étant alors arrivée avec abondance, on ne tarda pas à reprendre le gros diamètre, que l'on conserva jusqu'à 49m,64. Le reste fut fait au diamètre 0m,225.

Les marnes bariolées ne commencèrent à devenir bien sableuses qu'à 40 mètres de profondeur. A partir de 41m,20, elles alternèrent avec de petits bancs de grès et de sables ébouleux, dont la traversée coïncida avec l'affluence des eaux. Enfin, à 48m,90, on entra dans le grès solide, pour ne plus en sortir jusqu'à 51 mètres, profondeur où les travaux furent arrêtés, cote 204,91.

Pendant ce dernier percement, on crut remarquer que le trépan s'enfonçait un peu plus que la moyenne lorsque sa lame était orientée N.-O.-S.-E., c'est-à-dire suivant la direction qui va du sondage 12 au puisard romain et au sondage 10. On en conclut qu'il y avait dans le grès des cassures dans cette direction, conformément à l'opinion précédemment émise par les ingénieurs après le sondage 11.

Arrivée des eaux. — Les gaz s'étaient montrés en petite quantité à 30m,50 de profondeur. Les dégagements de gaz allèrent en croissant lentement à partir de ce moment. Mais l'eau n'arriva qu'à 43m,20, alors que de sérieuses inquiétudes commençaient à se manifester. Le débit commença par être très faible; mais il s'accrut avec une grande rapidité et parvint à plus de 150 mètres cubes à la fin du forage. Nous donnons ci-après un tableau des températures des carottes et de l'eau en regard des profondeurs atteintes par le trou de sonde.

PROFONDEURS.	DÉBIT observé.	TEMPÉRATURE de l'eau.	TEMPÉRATURE des carottes.
10,50	»	»	27
12,60	»	»	32
13,55	»	»	35
15,00	»	»	37
16,90	»	»	40
20,10	»	»	42
25,55	»	»	47 1/2
30,10	»	»	57
35,30	»	»	62
40,15	»	»	56
42,00	»	»	60 3/4
42,20	»	»	64 1/2
43,30	3,60	»	»
43,60	6,60	48	64
43,85	7,2	49	65
44,35	9,5	51	65
45,35	18,0	53 1/2	»
45,60	21,1	55	»
45,90	22,1	59	»
46,35	25,4	»	66
46,50	28,8	»	»
46,70	36,00	61 1/2	»
47,00	38,40	61 1/2	»
47,40	43,20	62 1/2	»
47,50	48,00	62 1/2	»
48,00	50,80	»	»
48,20	52,40	63 1/4	»
49,05	55,70	»	»
49,30	61,70	63 1/4	»
49,35	66,5	»	»
49,70	67,8	63 1/2	»
49,90	73,5	64	»
50,10	78,5	»	»
50,15	96,0	»	»
50,20	123,4	»	»
50,25	132,9	64 1/2	»
50,30	154,2	»	»
50,40	146,4	65	»
50,45	154,2	65	»
50,70	151,6	»	»
50,80	144,0	»	»
51,00	150,2	65	»

Le tubage fut exécuté en tuyaux de bois de chêne analogues à ceux qui avaient servi au n° 11; mais on leur donna de plus grandes dimensions, en raison du débit important de la source. Ils ont une longueur moyenne de 3 mètres, un diamètre extérieur de $0^m,30$, et sont percés suivant leur axe d'un trou cylindrique de $0^m,15$ de diamètre. Ils sont réunis entre eux par des joints à emboîtement pénétrés par des vis en bois de chêne, sans virolles extérieures.

La lanterne n'a qu'une longueur de $7^m,31$, placée à la base, et suffisante pour recevoir tous les afflux d'eaux rencontrés pendant le forage. Elle comprend 330 ouvertures de $0^m,15$ de longueur sur $0^m,02$ de largeur. Au-dessus d'elle, trois cornets en tôle de fer servent d'appui au scellement. On avait pris la précaution de remplir leur intervalle de mousse pour empêcher le ciment de descendre trop bas. Pour assurer le scellement jusqu'à la profondeur de 38 mètres et empêcher le délayage du ciment, on descendit celui-ci avec des cuillers de forme spéciale autour du tubage. Enfin on construisit autour de l'orifice un puits en maçonnerie au ciment pourvu de deux conduites allant au puisard civil et au puisard militaire.

Le travail fut complètement terminé le 16 septembre 1864, ayant duré huit mois et demi. Les dépenses ont été un peu plus élevées que pour les autres forages, bien que l'on n'eût pas eu beaucoup d'outils neufs à acheter. Mais la différence tient surtout aux dépenses importantes nécessitées par l'installation de la caisse de sondage dans son puits provisoire. Voici le détail des sommes dépensées pour le sondage n° 12 :

	fr.
Installation et démontage des chantiers	426,65
Puits et caisse d'orifice	1.703,88
Main-d'œuvre du forage	2.730,72
Tubage en bois	987,68
A reporter	5.848,93

	fr.
Report	5.848,93
Scellement, tête de sondage, etc.	1.683,44
Achat d'outils	499,85
Entretien de l'outillage	702,21
Dépenses diverses	376,57
Total	9.111,00

Résultats. — Ce qu'il y a de plus remarquable dans les travaux du sondage n° 12, c'est qu'il n'a pas rencontré d'eau thermale dans les argiles bariolées, contrairement à ce qui s'était passé pour tous les autres forages. A la profondeur de 43 mètres seulement, l'eau minérale s'était présentée et s'était accrue rapidement pendant que l'on perçait les bancs argilo-sableux placés en contact avec les grès bigarrés. L'augmentation du débit avait même paru continuer dans les couches supérieures des grès. Les ingénieurs des mines auraient voulu pousser plus loin encore le forage, et pénétrer franchement au cœur de la masse des grès. Il avait été question de cet approfondissement dans la conférence tenue entre M. Debette et le commandant du génie M. Bémond, et ces messieurs proposaient de consacrer 10.000 francs à ce supplément de travail, mais leur proposition avait été écartée : on peut regretter que cet essai n'ait pas été tenté, surtout au n° 12 où les eaux semblaient arriver à travers les grès, ce qui pouvait faire espérer des résultats nouveaux sans pousser trop loin le forage.

Le débit signalé à la fin des travaux d'approfondissement a subi ensuite une notable diminution, ainsi qu'il est arrivé pour tous les sondages exécutés à Bourbonne, et est tombé à 123 mètres cubes dès le moment du tubage : puis il a continué à décroître et, en 1874, il n'était plus que de 80 mètres cubes par 24 heures.

Dès la fin des travaux, on put constater qu'une partie seulement des 123 mètres cubes sortant du n° 12 constituait un accroissement pour la station de Bourbonne : chacune des autres sources avait subi une diminution. Le

registre des jaugeages permet de s'en assurer. Mais, en nous tenant aux moyennes, nous avons réuni les résultats suivants qui sont concluants à cet égard.

	SONDAGE 12	SONDAGE 11	SONDAGE 10	SONDAGE 1	PUISARD civil	SOURCES militaires	TOTAUX.
1° Avant le sondage n° 12.	0	72	172	30	18	26	318
2° Après	123	48	144	20	15	16	366
Différence. . . .	+ 123	— 24	— 28	— 10	— 3	— 10	+ 48

La création du sondage 12 avait donc accru d'une cinquantaine de mètres seulement les ressources de Bourbonne. Mais les résultats ci-dessus sont peu exacts bien que comparables, parce qu'ils ne sont pas obtenus dans des conditions identiques, surtout au point de vue de la quantité d'eau pluviale dans les alluvions. Nous avons eu l'occasion d'examiner ce point particulier du régime des sources en étudiant leurs origines.

Dans le dernier jaugeage, obtenu après l'abaissement général des émergences, le sondage n° 12 est compris pour une quantité de 108 mètres cubes par 24 heures : c'est du moins le chiffre trouvé le 28 décembre 1875 ; un jaugeage moins complet, en mai 1877, n'a pas donné plus de 60 mètres cubes. Nous ne savons pas au juste à quoi peut tenir la différence. Elle montre au moins que des études régulières des débits peuvent présenter beaucoup d'intérêt.

Sondage n° 13. — Après l'exécution du sondage n° 12, l'ingénieur des mines, M. Duporcq, revint à plusieurs reprises sur l'opportunité de forer un puits dans le puisard romain lui-même. Mais il y avait bien des difficultés à ce travail : le puisard romain se trouvait dans les bâtiments de l'établissement, ce qui exigeait une démolition assez importante pour loger le grand engin. De plus, ce puisard était le seul récipient où se rassemblassent les eaux de toutes les sources civiles, et il recevait l'aspirateur des pompes. L'exécution

de ce sondage se trouvait nécessairement ajournée jusqu'au moment où l'on créerait un nouveau récipient, et où l'on ne craindrait pas de toucher au vieil établissement.

De nombreux projets généraux furent présentés par M. Duporcq, tendant tous au même but : l'abaissement général des niveaux d'émergence, la création de récipients imperméables, et le forage n° 13. Le travail préliminaire de construction d'un aqueduc de décharge fut exécuté par M. Duporcq, en 1869, mais avec des dépenses qui dépassèrent le double des prévisions des devis. Cette circonstance sans doute, puis la guerre, enfin des changements considérables dans les projets de restauration des Thermes, firent ajourner longtemps les travaux, et le sondage n° 13 avec eux. Enfin, en 1874, l'administration accepta les derniers projets que nous avions présentés pour l'aménagement général des eaux, et le sondage n° 13 put être commencé sous notre direction, par les soins de M. Prechey, garde-mines.

Le puisard civil se composait de deux parties distinctes : la plus basse, datant certainement de l'époque romaine, formant un rectangle allongé de 3m,60 de long sur 2m,80 de large, placé un peu obliquement par rapport aux murs de l'établissement ; et la seconde, à peu près carrée, batie en 1783 par les entrepreneurs du comte d'Avaux, ainsi que le raconte de Varaigne. Cette section supérieure avait 3m,20 de côté environ. Le tout était dans le bâtiment des Thermes civils, entre les douches et les pompes. Au-dessus du puisard, fermé en planches, était installé dans les combles un appareil destiné au refroidissement de l'eau, construit par M. Duporcq, et abandonné depuis, malgré ses bons résultats. Une étuve prenait sa vapeur au-dessous du plancher recouvrant le puisard.

Pour placer l'engin, on commença, le 10 décembre 1874, à démonter l'appareil réfrigérant : on referma la toiture à l'endroit où sa cuve avait exigé une modification. Puis on

démolit l'étuve et deux cloisons qui formaient deux cabinets de bains voisins du puisard, afin de permettre la manœuvre du levier de battage. On enleva ensuite les pièces de charpentes sises au-dessus du puisard; enfin on enleva une partie du toit pour permettre de placer les grands montants.

Il fallut alors installer la caisse de sondage; on avait bien pour la fixer le haut du puisard romain et le sol du bâtiment des Thermes, mais sa partie inférieure ne pouvait être posée sur les sables mouvants du fond du puisard; il fallait maintenir les épuisements assez longtemps pour curer ces sables et chercher un bon appui au cadre inférieur dans les fondations de l'édifice. Par occasion, on examina le puisard et l'on visita les galeries souterraines déjà décrites par de Varaigne.

Les parois du puisard romain sont formées de grandes pierres de taille de Chalvraines, oolithe blanche, de $0^m,30$ et de $0^m,50$ d'épaisseur, disposées sur deux rangées séparées par un intervalle de $0^m,45$ d'épaisseur rempli de béton. En dehors du puisard, les pierres de taille sont recouvertes d'un mur en brique de $0^m,35$ d'épaisseur, formant la paroi des galeries romaines. Ces pierres sont corrodées à l'intérieur par le long frottement des eaux, mais les joints sont encore bons, sauf deux ou trois fissures laissant arriver de l'eau douce et de l'eau thermale. Un trou percé dans la paroi nord et garni d'un tuyau en plomb de $0^m,12$ de diamètre, mettait le puisard en communication avec les galeries dites « Étuves romaines. » Un autre trou placé plus bas, et muni d'un petit tuyau de plomb, aboutissait à un robinet situé dans le puits en plomb marqué E sur le plan de de Varaigne.

La visite des galeries ne présenta pas beaucoup d'intérêt : on constata seulement que le puits en plomb et ses deux robinets étaient bien dans la situation marquée sur la *fig.* 16, Pl. VI; ce puits a $0^m,60$ de diamètre intérieur,

et il est revêtu d'une feuille de plomb de $0^m,015$ d'épaisseur. La profondeur est de $1^m,50$. Il paraît avoir servi à prendre des bains debout. Mais on ne voit pas comment il pouvait se vider.

Nous avons fait enlever le pilastre O de de Varaigne, et, contrairement à son assertion, nous y avons remarqué une inscription d'ailleurs peu intéressante. Deux autres *ex-voto* avec inscription, se trouvaient encore au fond du puisard.

Mais si les galeries ont eu peu d'intérêt, il n'en est pas de même du fond du puisard. Celui-ci était essentiellement meuble, et l'on pouvait y enfoncer facilement un bâton, non pas à 35 pieds comme le dit de Varaigne, mais à 3 pieds environ au-dessous de la surface de la vase. Cette résistance nous avait fait penser qu'en curant un peu, nous trouverions une assise solide pour la caisse de sondage, et nous avons pu procéder à ce travail malgré d'énormes venues d'eau à une température de 50° environ.

Le trésor du puisard. — Les vases enlevées étaient lavées au crible sous le jet de la Fontaine Chaude, parce que nous pensions y trouver quelques curiosités, comme la monnaie d'Alexandre rencontrée, en 1857, par M. Drouot, lors du curage tenté à cette époque. Le résultat du lavage a bien dépassé notre attente. Comme on le voit par le tableau suivant, nous étions tombés sur un dépôt important de monnaies variées, mélangées de quelques objets d'ornement. La collection complète en est restée longtemps déposée au bureau du garde-mines, avant d'être réclamée par l'administration supérieure.

Objets trouvés dans les vases du puisard romain.

4 pièces d'or aux effigies de Néron, Adrien, Faustin et Honorius, en parfait état de conservation.

265 monnaies d'argent de petit module, généralement fatiguées par l'usage, mais non corrodées par les eaux; quelques-unes portent des effigies gauloises; mais la majeure partie est de type romain, et surtout de la période impériale.

734 pièces de bronze, grand module, en état de conservation passable, aux effigies des empereurs romains.

1,600 pièces de bronze, grand module, très frustes.

82 pièces de bronze gris, grand module, à deux effigies, assez bien conservées.

168 pièces de bronze gris, grand module, à deux effigies, partagées en deux parties égales.

614 demi-pièces de même nature, mais très frustes et en partie corrodées par les eaux.

500 pièces de bronze mince, petit module, à l'effigie de Jules César, en très mauvais état et profondément attaquées.

2 petites statuettes en bronze, d'un travail délicat, représentant deux danseurs, et ayant formé appliqué sur un cadre en bronze.

Plusieurs morceaux de bronze, dont quelques-uns devaient se rattacher aux statuettes.

Deux têtes de serpent en bronze.

Un avant-bras en bronze.

Un doigt en bronze.

Une épingle, deux bagues, quelques ornements en argent impur et des fragments de colliers d'ambre.

Les pièces d'or sont presque neuves ; celle de Néron paraît avoir été en circulation, mais les trois autres semblent sortir du flanc. Celle d'Honorius surtout, d'un très mauvais dessin, est d'une fraîcheur de traits irréprochable. Les monnaies d'argent et celles de bronze de bonne qualité, ont évidemment peu souffert de leur long séjour dans la source ; mais les petits Césars et les monnaies à 2 effigies ont été très corrodées, sans doute par suite de l'impureté de leur composition.

La réunion de tous ces petits objets, dans un espace aussi restreint, ne peut pas, évidemment, être rapportée au hasard : il faut nécessairement admettre que les pièces trouvées avaient été volontairement jetées dans la source par les baigneurs, à titre d'offrande aux dieux.

Sur la fin du lavage, on trouva encore trois éclats de silex, semblables aux résidus de la fabrication des armes préhistoriques par pression. Ces éclats étaient recouverts

d'une mince pellicule de pyrite de fer. Nous avons eu l'occasion d'en parler longuement plus haut.

Minéraux métalliques. — Avec les pièces romaines, on retira, par le lavage, beaucoup de petits graviers quartzeux recouverts d'une pellicule de pyrite de fer, comme les éclats de silex ; mais en outre on ramassa une grande quantité de fragments de béton renfermant dans leurs cavités des médailles plus ou moins profondément altérées. De nombreux petits cristaux d'éclat métallique occupaient la surface de ces médailles ou s'étendaient sur les morceaux de béton, ou encore réunissaient entre eux des médailles et des pierrailles, en formant des brèches à ciment métallique.

L'examen de ces curiosités a été fait par M. Daubrée, inspecteur général des mines (*), qui a donné à ce sujet des observations très intéressantes.

Forage. — Une fois la caisse de sondage installée, nous commençâmes à y descendre des tubes de retenue en tôle de $0^m,50$ de diamètre, ayant chacun 1 mètre de longueur, et réunis par des viroles de même métal. Le premier de ces tubes portait une forte rondelle d'acier pour éviter le refoulement de la tôle. Comme on était au 5 janvier 1875, le délai de fin des travaux au 15 mai ne nous laissait qu'un temps fort court, bien inférieur aux dix mois qu'avait coûtés le sondage n° 1. Aussi dûmes-nous nous décider à faire travailler nuit et jour, malgré le surcroît de dépenses qui en résultait.

L'état meuble des sables du fond nous faisait espérer que les premiers tubes de retenue seraient faciles à enfoncer au mouton, sans battre au trépan ni curer à l'intérieur ; il en fut rien. Dès que les tubes eurent dépassé la base

(*) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séances des 22 février et 15 mars 1875 : Note sur la formation contemporaine de diverses espèces minérales cristallisées. Voir le Mémoire sur la formation contemporaine des minéraux (*Annales des mines*, t. VIII, 1875).

de la caisse, une grosse pierre les arrêta. Le trépan perdit une journée à déplacer cet obstacle dans le sable, avant de le briser. Cet accident se reproduisit très fréquemment dans toute la première partie du sondage, et nous consomma beaucoup de temps.

La cuiller commença par ne ramener que des sables quartzeux comme ceux qu'on avait trouvés au-dessous des monnaies romaines, mélangés de petits fragments de grès (*). A la profondeur de 8 mètres, on crut être sorti du sable, la cuiller ayant rapporté un peu de marne rougeâtre; mais cela ne dura pas, et les sables continuèrent à former la presque totalité des déblais. A cause de la présence de quelques pierres roulantes et de la nature ébouleuse du terrain, on n'avançait que de $0^m,30$ par jour en moyenne, et parfois de 5 à 10 centimètres seulement. En battant de grandes quantités de glaise au trépan dans les sables au fond du trou, nous sommes parvenus cependant à gagner 1 mètre par jour dans l'approfondissement. Mais il fallut continuer à enfoncer des tubes de retenue jusqu'à la profondeur de $30^m,50$ où les marnes rougeâtres se montrèrent nettement.

Aussitôt sortis des terrains ébouleux, nous continuâmes le forage au diamètre de $0^m,225$. Les premiers bancs pierreux furent rencontrés à 40 mètres de profondeur. Ils se composaient d'assises de grès de $0^m,05$ d'épaisseur que le trépan brisait assez facilement, mais que la cuiller avait peine à enlever sans qu'ils fussent réduits à l'état de sable. Puis, vers $41^m,50$, le forage rencontra de nouveaux bancs sableux et ébouleux. Il fut difficile de les percer, même en employant beaucoup de glaise, à cause de la rapidité du délayage de celle-ci par les eaux ascendantes. Cependant

(*) L'un de ces fragments présentait une pseudomorphose de cristaux de sel marin en grès bigarré, phénomène assez fréquent dans les couches de cette formation (M. Daubrée).

on put arriver jusqu'à $45^m,45$, après avoir entamé le grès solide sur $0^m,350$ d'épaisseur. Le travail de battage était rendu extrêmement difficile sur cette roche par les torsions que subissaient la tige de sonde et le trépan. On pouvait d'ailleurs regarder le but comme atteint, et nous étions au 5 mai.

Tubage. — Les tubes employés sont en cuivre : ils ont chacun 4 mètres de longueur, $0^m,19$ de diamètre intérieur et $0^m,005$ d'épaisseur. Leurs extrémités sont filetées à 1 millimètre de profondeur par un pas de vis qui s'étend sur $0^m,10$ de longueur. Une virole de même métal et de même épaisseur, ayant $0^m,200$ de longueur, est placée extérieurement pour réunir ces tubes deux à deux. Le premier tube seul n'est pas fileté à sa partie inférieure.

Avec ce système, le tubage est d'une grande simplicité : il suffit de maintenir au-dessus du sol, par un collier, le bout supérieur de l'un des tubes, muni de sa virole, puis de présenter à la suite le second et de le faire tourner dans la virole. Les joints ainsi obtenus sont très solides : ils ne font à l'extérieur qu'une saillie de 5 millimètres qui ne gêne pas le glissement. Enfin ils sont presque étanches, car ils suintent à peine sous une pression de 2 mètres. L'opération du tubage tout entière n'a demandé que quelques heures.

La lanterne n'a été faite que des deux premiers tubes, soit 8 mètres de longueur, bien suffisante puisque nous n'étions sortis des marnes imperméables qu'à $5^m,45$ avant la fin du forage. Nous voulions d'ailleurs éviter tout mélange possible avec des eaux provenant, par infiltration, des étages supérieurs. Les 8 mètres de lanterne présentent 480 trous de $0^m,025$ de diamètre, régulièrement espacés : leur surface totale est de $0^{mq},24$ ou près de dix fois celle de la section intérieure des tubes.

Au-dessus de la lanterne, une collerette en tôle flexible et découpée en artichaut, ayant un diamètre total de $0^m,80$,

a été fixée au-dessous d'une virole, pour fermer le trou de sonde contre la descente du ciment de scellement.

Enfin on a commencé cette dernière opération, en retirant, avec de grandes difficultés, la colonne de tubage provisoire en tôle : elle a consommé 1 560 kilog. de ciment et 1 mètre cube de gravier.

Nous remarquerons que le tubage a employé seulement 45m,30 de tuyaux de cuivre, au-dessous du repère 255,91, tandis que la profondeur du trou de sonde, mesurée au cordeau, était de 45m,45. En tenant compte de la température extérieure de 10° et de celle du sondage de 65°, on voit qu'une colonne de tubes de cuivre de 45m,30 de longueur devait éprouver un allongement de 45,30 × 55 × 0,000 018 = 0m,045. Il reste donc une perte de 0m,185, due sans doute à quelque pierre tombée au fond du trou de sonde. Cela est sans importance, puisque les 0m,20 inférieurs du tube sont dans le grès et ne peuvent pas permettre l'entrée de grosses pierres.

Tête de sondage. — A la fin du tubage, nous avons laissé en place l'excédant de tuyaux de cuivre dont nous disposions, arrivant à une hauteur de 4 mètres au-dessus du pavé des bains. L'eau montait dans ces tubes jusqu'à 3 mètres de hauteur, lorsque la pompe ne fonctionnait pas sur le n° 10. Mais quand on déprimait celui-ci à 4 mètres de profondeur pour le service balnéaire provisoire, le niveau de l'eau baissait dans le tubage jusqu'aux environs de la cote de repère général. Il en résulte que les deux sondages 10 et 13 sont en communication souterraine, mais très incomplète, puisqu'une différence de charge de 4 mètres se maintenait régulièrement entre eux.

Grâce à la conservation du prolongement du tubage, nous avons pu exécuter la tête de sondage sans être gênés par les eaux. Nous lui avons donné une forme spéciale, déterminée par la position particulière du sondage. Comme

nous étions au centre du puisard romain, nous avons jugé inutile de combler cet ouvrage.

Sur le béton qui nous avait servi à fixer la caisse de sondage, nous avons installé une tour en briques, de forme ovale, ayant 1m,60 sur 1m,45 à l'intérieur et 1m,50 de hauteur ; puis nous avons rempli en béton de ciment l'espace disponible entre les briques et le puisard romain, en réservant dans les maçonneries le tuyau de prise d'eau. Enfin nous avons formé un radier courbe au moyen de briques debout, posées au ciment, appuyées sur le béton de fondation.

Ce n'est qu'après la fin de ce travail et la pose des tuyaux dans les galeries que nous avons scié le tubage de cuivre à 0m,25 au-dessous du radier, soit à la cote 251,90. Une magnifique gerbe d'eau s'est épanchée alors autour de l'orifice jusqu'à ce qu'il ait été noyé dans son bassin, ce qui a demandé quelques minutes seulement.

Résultats. — Nous n'avons fait aucune expérience pendant les travaux de forage : il y avait pour cela diverses raisons. D'abord, l'abondance des eaux, qui pénétraient la colonne de retenue à 64 ou 65°, devait maintenir constante la température des carottes et du trou de sonde. C'est ce que nous avons pu constater en effet. Mais, quant aux débits, nous ne pouvions rien connaître de certain, à cause de la pénétration dans le forage de toutes les eaux des étages supérieurs. Nos données auraient eu d'autant moins de valeur, que nous faisions en même temps opérer de grands épuisements pour les puisards et les galeries en construction.

Nous avons donc pu seulement constater, dans le forage, que les eaux arrivaient en abondance, et que la masse de gaz en mouvement s'était accrue beaucoup après le passage des assises marneuses. Puis, une fois tous les travaux achevés, il ne nous a pas été possible de jauger immédiatement, toujours à cause des épuisements. Enfin,

lorsque nous avons posé le tuyau de prise d'eau, nous avons trouvé un débit de 175 mètres cubes. Mais ce chiffre n'avait encore rien de certain, parce que les épuisements continuaient irrégulièrement au dehors, et pouvaient affecter considérablement nos résultats.

Le seul jaugeage sérieux exécuté n'a pu avoir lieu que le 15 décembre 1876, après la pose de la nouvelle tuyauterie des sondages. Il a fixé à 172mc,8 le débit du n° 13 et on trouvera dans le chapitre II le tableau complet de ce jaugeage définitif, montrant la valeur relative des sources dont nous disposons.

Dépenses du sondage n° 13.

Rôles des journées d'ouvriers employés à la manœuvre de la sonde, réparations de l'engin, caisse du sondage, tubage, scellement, transports, réparations d'outils	9.088,01
1,350m,700 tubes en cuivre à 4 francs	5.402,80
1.350m,700 filetage à 30 francs les 100 kilog.	405,21
Emballage	86,00
Crie à 8 pattes, moufles, forge, outils, enclume, marteaux, tubes en tôle, bancs, cuillers à hélice, rivets	1.509,95
Fournitures pour le scellement du tubage	200,00
Fournitures diverses, tuyaux en zinc pour les pompes d'épuisements, thermomètre, huile, charbon pour la forge, pour la démolition et la reconstruction de l'emplacement de l'engin	2.500,00
Total	18.639,07

§ 3. — Aménagement des sources.

Jaugeages par épuisement. — L'augmentation du rendement total, due aux premiers sondages, ne s'était pas montrée assez considérable pour faire complètement perdre de vue par les ingénieurs des mines la question de l'abaissement général des émergences.

Craignant d'en voir résulter une invasion irrésistible des eaux douces, M. Drouot avait présenté de vives objections

à tout essai dans ce sens; mais cela n'empêcha pas des conférences de s'ouvrir à ce sujet entre les ingénieurs et les officiers du génie à plusieurs reprises. Pendant l'exécution du sondage n° 12, des propositions furent présentées (conférence du 21 février 1865), par MM. Duporcq, ingénieur des mines, et Fervel, lieutenant-colonel du génie. Elles tendaient surtout à obtenir le crédit nécessaire pour procéder à de sérieuses expériences de jaugeages par épuisement sur toutes les sources existantes, afin de vérifier les idées émises par Lebrun sur le rapide accroissement des débits par l'abaissement.

Les conférenciers insistaient d'abord sur la nécessité d'un débit total de 600 mètres cubes pour satisfaire à tous les besoins de la station balnéaire : ils faisaient ensuite remarquer que l'influence des sondages les uns sur les autres ne permettait pas d'espérer atteindre ce chiffre par de nouveaux forages seulement, et que le débit maximum des sources, arrivant jusqu'aux anciens trop-pleins, semblait près d'être obtenu par les sources ouvertes jusqu'à 1865, tout en restant à 320 mètres cubes seulement.

Enfin, s'appuyant sur la formule $c = \frac{lb\,v^2}{h}$ donnée par Darcy, et exprimant un rendement proportionnel à la racine carrée des charges, les auteurs de la conférence pensaient que le débit doublerait ou à peu près par un abaissement de 2 à 3 mètres. Mais il fallait des expériences précises pour vérifier la réalité d'application de cette formule, dont le point de départ restait inconnu.

Une décision ministérielle du 28 février 1866 autorisa les expériences et leur attribua un crédit de 1.090 francs, non compris l'acquisition d'une pompe Letestu, nécessaire à ce travail.

Dans une nouvelle conférence du 23 mars suivant, il fut convenu entre les deux services que les expériences, faites pendant 100 heures consécutives environ, consisteraient

à abaisser à la fois le niveau de toutes les sources, par le jeu des pompes, à la cote 253,91, soit à 2 mètres en contre-bas du pavé des bains civils.

Expériences. — Les expériences furent faites du 11 au 17 avril 1866 et divisées en deux séries.

Dans la première, l'abaissement de 2 mètres donna des résultats tout à fait insuffisants et bien inférieurs à toutes les prévisions. Aussi se hâta-t-on de descendre l'aspiration à 3m,88 où l'on obtint une augmentation sérieuse.

Les sources mises en expériences avaient d'abord été jaugées à leur émergence ordinaire, qui était de 0m,80 pour les sources civiles et de 1m,76 pour les sources militaires, au-dessous de la cote de repère 255,91. Comme on opérait par une saison pluvieuse, on trouva des résultats assez forts, consignés ci-après :

DU 10 AVRIL 1866.		DÉBIT par 24 heures.	TEMPÉRATURE.	SALURE. par litre.
		mèt. cub.	degrés.	grammes.
Trop-plein à — 0,80	Puisard civil.	25	50	6,40
Id.	Sondage n° 1.	21,4	57	7,40
Id.	— 10.	150	63 1/2	7,40
Id.	— 11.	57,6	60	7,30
Id.	— 12.	96	63 1/2	7,35
Trop-plein à — 1,76	Sources militaires.	40	38	6,40
	Total.	390		

Les expériences du 11 au 14 avril donnèrent un accroissement important seulement au puisard civil, en réduisant d'ailleurs le produit des sources militaires qui ne profitaient plus de la différence de niveau de 1m,96 existant auparavant : on remarqua l'abaissement de la salure et de la température pour le puisard civil, et leur fixité pour les sondages. Voici le tableau résumé de cette série d'expériences :

DU 11 AU 14 AVRIL.		DÉBIT par 24 heures.	TEMPÉRATURE.	SALURE. par litre.
		mèt. cub.	degrés.	grammes.
Dépression à la cote 253,91	Puisard civil.	50	45	5,68
Id.	Sondage n° 1.	38	58	7,40
Id.	— 10.	160	53 1/2	7,40
Id.	— 11.	68	60	7,10
Id.	— 12.	110	63 1/2	7,35
Id.	Sources militaires.	30	36 1/2	6,40
	Total.	456		

Enfin, du 15 au 17 avril, on opéra avec 3m,88 d'abaissement. Les nouveaux chiffres furent assez différents des premiers, et remarquables surtout par un accroissement considérable des sources militaires. La température et la salure du puisard civil avaient continué à décroître, tandis qu'il y avait plutôt amélioration pour les sources militaires.

Voici le tableau résumé des expériences :

DU 15 AU 17 AVRIL.		DÉBIT par 24 heures.	TEMPÉRATURE.	SALURE par litre.
		mèt. cub.	degrés.	grammes.
Dépression à la cote 252,03	Puisard civil.	95	38 1/2	4,06
Id.	Sondage n° 1.	56	59	7,40
Id.	— 10.	208	63 1/2	7,40
Id.	— 11.	88	60	7,30
Id.	— 12.	132	63 1/2	7,35
Id.	Sources militaires.	126	41	6,67
	Total.	705		

Conséquences. — L'examen de ces tableaux très intéressants conduisait M. Duporcq à proposer d'écarter complètement le puisard romain en cas d'abaissement général du niveau d'émergence à la cote de 252,03, afin d'éviter ces eaux renfermant plus d'un tiers d'eaux douces. Cet ingénieur regardait d'ailleurs l'opération comme très difficile et paraissait plutôt disposé à proposer leur déversement dans l'aqueduc qui serait nécessaire pour la décharge

générale. Une remarque analogue pouvait être faite pour les sources militaires. Leur salure inférieure tient en effet à la réunion des produits purs des sondages avec une partie des sources romaines (Patrice et Étuves). L'abandon de ces eaux, pour s'en tenir aux sondages, faisant perdre une assez forte portion du débit total, il était évident que l'on atteindrait difficilement les 600 mètres cubes désirables, même avec un nouveau sondage exécuté en remplacement du puisard romain, et un abaissement de près de 4 mètres des niveaux d'émergence.

Une appréciation exacte des conséquences de la suppression de toutes les sources romaines pour conserver seulement les sondages, était rendue difficile par la réunion de toutes les sources militaires en un seul chiffre. Cependant les données recueillies pour les sondages 8 et 9 permettant de fixer à 32 et 50 mètres cubes leurs productions respectives à la cote choisie pour l'abaissement, on pouvait former pour les sondages seuls le tableau suivant :

Sondages n° 1.	56 mètres cubes.
— 8.	32 —
— 9.	50 —
— 10.	108 —
— 11.	88 —
— 12.	132 —
Total.	566 mètres cubes.

Tel paraissait être le chiffre du volume d'eau disponible, en s'en tenant aux sondages, avec un abaissement à la cote 252,03, et sauf la légère exagération que pouvait avoir produite la brièveté forcée des expériences, combinée avec l'humidité de la saison.

Les deux services se mirent donc d'accord pour proposer la création d'un sondage à l'emplacement du puisard romain, et la construction d'un aqueduc placé au-dessous de la cote 252,03, avec le réseau de conduites nécessaires

à l'utilisation des prises d'eau faites à la cote 252,03 environ sur chaque sondage.

Ensemble des projets. — L'ingénieur des mines, M. Duporcq, présenta un projet complet, basé sur les considérations précédentes, et comprenant en même temps l'étude des réservoirs de refroidissement et des appareils élévatoires. Avant de parler de l'exécution de ces travaux, nous devons y jeter un coup d'œil d'ensemble.

Le débit des sources devant être pris à la cote de 252,03, ou au-dessous, il fallait avant tout leur assurer un écoulement régulier à ce niveau. Cela nécessitait la construction d'un aqueduc ayant le point le plus élevé de son radier au-dessous de la cote 252, pourvu d'une pente suffisante et débouchant dans un cours d'eau en un point dont le niveau d'eau habituel n'atteindrait pas cette même cote. On reconnut qu'il faudrait donner à cet égout une longueur de 850 mètres environ depuis des bains civils jusqu'au point convenable de la rivière d'Apance situé un peu en aval de la ville.

Il fallait ensuite un réseau de tuyaux empruntant l'eau à tous les sondages par une prise d'eau placée vers la cote 252, pour la réunir en un même point. Une décision prise en commun par les ministères des travaux publics et de la guerre, aux dates des 18 et 27 mai 1869, prescrivit le mélange complet des eaux avant leur partage entre les deux établissements, afin d'éviter toute discussion possible entre les deux services.

Le débit des eaux, estimé à 580 mètres cubes, devait, en vertu de la même décision, être réparti comme suit :

A la disposition des habitants de Bourbonne.	20 mètres cubes.
Pour l'établissement civil.	310 —
Pour l'établissement militaire	250 —

Au-dessous de ce chiffre, les quantités attribuées à chaque service devaient être réduites dans la proportion de 5 à 7,

la part des habitants de Bourbonne formant $\frac{1}{30}$ du débit total.

Un appareil spécial destiné au partage devait être établi pour diviser les eaux, soit avant, soit après l'élévation dans les réservoirs. La première solution ayant été adoptée, la part de chaque établissement devait être conduite à ses pompes par une conduite partant de l'appareil de partage.

Pour ne pas forcer à faire marcher les pompes jour et nuit, il fallait recueillir les eaux pendant une partie des vingt-quatre heures dans des puisards placés au-dessous du niveau général d'émergence : le puisard civil devait être plus grand que le puisard militaire, et M. Duporcq proposait de leur donner respectivement des capacités utiles de 200 et 150 mètres cubes. La durée nécessaire de la marche des pompes se trouvait ainsi réduite à moins de dix heures.

Une fois les eaux partagées et reçues dans les puisards, chaque établissement devait en opérer le montage dans ses réservoirs, au moyen de pompes à vapeur.

Quant aux réservoirs eux-mêmes, ils devaient être placés en dehors des bâtiments, vers le haut du jardin des bains civils. Il fallait en outre adopter un énergique moyen de refroidissement. M. Debette avait proposé la circulation autour d'un serpentin parcouru par une dérivation du ruisseau de Borne, ou inversement ; M. Duporcq essaya de faire adopter une chute en pluie dans un courant d'air mu par un ventilateur, et construisit même un réfrigérant de ce système au-dessus du puisard romain. Les résultats furent bons, mais exigèrent une grande force motrice, et soulevèrent de l'opposition de la part des médecins. Ces deux procédés ont été laissés de côté pour en revenir à la simple exposition à l'air libre pendant trente-six ou quarante-huit heures dans des réservoirs peu profonds et présentant une grande surface de refroidissement.

Enfin il restait encore à ramener l'eau depuis les grands

réservoirs d'accumulation jusqu'aux appareils desservant les bains, les douches et les douches faibles ; cette distribution ne pouvait être complétée qu'au fur et à mesure de la construction des nouveaux édifices projetés depuis longtemps.

Aqueduc de décharge. — L'ensemble des projets présentés par M. Duporcq ayant été accepté par l'administration supérieure, de concert entre les ministères de la guerre et des travaux publics, il fut décidé que leur exécution serait commencée par la construction de l'aqueduc général de décharge. Cet ouvrage devait avoir pour résultat de faciliter les épuisements nécessaires pour les travaux ultérieurs ; il devait en même temps drainer et assainir les terrains, surtout ceux de l'hôpital militaire, situés dans un bas fond. La construction de cet égout, devant exiger un temps assez long, ne pouvait pas coïncider avec les travaux d'aménagement ; ceux-ci devaient, de toute nécessité, être terminés entre deux saisons balnéaires, c'est-à-dire de novembre à mai.

Ordre fut donné à l'ingénieur des mines, M. Duporcq, de construire l'aqueduc en 1869, conformément à ses projets, c'est-à-dire avec une longueur de 850 mètres et une pente totale de 1 mètre. La cote du radier à l'amont devait être 251,75 auprès des bains civils. Quant à la forme de l'ouvrage, il était composé d'une partie rectangulaire de $0^m,80$ de large et $0^m,80$ de hauteur, surmontée d'une voûte de $0^m,40$ de rayon.

Avant le commencement des travaux, la section adoptée fut reconnue défectueuse au point de vue de la solidité, et on réduisit, au profit de l'épaisseur des murs, la largeur intérieure à la base à $0^m,40$; de plus on appuya tout l'ouvrage sur une masse de béton de $0^m,30$ d'épaisseur et $1^m,60$ de large.

L'aqueduc devant suivre la rue de l'hôpital, puis la rue Lateau et la rue de Gray, constamment entre deux façades

de maisons éloignées de 8 à 10 mètres l'une de l'autre, le travail de la tranchée ne pouvait se faire sans un boisage soigné, surtout avec les profondeurs de 5 et 6 mètres qu'elle devait atteindre en certains points. On comptait exécuter ce boisage au moyen de réemplois successifs des mêmes matériaux, et moyennant un prix total de 1.200 francs seulement. Mais cette partie des prévisions des devis a été décuplée en cours d'exécution.

Quant à l'écoulement des eaux, il paraissait devoir se faire naturellement en grande partie, à condition de commencer la tranchée par l'aval. Mais on ne put opérer ainsi, par suite de grandes difficultés soulevées par les propriétaires des prés qu'il y avait à traverser pour aboutir à l'Apance, et qui ne purent être résolues que très tardivement. D'ailleurs, l'exécution successive des travaux aurait été par trop longue. On dut donc se résoudre à opérer par fractions, avec plusieurs chantiers à la fois, quitte à subir les conséquences de cette division pour les épuisements et les boisages. Les premiers dépensèrent 10.000 francs et les seconds 12.000.

Une autre cause d'aggravation de dépenses se trouva dans la nature des terrains traversés. Au lieu de ne rencontrer que des déblais faciles, on eut à détruire des bancs de roches et de vieilles maçonneries romaines en assez grande quantité pour dépenser en tout près de 20.000 francs en frais d'abatage; de telle sorte que du devis primitif on s'éleva finalement à 111.000 francs, soit à plus du double.

Le mètre courant de galerie revenait ainsi en moyenne à 130 francs.

Ouvrages romains. — La partie la plus difficile des travaux, à cause des épuisements, fut son extrémité amont. En ce point, situé auprès de l'angle nord-ouest des thermes civils, les fouilles se heurtèrent contre une masse de pierres de taille en oolithe blanche, au pied de laquelle se formait une énorme source. On arrêta en ce point les travaux, qui auraient dû être prolongés d'une dizaine de mètres plus à l'ouest, si l'on n'avait alors reculé devant les difficultés d'extraire ou de briser ces blocs dans un chantier aussi restreint. Quand nous avons repris les travaux, cinq ans plus tard, nous avons reconnu dans ces pierres le bas des piliers de l'ancienne construction romaine.

Auprès de cette muraille en pierres, on trouva le sol formé par un dallage épais en grès, d'où sortait par un joint une source abondante. Un coup de barre à mine donnée dans ce trou révéla l'existence d'une cavité souterraine de 2 mètres de profondeur environ : c'était une des galeries aboutissant au puisard romain. La communication entre la source et le puisard était évidente, car son ouverture fit aussitôt baisser le puisard au même niveau; le jeu des pompes à vapeur dans cet ouvrage permit de faire le radier, après avoir rempli autant que possible toute la cavité de gravier et de béton. La cote du radier en ce point était fixée à 251,75. On lui donna un surcroît d'épaisseur en ciment pour éviter les fuites provenant de la source, ce qui l'amena à 251,78.

A 4 mètres en aval, les travaux rencontrèrent un petit mur, puis une excavation de $0^m,60$ de profondeur, à fond dallé, qui paraissait être une ancienne piscine romaine. Un petit siège formé d'un bloc de grès circulaire de $0^m,40$ de diamètre et $0^m,40$ de hauteur se trouvait dans cet ouvrage et confirmait l'idée que l'on y attachait. La piscine paraissait avoir 4 mètres de largeur. De l'autre côté, elle était limitée par un petit mur en briques.

Plus à l'est, on rencontra un premier aqueduc romain, dont la voûte était détruite. Il présentait encore un fond dallé et deux piédroits en pierre de taille de $0^m,50$ d'épaisseur et de $0^m,75$ de hauteur, distants de $0^m,70$. Son radier était placé à la cote 252,45. Il était dirigé obliquement, par rapport à la tranchée, du nord-ouest au sud-est, et passait à 5 mètres de l'angle nord-est des thermes civils.

Vers l'extrémité de la place des bains, en face des sources militaires, la tranchée recoupa un second aqueduc, rempli de vase, mais parfaitement conservé, ayant une largeur de $0^m,70$ et une hauteur de $1^m,90$; le radier se trouvait à la cote 250,85, et sa direction allait à l'est, un peu nord. (Cette galerie semble faire partie de l'ancien aqueduc collecteur romain, comme nous le verrons plus loin.)

Après les sources militaires, on tomba dans un réseau de galeries romaines appartenant à l'ancien système de captage des eaux. Leur radier général se trouvait à la cote 251 environ, c'est-à-dire à $0^m,70$ au-dessous de celui de la nouvelle galerie. Ces galeries étaient construites en moellons sur radier en béton au ciment de tuileaux. L'une d'elles, venant de l'ouest, présentait un tuyau en plomb (*) placé dans une sorte de niche. Ce tuyau s'enfonçait verticalement, comme ceux reconnus par Lebrun aux sources Étuves et Patrice. Il est même probable que ce tuyau est le troisième signalé par Lebrun comme ayant été vu et laissé débouché, car sa galerie doit communiquer avec celles de l'hôpital militaire découvertes et explorées en 1784. Du reste, ce tuyau ne donnait pas d'eau, et toutes les galeries étaient remplies de vase.

L'un des branchements de cette galerie, dirigée au sud, semblait aller se déverser dans la galerie précédemment rencontrée et située plus profondément. Un autre branchement retournait au nord-ouest vers les sources militaires. Il présentait un tuyau de plomb horizontal dont un bout était pris dans un mur de fermeture grossièrement construit et datant probablement de 1784. L'autre bout était terminé par un petit clapet de bronze d'une disposition assez intéressante. Ce clapet, renversable, et muni de trois anneaux pour introduire une goupille à la main, devait permettre de faire passer par le tuyau de plomb une

(*) Au moins à l'orifice.

partie des eaux circulant dans les galeries, ou, au contraire, de fermer toutes les communications. Il est en parfait état, tandis que le tuyau de plomb était partiellement corrodé. Ce tuyau de plomb portait en relief l'inscription CINNAMVS FEC, en gros caractères très nets. Il avait une épaisseur de $0^m,01$ et un diamètre intérieur de $0^m,08$. Quant à sa coupe, comme celle de tous les tuyaux romains rencontrés à Bourbonne, elle a la forme légèrement ovoïde, avec bourrelet, souvent signalée dans les restes de l'époque romaine. Les largeurs de ces galeries étaient de $0^m,50$, $0^m,70$ et $0^m,80$, avec quelques élargissements formant de petites chambres voûtées à section carrée de $1^m,20$ à $1^m,35$ de côté.

Après cet ensemble de travaux romains, on n'a plus rencontré qu'une petite galerie à radier à la cote 251, ayant $0^m,60$ de largeur et 1 mètre de hauteur, à 200 mètres environ en aval des précédentes. Mais nous supposons que l'aqueduc a bien pu passer, sans qu'on le vît, au-dessus du prolongement de la galerie recoupée à l'angle des bains, comme il a passé au-dessus d'une galerie de même niveau à son extrémité amont. La différence de $1^m,50$ environ entre les cotes de cet ancien radier et du nouveau permet cette hypothèse.

Ce qui nous inspire cette pensée, c'est que, tout à fait à l'aval, on a rencontré et recoupé deux fois une galerie romaine située précisément au même niveau. Ces dernières galeries étaient dirigées dans le sens du cours de la rivière d'Apance, comme la précédente l'était dans le sens du ruisseau de Borne. Il paraît évident que ces trois tronçons forment un seul et même aqueduc remplissant exactement le rôle du nouvel égout, mais situé $1^m,80$ ou $1^m,60$ plus bas au moins, et, pour les réunir, il faut nécessairement traverser une fois au moins la tranchée. Cet aqueduc romain devait déboucher dans la rivière beaucoup plus bas que le nôtre, et par conséquent, profitant d'une pente plus

longue, il pouvait tenir la zone des bains mieux à l'abri de l'effet des hautes eaux de l'Apance. Peut-être même existe-t-il encore, car les tronçons rencontrés étaient en très bon état. Mais les ingénieurs des mines étaient trop pressés de temps et d'argent pour pouvoir faire aucune recherche dans ces vieilles galeries. Il eût fallu d'abord les vider de la boue qui les remplissait, ce qui eût été un travail considérable.

Quelques coups de pelle dans la vase ont seulement été donnés à l'entrée des tronçons. Ils ont paru indiquer la présence, entre les deux dernières parties, d'un embranchement dirigé vers une petite vallée perpendiculaire à celle de l'Apance.

De grandes sources d'eau douce ont été trouvées au pied de petits bancs de roche calcaire au travers desquels a passé la tranchée dans la rue de l'hôpital. Ces sources ont exigé des épuisements fort coûteux et retardé les travaux. De plus, elles ont causé des éboulements fort compromettants pour les maisons voisines, malgré le boisage soigné adopté par M. Duporcq. La plus belle de ces sources a été conservée au moyen d'un tuyau de plomb traversant la maçonnerie des piédroits. Elle est utilisée aujourd'hui par l'hôpital militaire.

Boisage, drainage et vanne. — Pendant tous les travaux, on a adopté pour le boisage le système suivant, représenté sur les *fig.* 9 et 10, Pl. VI :

Le haut du terrain étant entaillé sur 2 mètres de hauteur et $2^m,30$ de largeur, on y plaquait verticalement des madriers jointifs tout le long des parois, et on les maintenait avec deux rangées de longrines écartées de 1 mètre et arc-boutées par des poutres horizontales distantes de 1 mètre environ. Les madriers avaient $0^m,05$ d'épaisseur, les longrines $0^m,20$ sur $1^m,10$, et les poutres $0^m,20$ sur $0^m,20$, ou $0^m,15$ sur $0^m,15$.

Une fois le coffrage du haut complètement achevé, on

reprenait le travail d'approfondissement sur 1 mètre seulement, et l'on maintenait la terre avec des planches étayées par une ou deux rangées de longrines. Le dernier mètre était taillé à vif et maçonné aussitôt que possible. On arrivait ainsi à maintenir assez solidement les parois, sans pouvoir cependant éviter toujours les fissures dans le sol à quelque distance de la tranchée.

Mais les principaux tassements se sont produits après le remblayage du vide restant au-dessus de la voûte, malgré le soin apporté au pilonnage des terres réemployées, et plusieurs maisons de la rue Lateau ont souffert un peu de ce voisinage.

Le long des piédroits de l'aqueduc, un drainage a été établi jusqu'à l'hôpital militaire pour assainir cet établissement. Le premier effet de cette opération a été de causer de grandes pertes d'eau minérale au puisard romain et aux sources militaires. Dès la construction de l'aqueduc, on a pu constater que les sources Patrice et Étuves avaient cessé de couler et que le puisard romain, quand on n'y épuisait pas, au lieu de fournir par lui-même un trop-plein d'une trentaine de mètres, en empruntait environ 80 aux sondages que l'on y déversait. Ce fait n'a rien d'étonnant, si l'on remarque que le puisard est en communication, par le sous-sol, avec un certain nombre des galeries romaines, et que celles-ci peuvent emmener les eaux au drainage. La diminution des trop-pleins n'avait pas d'ailleurs bien grande importance, puisque, pendant la saison balnéaire, l'épuisement dans les puisards empêchait les eaux de se porter au drainage. D'ailleurs, l'aqueduc n'avait jamais été considéré que comme une première partie de l'abaissement général, et peu importait qu'il présentât quelques inconvénients passagers.

Une autre conséquence de l'aqueduc et de son drainage pouvait être de fournir un excédant d'eau douce par appel dans les puisards pendant la marche des pompes. On ne

s'est pas préoccupé de ce fait jusqu'aux nouveaux travaux, parce que tout le monde regardait la situation comme transitoire et comme destinée à subir une prompte transformation.

Mais l'aqueduc a une autre difficulté à vaincre : la rivière d'Apance est sujette à des crues subites de plus de 4 mètres, montant alors de 3m,75 au moins au-dessus du radier de la tête aval, et par conséquent à près de 3 mètres au-dessus de la cote du radier à la tête amont. Laisser l'aqueduc ouvert à ces intrusions, c'était amener les crues presque au niveau du sol de la place des bains et risquer de faire pénétrer de l'eau douce dans tous les ouvrages souterrains.

M. Duporcq a essayé de prévenir ces accidents en fermant la tête aval au moyen d'une vanne autoclave en bronze engagée dans la maçonnerie et ayant une ouverture circulaire de 0m,25 de diamètre (*fig.* 8, Pl. VI). La vanne devait laisser écouler les eaux de l'aqueduc; en cas de crue, elle devait se fermer et ne laisser l'aqueduc se remplir que par les eaux thermales provenant des sources. Comme la capacité de l'aqueduc est de 600 mètres cubes, il aurait fallu aux sources, pour le remplir, au moins vingt-quatre heures, temps suffisant pour laisser passer le fort de la crue. Malheureusement, l'expérience a montré que ce moyen préservatif était insuffisant, et nous avons dû adopter divers expédients pour en éviter les désastreux effets.

Le seul moyen vraiment efficace, de laisser l'aqueduc toujours libre, aurait été de lui donner une longueur de 3.000 mètres et de le faire aboutir à l'Apance, au-dessous d'une retenue d'eau dite « le battant d'écorce ». Lebrun avait bien proposé cette longueur ; mais il évaluait la dépense totale à 6.000 francs, tandis que le coût réel en aurait été de 300.000. On a reculé devant cette somme élevée ; les Romains, au contraire, avaient probablement accepté cette conséquence de la situation, et nous pensons que leur aqueduc, placé à 1m,80 au-dessous du nôtre, devait aboutir à peu près au point que nous signalons. Peut-être même leur ouvrage existe-t-il encore ; mais il n'a pas été recherché en 1869, et quelques essais, bien incomplets, il est vrai, tentés en 1877, ne nous ont pas fait retrouver la trace de leur égout à l'aval du nôtre. Nous croyons que cette recherche offre un grand intérêt, et nous pensons qu'elle sera reprise tôt ou tard.

Résumons la construction de l'aqueduc, en disant que, pendant cette année 1869, on a construit un égout, à section ovoïde, dont le radier commence à la cote 251,78, auprès de l'angle nord-ouest des bains civils, pour aller déverser les eaux, après un parcours de 850 mètres, à la cote 250,78, dans la rivière d'Apance, et que le déversoir est fermé plus ou moins complètement à son débouché, par une vanne autoclave en bronze.

Reprise des travaux. — M. Duporcq ayant quitté la Haute-Marne après la fin de l'aqueduc, nous avons dû reprendre la suite des travaux de Bourbonne. Mais la guerre et la question de dépense ont arrêté tout travail jusqu'à l'année 1875.

En 1874, l'administration a décidé la continuation des travaux ; de nouveaux plans ayant été établis pour la reconstruction des thermes, nos projets ont dû subir des modifications assez importantes, et notamment le déplacement des puisards et des grands réservoirs. Nous avons adopté d'ailleurs, en principe, le refroidissement par simple exposition à l'air.

Les nouveaux travaux n'ont pu être commencés que le 10 février 1875, époque bien tardive pour finir au 15 mai. Mais une saison exceptionnelle est venue les favoriser, fort heureusement d'ailleurs, car ils eussent été à peu près impossibles, avec les conditions climatériques habituelles de Bourbonne, de février à mai. Sauf deux ou trois inondations, nous avons peu souffert du mauvais temps, et nous avons eu déjà bien de la peine à épuiser les 4.200 mètres

cubes journaliers qu'il nous a fallu enlever parfois, dans des chantiers très restreints, pendant des semaines entières.

Le premier travail consistait forcément à commencer le réseau des galeries souterraines par les parties aboutissant à l'aqueduc de 1869 et à prolonger ces sections jusqu'à l'emplacement des puisards projetés. Nous pouvions ainsi nous dispenser de presque tous les épuisements jusqu'à la cote 251,75, c'est-à-dire sur près de 4 mètres de hauteur. Les travaux furent, en effet, entrepris à partir de l'aqueduc jusqu'au puisard civil d'une part, et jusqu'au puisard militaire d'autre part; ces deux sections avaient respectivement 18 et 22 mètres de longueur. Toutes deux devaient comporter un raccordement particulier pour passer du profil adopté pour l'aqueduc (*fig.* 7, Pl. VI) à celui que nous avions dû choisir (*fig.* 2) pour les galeries des sources. Ces dernières, devant recevoir un ou deux gros tuyaux (départ et amenée), présentaient deux banquettes destinées à les soutenir.

Les travaux des deux puisards furent commencés simultanément jusqu'à la profondeur d'écoulement des eaux; puis on termina le puisard militaire. On reprit ensuite le puisard civil, et enfin on acheva le réseau des galeries des sources. Cet ordre chronologique était déterminé par les circonstances mêmes du travail, et surtout par le petit nombre des pompes d'épuisement dont nous disposions; mais, pour exposer les travaux, il nous paraît plus avantageux d'examiner les divers ouvrages séparément.

Puisard militaire. — Les *fig.* 1 et 2, Pl. VII, montrent la coupe et le plan du travail à exécuter. L'excavation principale devait présenter à la base une longueur de 15 mètres sur une largeur de 6 mètres, formant les dimensions de la couche de béton à poser sur 1 mètre d'épaisseur environ; elle devait aller en s'élargissant un peu pour permettre le boisage; puis, à la côte 251,47, elle devait présenter une

largeur de 7m,20 sur une longueur de 16m,20, afin de réserver la place des galeries du sondage 8 et du sondage 9.

La fouille fut donc commencée sur ces dernières dimensions et sur 2 mètres de hauteur. Aussitôt après, on la boisa, en la garnissant en totalité de deux épaisseurs de madriers de 0m,06 d'épaisseur, posés verticalement et jointifs, réunis intérieurement par des longrines de 0m,20 de large et 0m,10 d'épaisseur, placées à 1 mètre de distance verticale l'une de l'autre, en deux rangées. Les longrines étaient arc-boutées par des pièces de bois de 0m,20 à 0m,30 d'équarrissage, en sapin, ayant une longueur de 6m,75, et écartées de mètre en mètre. Des contre-fiches réunissaient entre eux les grands étais pour en empêcher le flambage et les transformer en une sorte de treillis immuable. Les extrémités de la fouille, plus difficiles à garantir, étaient garnies de madriers, avec longrines soutenues par de courtes fiches appuyées sur les grands étais, choisis parmi les plus forts.

Cette première partie de la fouille a présenté peu d'intérêt; elle était composée de remblais rocailleux. On y a mis à découvert la voûte de la galerie moderne, réunissant le sondage n° 8 aux sources romaines et au puisard militaire.

Aussitôt la première zone boisée, on attaqua de nouveau la terre sur 2 mètres de profondeur. Les déblais se composaient encore de démolitions; mais on commença à rencontrer au fond une masse de terre glaise de couleur grise. Elle était rapportée et posée par mottes, car elle renfermait des filaments de racines.

Dès cette seconde entaille, on tomba sur un aqueduc romain rempli de boue. Sa forme générale était ovoïde et se composait d'un cintre de 0m,85 de diamètre, réuni par des piédroits, de 0m,80 de hauteur, à un radier plan de 0m,85 de largeur. Cette construction était exécutée en moellons. Les piédroits avaient une épaisseur minima de 0m,80; le tout en parfait état (*fig.* 2, Pl. V).

Le radier de cet ouvrage était placé à la cote 250,70, comme celui de plusieurs des galeries romaines recoupées par l'aqueduc. La construction traversait toute la largeur des fouilles, suivant une direction est-ouest, puis elle s'infléchissait aux deux extrémités dans la direction du sud.

La suite des travaux a montré que tout cet aqueduc était porté par un mur vertical de $0^m,85$ d'épaisseur, construit en béton, et descendant jusqu'à la cote 246,80, où il rencontre la couche générale du béton romain. Des deux côtés de ce mur, de la glaise était tassée jusque vers le haut de la voûte de l'aqueduc dont nous venons de parler, soit sur 6 mètres de hauteur environ.

Tout le reste de la fouille du puisard a été entaillé dans cet amas de glaise. Le boisage a été continué par sections de 2 mètres de hauteur jusqu'à 6 mètres de profondeur. Au-dessous de ce niveau, une rangée de planches a été établie, sur 1 mètre de hauteur, contre les parois, toujours avec le même système d'étayage.

Mais la fin du travail a été retardée par la dureté du mur de béton entaillé, par des éboulements survenus à l'extrémité nord, et surtout par les effets de la source n° 2. Voici ce qui se passait en cet endroit :

Tubage romain. — La source n° 2, dite Patrice, et la source n° 1, ou des Étuves, sont deux orifices de tubages verticaux, percés dans le radier d'une même galerie romaine, et découverts par Lebrun. Elles coulaient à peine à leur orifice lors du commencement des travaux. Dès que l'on plaça une pompe sur la source n° 2, on s'aperçut que l'équilibre s'établissait instantanément avec le n° 1, et, dès qu'on entama le radier au n° 2, le n° 1 cessa de couler.

Une fois le radier enlevé, nous reconnûmes que le débit devenait notable, et nous essayâmes de nous en débarrasser sans recourir aux pompes. Comme la source ne présentait aucune pression, nous crûmes d'abord arriver à notre but en scellant un bout de tuyau à son orifice et en fermant le n° 1 ; mais, au-dessous du radier, nous rencontrâmes une pierre de taille formant puits autour de la source, et le joint de celle-ci avec la suivante s'ouvrit aussitôt et laissa passer un fort volume d'eau qui obligea à commencer les épuisements. Une seconde fois, nous enlevâmes la pierre pour tâcher de boucher la source ; mais aussitôt l'eau se fit jour plus bas, décollant l'argile autour de la seconde assise, et coulant abondamment dans la fouille. Le même phénomène se reproduisit à chaque approfondissement, avec un débit de plus en plus important, qui dépassa 400 mètres cubes à la profondeur de 8 mètres.

Tous les moyens de bouchage essayés ont été illusoires, ou du moins leurs effets ne duraient qu'un instant. Les bondes avec ou sans chiffons disparaissaient aussitôt qu'on les enfonçait à la profondeur de 9 mètres, pour ne plus revenir à la surface ; un élargissement évident existait à ce niveau, et un courant semblait écarter de la verticale des tuyaux les objets légers poussés à cette profondeur, car le courant de la source ne les ramenait pas à la surface. Une tige a pu être introduite à $14^m,50$ de profondeur dans ce trou, sans rencontrer de résistance. Cependant elle devait atteindre un dépôt de matières meubles, car l'eau se troublait et se chargeait de débris organiques de petites dimensions, tels que noisettes, feuilles noircies et menus bois.

Le tubage de la source n° 2 se composait de tuyaux en plomb de 2 mètres de longueur et de $0^m,10$ de diamètre intérieur, profondément corrodés, mais dont un fragment en meilleur état permettait de lire CINNAMVS FEC. Ces tuyaux avaient 1 centimètre d'épaisseur. Ils étaient réunis au moyen d'un cône tourné en bronze ; la construction de cet assemblage est fort curieuse. Il est évident que le tuyau inférieur était soudé au bout femelle (*). On logeait une

(*) Voir Planche VIII, *fig.* 10.

bague de plomb, à l'intérieur, dans une petite rainure ménagée à cet effet; puis on présentait le bout mâle, soudé à un autre tuyau. Par simple pression, et par écrasement de la rondelle de plomb, le joint pouvait être hermétique. Une pareille disposition était très bonne pour une colonne verticale commencée sur une base fixe et susceptible d'être imitée dans des circonstances où la pose devrait être presque instantanée et se faire malgré les eaux. Des pierres de grès de $0^m,70$ de côté et de $0^m,50$ de hauteur, percées d'un trou central de $0^m,22$ de diamètre, étaient ensuite enfilées comme des bagues autour de ces tuyaux et réunies par une mince couche de ciment. Enfin, après l'achèvement de la colonne, tout l'espace libre était rempli de mortier de ciment de tuileaux, formant une seconde enveloppe imperméable.

Si la source n° 2 nous a tant gênés, c'est parce que les tuyaux de plomb étaient détruits et la chemise de ciment brisée à tous les joints; sans ces circonstances, nous n'aurions pas démoli ce tubage, et la source serait restée en charge comme nos sondages. Les joints en bronze étaient, au contraire, en état parfait de conservation, sauf la disparition de la bague intérieure, dissoute par les eaux minérales.

D'autres venues d'eau se sont manifestées à la fin des fouilles. Toutes celles qui prenaient origine au sud du mur en béton romain étaient à une température de 45 degrés, comme le n° 2. Elles paraissaient arriver horizontalement entre les lits de glaise et provenir des fuites d'autres tubages analogues au n° 2, par exemple du tubage de la source n° 1, qui doit être identique à son congénère.

Au contraire, les sources placées au nord du mur de béton, étaient froides et non salées. Elles arrivaient entre les lits de glaise, et surtout contre le mur lui-même. Il est probable que ce sont des infiltrations du ruisseau de Borne.

Maçonneries. — La fouille du puisard a été terminée à

la cote 247,17 pour y établir le béton de fondation en forme d'une couche de 1 mètre d'épaisseur, de 15 mètres de long et de 6 mètres de largeur, avec un prolongement à l'est destiné à la galerie des pompes : à l'extrémité de celle-ci, l'excavation avait $0^m,50$ de plus pour former le puisard d'aspiration. En ce point, à la cote 246,80 en est tombé précisément à la surface du béton romain, fort dur en cet endroit, mais perméable probablement, car une quantité d'eau chaude importante pénétrait dans cette petite fouille de tous côtés. L'affaissement rapide des parois des excavations obligeait à mettre une certaine hâte à l'élévation des maçonneries : aussi coulait-on le plus vite possible une couche de béton de $0^m,50$ pour les fondations du puits des pompes.

Sur le béton du puisard, on plaça un radier de $0^m,20$ d'épaisseur en moellons, et l'on commença à élever les piédroits avec une épaisseur de $1^m,60$ à la base, et une distance intérieure de $2^m,60$; puis on continua en élargissant le vide et en diminuant l'épaisseur, de manière à parvenir, après $3^m,60$, à une forme intérieure de 13 mètres sur 4 mètres, avec une épaisseur de piédroits de $0^m,90$. Ceux-ci furent arrêtés à la cote 251,97, niveau choisi pour le trop-plein. Une voûte surbaissée de $0^m,50$ d'épaisseur, 4 mètres de portée et 1 mètre de flèche recouvrit la cuve, sauf réserve de deux cheminées; une chape de $0^m,05$ d'épaisseur fut appliquée sur cette voûte avant le remblayage.

La galerie des pompes fut exécutée simultanément, mais le montage du puits en pierres de taille exigea un temps assez considérable. Ce puits se composait d'assises en grès bigarré, formant une tour circulaire, commençant avec un diamètre intérieur de 1 mètre à la base pour le puisard d'aspiration des pompes, et s'élargissant progressivement jusqu'à 2 mètres de diamètre, à la cote 251,97, pour recevoir le bâtis de la pompe à vapeur. Quand les maçonneries du puisard furent terminées, on s'occupa de les

rejointoyer à l'intérieur. Enfin on posa un cimentage sur le radier. Mais, par suite de l'insuffisance du béton, les eaux soulevèrent le ciment, et descellèrent les moellons du radier. On dut alors enlever celui-ci, et le remplacer par une couche de briques debout, sur $0^m,22$ d'épaisseur, posées au ciment. On donne une flèche de $0^m,12$ à ce radier, afin de lui permettre de résister par lui-même à la pression des eaux de l'extérieur à l'intérieur. Cette opération, menée avec soin, réussit à merveille, et le radier est étanche. Il ne reste dans le puisard que des fuites sans importance dans les parois. Mais le fond du puits des pompes donne beaucoup plus d'eau, et il y aurait une réparation à lui faire subir.

C'est sur ce puits que le service du génie a installé ensuite sa machine élévatoire.

Nous devons ajouter que, pendant le montage des piédroits du puisard, nous avons fixé dans la dernière pierre du tubage romain un tuyau en terre vertical de $0^m,10$ de diamètre intérieur, tuyau que nous avons ensuite prolongé dans le piédroit même, jusqu'à la cote 252, où il débouche dans une galerie ancienne. A ce point, nous lui avons adapté un petit tuyau de plomb qui donne un faible débit; mais, à la cote 249, nous avons établi un embranchement en plomb, de $0^m,06$ de diamètre, muni d'un gros robinet à l'intérieur du puisard. L'ouverture de ce robinet fournit un jet puissant produisant plus de 200 mètres cubes par jour, et cette ressource peut être fort utile à l'occasion, soit pour décharger les maçonneries en cas de réparation, soit pour alimenter en partie l'hôpital militaire au besoin. La température de 45° de cette source permet de l'utiliser facilement dans les cas d'urgence, comme appoint, pour le service balnéaire.

Puisard civil. — Le puisard civil est tout à fait analogue au puisard militaire, seulement sa longueur à la cote 231,97 est de 17 mètres au lieu de 13 mètres. Il est situé sur la

place des Bains, entre le sondage n° 11, et les établissements thermaux. Ces fouilles ont été beaucoup plus curieuses que celles du premier (*fig.* 4 et 5, Pl. VII).

Le sol ayant été entaillé sur 20 mètres de longueur et $7^m,50$ de largeur, et à la profondeur de 2 mètres, nous avons commencé à apercevoir le haut de tronçons de colonnes romaines, enterrées sous les gravois et les décombres de toute nature. La fouille, boisée complètement sur ces 2 mètres comme celle du puisard militaire, a été continuée ensuite sur 2 mètres encore, en mettant en évidence ces tronçons, tous arasés au même niveau, à $1^m,80$ en contre-bas du sol de la place. Enfin à 4 mètres de profondeur, cote 251,40, nous avons trouvé un grand pavage en grès, et nous avons pu nous rendre compte de la disposition générale des constructions découvertes. Nous étions placés entre une rangée de gros pilastres disposés le long du bord nord de la fouille, et un mur partie briques, partie moellons, formant le bord sud de la même fouille.

Le fond de la fouille était constitué par un dallage en grès, encastrant la base des pilastres; une porte de $2^m,60$ de hauteur et $1^m,80$ de hauteur en plein cintre, dépendait du mur sud : elle se composait de voussoirs en pierre oolithique de Chalvraines, présentant des traces d'une moulure assez compliquée et soignée. En face de cette porte, deux tronçons de colonnes cannelées, en forme de cœur, reposaient sur leurs piédestaux, posés sur le dallage, tandis qu'à la suite de ces colonnes, en allant vers l'est, on voyait trois pilastres demi-circulaires adossés à des piliers rectangulaires, formant la suite de la ligne des deux premières colonnes, mais avec leurs bases encastrées dans le dallage. Tous ces piliers étaient en oolithe blanche, ainsi que les fragments de corniches qui se trouvaient épars sur le dallage, au milieu de tuiles brisées et de morceaux de tuf peu abondants. Enfin, au pied de l'un des piliers, le dernier à l'est, on voyait un bloc de grès que nous avons

ensuite dégagé, et que nous avons reconnu pour un tronc à offrandes. Ce petit monument, seul en grès, était composé de deux parties. La première en forme de petite cuve rectangulaire, était posée sur le dallage : elle présentait sur chacune de ses faces des restes de scellements au plomb; la seconde, en forme de pyramide tronquée, creusée à l'intérieur, était à côté de la première partie, renversée sur le dallage. Elle portait des scellements correspondants, et formait évidemment le couvercle. Une cassure existait dans une des petites faces : au dessus d'elle, une petite ouverture de $0^m,06$ de long sur $0^m,015$ de large, venait révéler l'usage du monument et le faire reconnaître pour un tronc massif et de taille grossière, qui avait dû être autrefois fermé par des ferrures, arrachées ensuite volontairement.

Nous avons fait extraire des fouilles, avant d'attaquer le dallage, toutes ces pierres de taille. Elles étaient généralement presque intactes. Un morceau du piédestal d'une des colonnes cannelées avait été rongé par une petite source qui se faisait jour au pied de la colonne dans le dallage; les voussoirs de la porte placée en face étaient dégradés, probablement par l'infiltration des eaux pluviales ; enfin le pilier Est était assez profondément corrodé.

Nous avons complété le piédestal abîmé, et installé les deux colonnes cannelées dans le jardin des bains, en les plaçant comme dans la fouille, à la distance de 3 mètres; auprès d'elles nous avons posé le tronc en grès. Ces colonnes sont curieuses par leur inégalité : le piédestal de l'une a $1^m,10$ sur 0,85, celui de l'autre a $0^m,97$ sur $0^m,80$; les deux fûts présentent des différences analogues et inexplicables. On peut remarquer encore que les assises du piédestal sont faites de deux pierres placées en long dans l'une et en travers dans l'autre. Ces pierres portent des entailles sur leur face supérieure : les unes montrent qu'on les plaçait à la louve ; les autres étaient destinées à poser des agrafes, mais il n'y en a jamais eu. La même remarque

s'applique aux corniches d'entablement : leurs fragments sont très différents les uns des autres, et, sauf une seule pièce, les agrafes n'ont jamais été posées.

Quant aux autres colonnes, elles se composaient de longues pierres de taille, ayant en moyenne $1^m,65$ de long, $0^m,65$ de large et $0^m,55$ de hauteur. Chaque assise était composée de deux de ces pierres juxtaposées : l'une brute et l'autre dégrossie de manière à présenter en saillie, au milieu de sa longueur, un pilastre demi-circulaire de $0^m,55$ à $0^m,60$ de diamètre. Ces pierres n'offrant par elles-mêmes rien de remarquable, nous les avons extraites pour les découper et en faire le couronnement de nos réservoirs. Nous y avons pris aussi des pièces pour former la base des cheminées, et pour quelques autres usages, par exemple pour les portes et les angles des galeries.

La pierre employée par les Romains pour toutes ces constructions était tirée des carrières de Chalvraines, situées à 45 kilomètres au nord-ouest de Bourbonne, et appartenant à la grande oolithe blanche. Elle était généralement saine et a passablement supporté les hivers en réemploi. Les surfaces n'étaient pas taillées, mais seulement dégrossies, au moins pour les piliers : il est probable que les pilastres devaient être finis en place, mais que l'œuvre n'a pas été achevée. La première assise seule présentait une embase débordant de $0^m,10$ le gabarit du pilier ; mais cette embase était posée au dessous du dallage en grès.

Lorsque nous sommes arrivés sur le dallage, à la profondeur de 4 mètres environ au dessous du sol, nous avons rencontré peu d'eau : il y avait seulement de petites sources traversant le dallage près des colonnes, et des infiltrations en quelques points des parois de la fouille. Mais l'eau est arrivée en abondance aussitôt que nous avons continué l'approfondissement.

Le dallage se composait de grands morceaux de grès

bigarré de $0^m,20$ d'épaisseur. Sa surface était à peu près horizontale, mais présentait deux rainures de $0^m,25$ de large et de $0^m,05$ de profondeur, destinée, sans doute à guider des eaux pluviales, bien que l'on ne voie pas comment la pluie devait être admise dans cette enceinte, autrefois recouverte d'un toit.

Au dessous du dallage se trouvait un second sol, placé au niveau de l'embase des piliers, et formé de petites briques de $0^m,10$ de long, $0^m,10$ de haut et $0^m,02$ d'épaisseur, posées de champ en forme parquetée. Une mince couche de béton séparait les briques du dallage qui les surmontait. Au dessous d'elles on trouvait un radier de béton de $0^m,50$ d'épaisseur, posé sur une rangée de moellons bruts formant drainage. Dans le béton étaient enclavés de petits canaux de $0^m,15$ à $0^m,20$ de large sur $0^m,25$ de hauteur revêtus en pierre sciée en dalles minces. Un autre canal, formé de deux pierres creusées, réservant une section circulaire, renfermait un tuyau de plomb de $0^m,10$ de diamètre. Ce tuyau était entouré de béton fin : il se dirigeait du sud au nord, traversant toute la fouille, partant de la chambre des pompes et allant au sondage n° 12. C'était le prolongement du tuyau rencontré en exécutant ce sondage. Il était profondément corrodé; cependant on y lisait facilement la marque du fabricant : COCILLVS FEC. Les diverses parties de ce tuyau étaient assemblées par emmanchement de l'une dans l'autre, avec un nœud de soudure.

Le béton s'arrêtait, au sud, contre le mur vertical formant paroi de la fouille, et descendant à deux mètres plus bas. Ce mur était monté sur des pilotis en bois d'aulne, partiellement transformés en carbonate de chaux : il était partie en moellons et partie en briques.

A l'ouest, un mur en moellons limitait le béton, mais sans descendre plus bas que lui, et sans que nous ayons vu des pilotis pour le soutenir. — A l'est, le béton se dirigeait vers le puisard et dépassait la limite de nos fouilles.

Enfin au nord, il était interrompu par un mur de $1^m,35$ d'épaisseur, pour reprendre au delà. Ce dernier mur descendait de $2^m,50$ au dessous de la partie inférieure du dallage. Au dessous des colonnes, il se composait de cinq assises de pierre de taille oolithique, formées chacune de deux pierres de $1^m,30$ de long, $0^m,65$ de large et $0^m,50$ de hauteur, placées en croix les unes au dessus des autres, et posées simplement dans les marnes en place, sans béton ni pilotis. Les entrecolonnements étaient occupés par un mur en moellons de même épaisseur, posé sur un drainage en moellons à sec, et sans pilotis. Nous avons enlevé toutes celles de ces pierres qui dépassaient la paroi de nos fouilles.

Au dessous du béton, le terrain était composé de marnes presque noires, assez solides et évidemment en place. Grâce aux constructions romaines, il n'a pas été nécessaire de boiser complètement la tranchée au-dessous des quatre premiers mètres : il a suffi d'un petit nombre d'étais pour éviter les éboulements.

Mais, au dessous du dallage, les travaux ont été rendus difficiles par les épuisements. Une quantité considérable d'eau chaude nous arrivait surtout de la face est, par des communications souterraines avec le puisard et les galeries romaines. Elles pénétraient dans la fouille par le drainage romain et par plusieurs des petits canaux enclavés dans le béton. Leur température atteignait 55° et leur volume moyen était de 50 mètres cubes par heure.

Maçonneries. — Une fois la fouille parvenue à la cote 247,47 où elle devait se terminer, pour arriver à exécuter les maçonneries, nous avons fait comme les Romains : nous avons creusé un petit puisard d'aspiration, et établi sur tout le fond de la fouille un drainage composé d'une assise de moellons posés debout et à sec, de façon à amener au puisard toutes les eaux qui suintaient des parois de l'excavation. Placé près de la face est, le puisard recevait directement la venue d'eau chaude la plus importante,

amenée par un petit chenal creusé dans la marne et recouvert d'une planche. Dans le puisard plongeaient les aspirateurs de deux pompes centrifuges, et parfois ceux de deux pompes Letestu, toutes manœuvrées jour et nuit.

Pour poser le béton, une caisse en bois prolongea le puisard sur 1 mètre de hauteur, et les épuisements furent maintenus jusqu'à ce que les piédroits terminés dépassassent le niveau d'écoulement naturel par l'aqueduc. Enfin, après la pose du radier en moellons, nous essayâmes de boucher le trou réservé, après avoir enlevé la caisse en bois. Mais nous ne pûmes réussir cette fermeture qu'en plongeant dans le vide un tuyau en plomb de $0^m,12$ de diamètre, muni d'une bride, et en continuant l'aspiration par ce tuyau jusqu'à ce que le trou fût fermé au ciment. En posant alors la contre-bride obturée par une plaque de cuivre, la source fut arrêtée très rapidement.

Mais, aussitôt cette fermeture opérée, l'eau apparut de toutes parts, à travers le radier, et en quelques points des parois. Ces dernières furent facilement réparées au ciment, et les fuites complètement effacées, grâce à la décharge produite par l'ouverture de la bonde de fond. Mais le radier était perdu, et l'on dut assurer son étanchéité indépendante, comme au puisard militaire, en le remplaçant par une voûte renversée en briques debout, ayant $0^m,22$ d'épaisseur. La longueur de cette voûte est de $15^m,60$, sa portée de $2^m,60$ et sa flèche de $0^m,10$. Elle est maçonnée au ciment et parfaitement étanche.

La voûte présente la même disposition qu'au puisard militaire, avec deux cheminées. Mais il n'y a pas de galerie des pompes au niveau du radier. La nature ébouleuse de la paroi sud nous a obligé à faire l'aspiration directement dans le puisard. Une excavation, réservée dans le radier, sert à loger la grenouillère; un trou dans la voûte communique avec la chambre des pompes par une petite galerie placée au dessus du niveau du trop-plein.

Chambre des pompes. — Au sud du puisard, à une distance de 4 mètres environ, devait être installée la chambre des pompes. D'après nos projets, son radier était à la cote 251,97, comme les banquettes des galeries : elle avait la forme d'un rectangle de $4^m,50$ sur $3^m,50$ à l'intérieur. La chambre a été exécutée en effet dans ces conditions. Sa construction a fait rencontrer de nouveaux travaux romains présentant quelque intérêt.

A la profondeur de $4^m,50$, nous sommes tombés sur un dallage romain en pierre oolithique, placé au même niveau que le dallage en grès. Il présentait un trou pyramidal fermé par une pierre jadis munie d'un anneau. Au dessous de cette pierre, un vide de $1^m,50$ de profondeur annonçait la présence d'une des galeries souterraines profondes. Mais nous n'y sommes pas entrés, parce que nous ne voulions pas démolir cette construction, destinée à nous servir de fondations.

A côté du dallage, nous avons rencontré une série de hautes marches en pierre de taille oolithique, faisant retour au nord de notre fouille, et s'enfonçant vers l'ouest et vers le sud par gradins de $0^m,25$ de hauteur. Nous avons découvert cinq de ces gradins, ce qui nous conduisait à une profondeur totale de $5^m,75$ au dessous du sol, soit à la cote 250 mètres.

Toute l'excavation était remplie de morceaux de tuf provenant d'une voûte écrasée, et mélangés à quelques débris de tuiles et de pierres de taille. Nous avons enlevé ces débris sur 1 mètre de hauteur pour asseoir notre béton.

Du côté nord de la fouille, la petite tranchée allant rejoindre celle du puisard pour bâtir la galerie des pompes, avant de traverser le mur en briques, a rencontré sur celui-ci une niche voûtée. Dans les débris qui la remplissaient se trouvait un piédestal sans inscription, bien qu'en forme d'ex-voto, présentant des restes de scelle-

ments. A côté de lui gisait un buste en bronze jadis doré, représentant une tête de femme d'un beau dessin, mais profondément corrodé. La position dans une niche au bout de la grande piscine à gradins peut faire supposer que ce buste représentait Damona.

La chambre des pompes fut construite à cette côte 251,97, et munie de deux grosses pierres de grès sur lesquelles on installa un bâtis portant à la fois les pompes et les cylindres à vapeur : au dessus de la chambre à l'ouest on plaça la chaudière dans un massif construit au jour.

Nous avions adopté cette disposition pour réduire à 4m,50 au plus la hauteur d'aspiration des pompes. Nous comptions sur la vanne autoclave de l'aqueduc pour éviter des inondations souterraines de quelque durée au dessus du niveau du pavé de nos pompes, et sur le cimentage des parois pour empêcher les infiltrations dans la chambre des pompes. Mais nos prévisions ne se sont pas réalisées, et il a fallu, en 1876, relever de près de 2 mètres le sol de la chambre et les pompes avec lui. La hauteur d'aspiration s'est trouvée alors portée à 6 mètres environ : mais le séjour de l'eau minérale dans le puisard la débarrasse assez de ses gaz pour que l'aspiration ne souffre pas : en sorte que l'expérience a montré que les gaz ne rendaient pas l'aspiration difficile avec la nouvelle cote adoptée.

Galeries des sources. — L'ensemble de la tuyauterie réunissant les sondages aux puisards devant être placé à la cote moyenne 252, ou environ, nous avons dû construire un réseau de galeries souterraines ayant leur radier au dessous de cette cote. Nous leur avons donné le profil (*fig.* 12, pl. VI), afin de maintenir la tuyauterie, en temps ordinaire, au dessus des eaux s'écoulant par ces galeries. La nécessité de placer le radier un peu plus haut que celui de l'aqueduc (cote 251,78 à l'amont), nous a fait remonter l'axe des tuyaux à la cote réelle 252,17 ; de là le profil représenté sur nos dessins. La forme du caniveau est destinée à

permettre de le recouvrir au moyen de grandes briques ou de petites dalles dans les endroits où cette mesure est reconnue nécessaire.

Les galeries communiquent avec l'aqueduc en deux points, l'un peu éloigné du sondage n° 9, auprès des thermes militaires, l'autre à l'angle nord-ouest des bains civils.

Du premier de ces points, la galerie se dirige vers le puisard militaire. Elle passe d'abord auprès du sondage n° 9, et lance vers lui un court embranchement aboutissant à la tête de sondage, construite en même temps que la galerie. Aucun ouvrage souterrain n'a été rencontré dans ce trajet, sauf la galerie boisée construite en 1859 pour mener au puisard ancien les eaux du sondage n° 9.

La galerie, arrivant auprès du puisard militaire, le contourne pour parvenir à la tête de sondage n° 8. Cette position avait été choisie pour éviter un terrassement spécial différent de la fouille du puisard elle-même. Une porte, habituellement fermée par une cloison de briques, réunit le puisard à la galerie. Le trop-plein est à côté d'elle. Le seuil de la porte est à la cote 251,97 : elle sert au passage du déversoir et permet, au besoin, des jaugeages directs pour le partage des eaux.

De l'angle sud-ouest du puisard, la galerie va à la chambre de distribution. Un embranchement a été construit vers le sondage n° 7, mais il est inutile parce que ce forage ne donne pas d'eau. Sur ce parcours de la tranchée, nous avons rencontré plusieurs murs n'ayant rien de remarquable, et seulement un reste de galerie écroulée faisant suite à l'une de celles rencontrées déjà par l'aqueduc en 1869.

La galerie dont nous parlons, ou galerie militaire, aboutit à la chambre de distribution (*fig.* 5 et 6, Pl. VIII). Cette construction est un octogone régulier, recouvert d'une voûte et muni d'une cheminée, son radier est à la cote de la banquette (251,97) et posé sur le dallage romain. La

courte galerie allant au sondage n° 12 donne sur une des faces de l'octogone : une seconde face correspond à la galerie militaire, une troisième à la galerie des sources civiles. Cette dernière, en quittant la chambre de distribution, rencontre d'abord le prolongement de l'aqueduc, où la tranchée a mis à découvert le pilier contre lequel avaient buté les travaux de 1869. Plus loin, en arrivant à l'angle nord-est du puisard civil, elle trouve un embranchement dirigé à l'ouest, et suivant dans toute sa longueur la paroi nord du puisard pour aller au sondage n° 11. La galerie principale suit l'extrémité est du puisard, puis tourne à l'est pour aller au sondage n° 10. Un embranchement, au nord, se dirige au sondage n° 13, un autre rejoint le sondage n° 1, une porte est réservée en face l'ancien sondage n° 6, aujourd'hui bouché.

A partir de la rencontre avec le prolongement de l'aqueduc, la galerie est posée sur le dallage romain jusqu'à l'angle sud-est du puisard. Elle traverse ensuite une ouverture en forme de porte, pratiquée dans le mur que nous avons déjà signalé le long de la paroi sud de la grande fouille. Cette porte était fermée par une pierre de taille placée verticalement, engagée dans deux rainures des montants, et formant vanne.

Au delà de la porte, la tranchée se trouve dans d'anciennes piscines. Les unes étaient revêtues de marbre blanc, d'autres de pierre blanche sciée en lames minces. Des débris de tuiles, de briques et de marbres de diverses couleurs les encombraient. Parmi ces débris se trouvait une petite tête de marbre blanc, disposée en console. Les revêtements des piscines étaient couverts d'un enduit calcaire de quelques millimètres d'épaisseur, attestant un long usage.

Les dimensions de ces piscines étaient assez différentes de l'une à l'autre : l'une d'elles mesure $2^m,50$ sur 4 mètres, une autre seulement $1^m,50$ sur 2 mètres. Cette partie des

thermes romains devait être installée avec luxe, à en juger par la quantité de débris de marbres roses, verts et noirs recueillis dans les déblais.

Le revêtement des piscines ayant été enlevé pendant nos travaux, l'une de ses pièces a présenté un fait inattendu : une belle inscription y était gravée à l'envers en lettres de $0^m,10$ de hauteur. Malheureusement nous n'en possédons qu'un fragment bien incomplet et insuffisant pour tenter aucune explication. Il prouve seulement un remaniement plus ou moins complet des thermes de Bourbonne par les Romains eux-mêmes. La grande dimension des caractères, les soins apportés à la gravure, font regretter la destruction de cette belle pièce et les renseignements précieux qu'elle devait contenir.

Les piscines étaient placées au dessus du niveau du dallage romain, et communiquaient avec la grande piscine à gradins déjà citée plus haut. Elles n'en étaient séparées que par une pierre de taille de $0^m,60$ de hauteur, entaillée en forme de siège.

La galerie allant au sondage n° 10 a percé le mur qui limitait les piscines à l'est ; puis elle est tombée dans des amas de décombres, où se trouvaient comprises quelques grosses pierres de taille sans usage évident. A peu de distance du sondage, la tranchée a suivi une galerie romaine de forme rectangulaire, recouverte par une forte dalle à $2^m,50$ en contre-bas du sol. Dans cette galerie nous avons trouvé deux forts clous à crochet, en cuivre, très peu altérés, mais recouverts de cuprite.

Canalisation des sondages. — Dans l'ensemble des galeries construites comme nous venons de le dire, nous avions d'abord installé une tuyauterie complète en tuyaux de grès de $0^m,16$ de diamètre intérieur. La belle fabrication et l'imperméabilité de cette matière, et surtout son inaltérabilité, nous avaient fait choisir le grès plutôt que le cuivre. Nous pensions que la tuyauterie tout entière serait maintenue à

l'abri des variations de température, et présentait des garanties de durée exceptionnelles. Mais nos prévisions ont été déjouées par l'expérience. Probablement sous l'influence d'inondations froides, les tuyaux se sont fendillés en tous sens, et il a fallu les supprimer et remplacer par du cuivre toute la tuyauterie des sondages. Les tuyaux en cuivre sont posés sur les banquettes par l'intermédiaire de tasseaux en bois. Ils ont coûté environ 11.000 francs.

Auprès de chaque sondage, nous avons posé un robinet-vanne (*fig.* 3 et 4, Pl. VIII) qui permet d'arrêter la sortie des eaux ou de les forcer à se déverser par un robinet latéral. En plaçant un seau sous celui-ci, on peut jauger chaque sondage isolément. Les tuyaux provenant des sondages aboutissent à un compartiment d'une cuve en cuivre placée au centre de la chambre de distribution; leurs eaux se mélangent, puis sortent de cette bâche par deux autres tuyaux de cuivre qui les amènent aux deux puisards. Le jeu des vannes de la bâche permet de répartir le débit total dans la proportion convenable.

Réservoirs du coteau. — Recueillies dans les puisards, les eaux doivent être ensuite élevées assez haut pour circuler dans la distribution des appareils balnéaires et pour donner aux douches la pression nécessaire. De plus, elles doivent être en partie refroidies jusqu'à une température de moins de 40 degrés.

Pour atteindre ce but, nous avons acheté un vaste emplacement situé au-dessus du jardin des bains civils et dominant de 18 mètres le pavé de l'établissement. Le long de la courbe de niveau 275, nous avons entaillé le sol sur une longueur de 52 mètres et sur une largeur de 12^{m},50, et établi une plate-forme de cette dimension à la cote 273. Vers l'est, la plate-forme était un peu rétrécie et approfondie de 0^{m},50 de plus sur 8 mètres de longueur.

Sur la surface très ferme du sol ainsi arasé, nous avons placé une couche de béton de 0^{m},50 d'épaisseur et une

seconde couche de même épaisseur en maçonnerie de moellons. Puis nous avons élevé les réservoirs des eaux chaudes et les bassins de refroidissement, dont les profils sont représentés par les *fig.* 1, 2 et 9, Pl. VIII.

Le couronnement des bassins de refroidissement a été fait en totalité au moyen des pierres de taille de grande oolithe retirées des fouilles romaines. Elles ont assez bien résisté à la gelée depuis quatre ans, malgré les observations contraires faites souvent pour les pierres de taille longtemps enfouies sous le sol avant réemploi; cependant leurs angles se sont un peu écaillés et émoussés. Une rigole a été creusée dans le couronnement du sud, et munie de gargouilles et de vannes en pierres pour déverser dans les bassins le trop-plein du réservoir des eaux chaudes. Les bassins ont été munis de soupapes pour les nettoyages et de vannes pour les prises d'eau. Leur intérieur, garni en ciment, a dû être refait une seconde fois, après le gel de la première couche, exécutée dans de mauvaises conditions. Nous disposons ainsi d'une réserve de 40 mètres cubes d'eau chaude et de 400 mètres cubes de bassins, présentant 400 mètres carrés de surface de refroidissement direct.

Distribution. — Une grande galerie réunit les réservoirs du coteau à la machine d'ascension et aux établissements. Elle a 1^{m},60 de largeur intérieure et 1^{m},80 de hauteur. On y a placé sur des banquettes les neuf tuyaux nécessaires à l'ascension et à la distribution. La construction de cette galerie n'a rien présenté de bien curieux.

On a rencontré, au contraire, des constructions romaines intéressantes en exécutant les galeries souterraines placées sous les établissements neufs. Ces galeries, enfouies de 2 mètres sous le sol, servent à la fois comme fondations pour les constructions nouvelles, et comme emplacement de toute la grosse tuyauterie de la distribution. En exécutant celles de l'établissement de deuxième classe, on a

trouvé la base du coteau formée de terres remaniées beaucoup plus loin qu'on ne pouvait le supposer. Un gros mur en moellons servait à supporter les terres de la colline. Sa partie supérieure était couverte d'une dalle de grès pourvue d'un petit caniveau servant évidemment de gouttière à une toiture. Au nord de ce mur, existaient des chambres à parois formées de tuyaux de poterie de forme carrée. Leur sol ne reposait pas sur le terrain naturel, mais sur des galeries souterraines dont l'ensemble paraît se trouver au niveau du grand dallage de la place des Bains. Vers le nord, en arrivant à l'extrémité de la grande piscine à gradins, sous-jacente à nos pompes, on a rencontré un mur; puis le sol ferme s'est abaissé brusquement pour descendre au niveau du fond de la piscine. Comme il fallait enlever des déblais pour poser solidement le béton, on aurait été complètement noyé. Mais, en ouvrant la bonde de fond du puisard civil, il a suffi de tirer l'eau de celui-ci pour assécher complètement les fouilles, grâce aux communications souterraines par les vieux travaux.

Les tranchées des galeries de distribution de l'établissement de première classe ont aussi rencontré des constructions romaines, et traversé le mur qui limitait les piscines. Garni, comme l'autre, d'un dallage formant gouttière, ce mur n'avait qu'une hauteur de 3 mètres au dessus du fond des petites piscines romaines. Il était de 2 mètres en contre-bas par rapport au mur de soutènement précité.

Le service du génie a établi, en pierre de taille, des réservoirs semblables aux nôtres, et sur la même courbe de niveau. Une galerie les réunit aux pompes militaires. En la construisant, on a rencontré une galerie romaine placée au dessus de la cote 256, et plus loin, dans la colline, une auge en pierre de taille. Ces découvertes, jointes aux remarques faites à l'établissement de deuxième classe, montrent que la base de la colline est composée, dans toute son étendue, de terres remaniées depuis l'époque

romaine, et qui occupent une largeur de 20 mètres au moins, en atteignant jusqu'à 6 mètres d'épaisseur.

Nous ne donnerons aucun détail sur la reconstruction de l'établissement civil d'après les plans de M. Multzer, non plus que sur les dispositions que nous avons adoptées pour la distribution des eaux et les appareils balnéaires. Une grande partie de cette description ferait double emploi avec la situation définitive des établissements, présentée au chapitre II.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Pl. IV. — Carte géologique des environs de Bourbonne-les-Bains.

Planche V.

Fig. 1. Plan général des thermes romains, reportés sur le plan général des établissements modernes.

— · — · — · limites des constructions modernes.
· · · · · · · · axe de l'aqueduc moderne.
+ · + · + · ABCDEFGHIK mur d'enceinte souterrain romain.
+ · + · + · MMM aqueduc central romain.
aaa pilastres unis de la grande salle romaine.
bbb colonnes cannelées.
ppp piscines romaines,
QQ étuves romaines.

Fig. 2. Coupe du mur romain en DC′ et de la galerie qui le surmonte.
Fig. 3. Plan des colonnes cannelées *bbbb*.
Fig. 4. Plan des pilastres unis *aaa*.
Fig. 5. Plan général des thermes et des travaux modernes.

aa puisards civil et militaire.
b chambre de distribution.
CC chaudières.
DD machines d'ascension.
AA réservoirs d'eau chaude.
BB réservoirs de refroidissement.
E distributeurs civils.
F réservoir des eaux douces.
G bâches des douches faibles.
mm galerie de distribution.

Planche VI.

Fig. 1. Coupe générale des travaux et du coteau des bains.

A sondage n° 12.
B chambre de distribution.
C entrée de l'aqueduc.
D galerie du sondage n° 12.
E puisard civil.
F chambre des pompes.
G, H, I galerie de distribution.
K bâche des douches faibles.
L réservoir des eaux douces.
M chambre des distributeurs.
N réservoirs du coteau.
R fondation romaine.

Fig. 2., *Fig.* 3. Coupe des galeries des sources et d'une cheminée.
Fig. 4., *Fig.* 11., *Fig.* 12., *Fig.* 13., *Fig.* 14., *Fig.* 15. Coupe des galeries romaines.
Fig. 7. Coupe de l'aqueduc moderne.
Fig. 5., *Fig.* 6., *Fig.* 8. Tête aval de l'aqueduc et vanne autoclave.
Fig. 9., *Fig.* 10. Boisages.
Fig. 16. Plan du puisard romain et des galeries accolées ayant servi d'étuves.
Fig. 17. Coupe id. id.

Planche VII.

Fig. 1. Coupe du puisard militaire et du puits des pompes.
Fig. 2. Plan id. id.
Fig. 3. Coupe de la galerie des pompes.
Fig. 4. Coupe du puisard civil et de la chambre des pompes.
Fig. 5. Plan id. id.
Fig. 6. Coupe de la galerie d'ascension.
Fig. 7. Coupe des galeries de distribution.
Fig. 8. Coupe d'un robinet clapet de la distribution.
Fig. 9. Plan id. id.

Planche VIII.

Fig. 1., *Fig.* 2., *Fig.* 9. Réservoirs du coteau.
Fig. 3., *Fig.* 4. Tête de sondage et robinet de jaugé.
Fig. 5., *Fig.* 6. Chambre et bâche de distribution.
– – – – – départ des eaux allant aux puisards.
+·+·+· arrivée des eaux venant des sondages.
Fig. 7., *Fig.* 8. Boîte à rallonge des conduits en cuivre.
AA Joints à glissière avec garniture caoutchouc.
B Tubulure.
Fig. 10. Joints en bronze réunissant les tuyaux de plomb de la colonne d'ascension de la source romaine, dite n° 2.
Fig. 11. Tuyau de la source n° 2 portant la marque *Cinnamus fecit.*
Fig. 12. Tuyau de distribution du grand établissement romain, marqué *Cocillus fecit.*
Fig. 13., *Fig.* 14., *Fig.* 15. Coupes d'autres tuyaux romains.

TABLE DES MATIÈRES.

I. — ÉTUDE DES SOURCES.

Pages.
But de la notice. 349
Situation de Bourbonne. 351
Failles 356
Alluvions. 361
Théorie des sources. 364

II. — HISTOIRE DES SOURCES.

Silex taillés. 375
Thermes romains. 379
Bourbonne au moyen âge. 394
Epoque moderne. 401
État définitif de la station. 420

III. — TRAVAUX DE BOURBONNE-LES-BAINS.

Travaux préliminaires. 452
Sondages. 457
Aménagement des sources. 496

BULLETIN.

NOTE

SUR

LES ASSOCIATIONS ET LES SOCIÉTÉS DE SURVEILLANCE D'APPAREILS A VAPEUR EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER

Par M. L. AGUILLON, ingénieur des mines.

Le nouveau règlement sur les appareils à vapeur du 30 avril dernier vient de donner une sorte de consécration officielle aux *associations de propriétaires d'appareils à vapeur*, dont un certain nombre ont été établies en France, dans ces dernières années, à l'imitation de celles qui existaient à l'étranger. Les *Annales* ont déjà donné des renseignements sur quelques-unes de ces associations. M. Hanet-Cléry (*), en signalant les études de M. Vinçotte, ingénieur en chef de l'association belge, sur les corrosions des chaudières, a fourni un résumé des opérations de cette association pendant les années 1873 et 1874. M. Clérault (**) a fait connaître les résultats du huitième exercice (1874-1875) de l'association alsacienne. Plus récemment, à la suite de la reproduction du décret du 11 décembre 1879 (***), qui a reconnu comme établissement d'utilité publique l'*association du nord de la France*, les *Annales* ont donné une note (****) sur cette association, et ont reproduit ses statuts et son règlement.

A l'occasion du nouveau décret du 30 avril dernier, il nous a semblé qu'il ne serait pas sans intérêt de faire connaître quels étaient la situation et le fonctionnement de toutes les associations ou sociétés de ce genre existant actuellement tant en France qu'à l'étranger.

(*) 7e série, tome IX, page 462.
(**) *Id.*, tome X, page 5.
(***) Partie administrative, volume de 1879, page 362.
(****) 7e série, tome XVI, page 614.

Tel est l'objet du présent travail où nous commencerons par parler des associations ou sociétés étrangères, anglaises, allemandes, autrichienne, suisse et belge, avant d'aborder les associations françaises, suivant par là, en quelque sorte, l'ordre chronologique des faits. Nous entrerons enfin dans quelques détails plus circonstanciés sur les associations françaises, en indiquant notamment les services de diverse nature déjà rendus par elles.

I. — ASSOCIATIONS ÉTRANGÈRES.

§ 1. — Angleterre.

C'est à Manchester que fut fondée, le 23 janvier 1855, sous les auspices de W. Fairbairn, la première association de cette nature, avec la désignation de "*The Manchester Steam Users Association*".

Cette association se constitua exactement, dès l'origine, avec l'objet et d'après les principes qui devaient être ensuite pris pour modèle par toutes les associations qui se sont établies depuis sur le continent. Dès la fondation, cette association de propriétaires d'appareils à vapeur devait s'administrer elle-même ; ayant pour ressources la cotisation que chaque membre devait payer par chaudière, et ne recherchant aucun intérêt pécuniaire direct, elle se proposait simplement de faire éviter à ses membres l'explosion de leurs chaudières et de leur faire réaliser des économies dans l'emploi de la vapeur. La sécurité devait être obtenue par une surveillance des chaudières, effective et efficace, au moyen de visites extérieures et intérieures faites par des agents spéciaux, compétents et indépendants, appartenant à l'association. L'économie dans l'emploi de la vapeur devait être obtenue par des essais à l'indicateur faits sur les machines, par des expériences de rendement et de consommation, par des études et recherches d'un caractère général, que l'association devait entreprendre à ses frais et enfin par tous les renseignements et documents sur les chaudières et les machines, réunis par les ingénieurs de l'association et tenus par eux à la disposition des membres qui devaient pouvoir leur demander toute consultation sur ces questions.

Tel fut le programme tracé dès la première heure. En réalité, ce n'a été que dans ces dernières années, et bien après les exemples donnés par l'association de Mulhouse, que l'association de Manchester donna un certain développement aux essais de machines et à tout ce qui se rapporte à l'économie dans l'emploi de

la vapeur. Jusque-là, elle s'était bornée à la surveillance des chaudières, aux visites intérieures et extérieures : en un mot, à ce qui concernait la sécurité.

L'association de Manchester n'étend son action que dans un rayon de 60 kilomètres autour de cette ville.

A la fin de son premier exercice, le 31 décembre 1855, elle comptait 269 membres ayant 920 chaudières ; au 31 décembre 1859, elle avait 530 membres avec 1.619 chaudières.

Mais, à ce moment, elle subit un assez long arrêt dans son développement, par suite de la constitution d'une nouvelle société qui se proposait d'atteindre le même objet par des principes assez différents. La "*Boiler Insurance and Steam Power Company*," qui fut créée au début de 1859, était une véritable société financière par actions, se proposant de faire l'assurance des chaudières en même temps que de procéder à leur inspection ou surveillance.

Beaucoup de membres quittèrent l'association de Manchester, pour s'affilier à la nouvelle société et, à la fin de 1860, l'association de Fairbairn ne comptait plus que 1.360 chaudières ; à la fin de 1864 elle n'était remontée qu'à 1.415, tandis que « la *Boiler Insurance Company* » en avait déjà 10.000.

Aussi, en 1865, l'association se décida-t-elle, à son tour, à assurer chacune des chaudières de ses membres contre toute explosion et ses suites, jusqu'à un maximum de 7.500 francs, sous la condition que chaque chaudière, ainsi garantie, devait être soumise obligatoirement chaque année à une visite intérieure, à la suite de laquelle il lui serait délivré un certificat de bon conditionnement. L'ingénieur de la société a le droit de suspendre la garantie au cas où ses observations pour l'entretien et la conduite de l'appareil restent sans effet et elle est, en tout cas, suspendue de droit si on laisse écouler 13 mois sans faire procéder à une visite intérieure.

En même temps, dix membres du conseil faisaient un fonds de garantie de 250.000 francs, affectés au payement des dégâts éventuels produits par une explosion, pour le cas où les cotisations et les excédents annuels accumulés n'auraient pas permis de les couvrir. Au commencement de 1877, après 12 ans d'exercice, il n'y a pas eu un seul sinistre à payer et la garantie a été élevée jusqu'au maximum de 10.000 francs. Il y a là un fait qui parle assez éloquemment de lui-même.

A partir de 1865, et sous l'influence de ces musures, le développement de l'association a d'ailleurs repris sa marche as-

cendante : au 31 décembre 1879, elle comptait 1.301 membres et 3.657 chaudières.

L'association fait actuellement 1 visite intérieure à peu près par chaudière et par an, et 2 visites extérieures. La cotisation est de 37 francs par chaudière.

Depuis 1877 l'association a organisé pour ses membres, moyennant une cotisation supplémentaire, l'inspection périodique des machines et le relevé des diagrammes. Dans l'exercice 1879 ces opérations ont été faites sur 412 cylindres.

Cette association est la seule d'Angleterre fonctionnant sur ce type, adopté partout au contraire sur le continent. En 1858, il s'en forma bien une à Huddersfield, l'association de Manchester ayant refusé d'étendre son action jusque-là. Mais au bout de 3 ans, elle fut dissoute et la plupart de ses membres entrèrent dans la « *Boiler Insurance* » dont nous avons déjà parlé et sur laquelle il nous faut maintenant revenir.

La " *Boiler Insurance and Steam Power Company* " est, comme nous l'avons dit, une véritable société financière fondée au capital de 6.500.000 francs divisé en 50.000 actions de 125 francs. Les actionnaires touchent, s'il y a lieu, des intérêts et des dividendes, provenant, d'une part, du montant des cotisations payées pour les inspections, pour les visites extraordinaires et pour tous autres travaux, et, d'autre part, des primes d'assurances. L'objet primitif de la société était d'entreprendre les visites périodiques intérieures et extérieures des chaudières et de les assurer contre les explosions. Mais, depuis sa fondation en 1859, la société a élargi successivement le cercle de ses opérations. En 1865, on ajouta à l'inspection et à l'assurance des chaudières leur entretien et leur réparation avec le commerce de tout ce qui se rapporte aux appareils à vapeur ; on commença alors aussi à apporter quelque attention au travail des machines et à l'économie du combustible et, par suite, on se mit à relever des diagrammes. En 1872, avec la cherté du combustible, ces dernières opérations se sont multipliées et en même temps la compagnie entreprit l'assurance des machines contre toutes ruptures entraînant détresse ou arrêt. Mais, en 1878, la compagnie a renoncé à cette branche particulière d'opérations, par suite des difficultés que soulevait, dans l'application, la question de savoir dans quels cas l'assurance était acquise.

Le tarif est, pour l'inspection périodique seule des chaudières, de 25 francs par chaudière et par an, moyennant quoi on a droit à une visite intérieure et à deux visites extérieures. Pour assurance, y compris inspection périodique, la société prend de 20 schillings à 12 schillings 1/2 par 100 livres et par an de la somme assurée, suivant que cette somme varie de 200 à 1.000 liv. Si la somme assurée est de moins de 200 livres, la prime est de 25 schillings par 100 livres.

Tout récemment la société a entrepris l'assurance par batteries, qui consiste à assurer une certaine somme payable à l'explosion d'une quelconque des chaudières de la batterie ; pour des chaudières de première classe, suivant que leur nombre varie de 2 à 20 et le montant de l'assurance de 200 à 500 livres, la prime varie de 3 £ 5 sch. à 43 £.

En tout état de cause, la société ne se charge, d'ailleurs, des chaudières qu'après les avoir soumises à un examen complet, et seulement après un mois de marche.

Cette société, dont les opérations dans le début n'avaient pas dépassé les districts manufacturiers du Lancashire et du Yorkshire, étend aujourd'hui son action sur toute l'Angleterre, et a des inspecteurs en résidence fixe dans les principales villes industrielles. Actuellement elle ne doit pas avoir moins de 23.000 chaudières sous sa surveillance.

D'après ses comptes rendus le nombre des visites intérieures faites annuellement aurait été, dans ces dernières années, de 40 p. 100 environ du nombre total des chaudières, et le nombre des visites extérieures d'environ 3 par chaudière. En 1876 on a relevé jusqu'à 3.599 diagrammes.

Le succès de cette société provoqua, quelques années après, la fondation de deux nouvelles sociétés semblables, la " *Midland Steam Boiler Inspection and Assurance C°* ", et la " *National Boiler Insurance C°* ".

La " *Midland Steam Boiler Inspection and Assurance C°* ", se constitua en 1862, avec son siège technique à Stourbrigde et sa direction à Wolwerhampton, entre les principaux maîtres de forge du South Staffordshire, à la suite d'une explosion survenue près de Bilson et qui avait entraîné la mort de 29 personnes. Les autres compagnies existantes alors paraissaient peu soucieuses d'étendre leur contrôle sur des chaudières aussi surmenées que celles des houillères et des forges, particulièrement quand elles sont chauffées par les flammes perdues des fours.

La " *Midland Company* " a depuis établi une branche dans le nord de l'Angleterre, principalement aussi avec le concours des maîtres de forge et des propriétaires de houillères de ce district.

Au début, la " *Midland* " se proposait de ne faire que l'inspec-

tion « de façon, disaient les statuts, que les propriétaires puissent « avoir des rapports désintéressés sur l'état de leurs chaudières »; on ajouta ultérieurement l'assurance.

Le capital est de 50.000 £ divisées en 3.075 actions sur lesquelles il n'a été versé que 1 £ 10 sch. (37f,70).

L'inspection sans assurance se fait à un prix variant de 13 à 25 schillings (16f,25 à 31 fr.) par chaudière et par an, suivant le nombre et les conditions des appareils.

Les primes pour assurance, y compris l'inspection, varient, suivant la classe de la chaudière et la pression, depuis 15 schillings jusqu'à 2 £ par 100 livres assurées et par an.

La classe de la chaudière se détermine suivant son âge, sa situation, la nature de l'eau d'alimentation, le mode de montage, la qualité des tôles, etc.

La compagnie pratique également l'assurance par batterie; et jusqu'à ces derniers temps, où la "*Boiler Insurance and Steam power C°*" a suivi cet exemple, la "*Midland*" fut la seule société faisant ce genre d'opérations. Suivant que la batterie comprend de 2 à 40 chaudières et que la somme assurée va de 200 à 500 £ (5.000 à 12.500), la prime à payer par an varie à 3 £ 8 s. à 7 £ 3 s. 9 p. (76 à 1.804 fr.).

La "*Midland*" dans l'exercice 1878-1879, a fait 2.500 visites intérieures, soit 77 p. 100 du nombre total des chaudières et environ 3 visites extérieures par chaudière.

La "*National Boiler Insurance Cy*" a été fondée en 1864 sur le même principe que la "*Boiler Insurance and Steam Power Cy*"; mais elle encourage ce qu'elle considère comme des dispositions perfectionnées, en abaissant les cotisations quand on emploie certaines d'entre elles qu'elle préconise. Créée à Londres, elle ne tarda pas à transporter son siège à Manchester.

Il existe en Angleterre six autres sociétés d'inspection et d'assurance qui ont été créées beaucoup plus récemment, suivant des principes semblables à ceux que nous venons de faire connaître; elles n'ont pas encore atteint l'importance des premières. Nous nous bornerons à indiquer que l'une d'elles, "*The Engine and Boiler Insurance Company*", fondée il y a fort peu de temps à Manchester, a repris ce genre d'opérations, tentées, puis abandonnées par la "*Boiler Insurance*", qui consiste à assurer les machines contre les ruptures entraînant détresses. C'est aujourd'hui la seule société d'Angleterre se livrant à ce genre d'opérations.

Quant aux autres sociétés, il nous suffira de les mentionner dans le tableau ci-dessous, qui résume, d'après les renseignements les

plus récents qui aient pu être recueillis, la situation des chaudières soumises en Angleterre au système des inspections périodiques, lesquelles s'élèveraient donc à 43.500, soit à 21 p. 100 à peu près du nombre total des chaudières existantes dans ce pays, d'après les données les plus généralement admises (*).

DATE de la fondation.	NOMS DES ASSOCIATIONS ou Sociétés.	SIÈGE de l'association.	NOMBRE actuel des chaudières.
1855	Manchester Steam Users' Association.	Manchester.	3.657
1859	Boiler Insurance and Steam Power C°.	Id.	23.000
1862	Midland Steam Boiler Inspection and Assurance Company.	Stourbridge.	3.218
1864	National Boiler Insurance C°.	Manchester.	7.200
1873	Yorkshire Boiler Insurance and Steam Users' C°.	Bradford.	2.000
?	Mutual Boiler Insurance C°.	Manchester.	1.000
?	London Mutual Boiler Insurance C°.	Londres.	1.000
?	Newcastle-on-Tyne Boiler Insurance C°.	Newcastle.	125
?	Engine and Boiler Insurance Company.	Manchester.	2.000
?	English and Scottisch Boiler Insurance C°.	Glasgow.	300
			43.500

C'est uniquement en Angleterre, pour ce qui concerne du moins l'Europe (**), que l'on rencontre l'inspection et la surveillance des chaudières faites par des sociétés d'actionnaires. Il est curieux, d'autre part, de constater que la "*Manchester Steam Users' Association*" n'y ait pas trouvé d'imitateurs.

Dans l'enquête faite en 1870-1871, par une commission de la Chambre des communes, sur les causes des explosions de chaudières (***), les deux systèmes furent l'objet d'une assez chaude discussion. On aurait pu prévoir les arguments qui furent produits de part et d'autre. L'association de Manchester et ses partisans objectaient qu'une inspection faite par des compagnies d'assurances ne pouvait qu'être illusoire, attendu que, comme pour toute société financière, l'objet final de la société était le divi-

(*) La commission de la Chambre des communes qui fit, de 1870 à 1871, une enquête sur les explosions de chaudières avait admis, à cette date, le chiffre de 100.000, non compris les machines locomotives et de bateaux, celles d'usage domestique ou de serres chaudes. Le chiffre de 200.000 est celui qui a été adopté pour 1879, à défaut de statistique officielle, dans une discussion de la société des "*Mining and mechanical engineers of the north of England*".

(**) Il existe en Amérique diverses sociétés analogues, dont une, à Hartford (Connecticut), fondée en 1866, a plus de 12.000 chaudières sous sa surveillance.

(***) Un résumé de cette enquête a été donné dans les *Annales* par M. Sauvage (7e série, tome XI, page 104).

dende à distribuer aux actionnaires, et qu'il suffisait de prendre les statistiques d'accidents et de faire le calcul, même approximatif, des risques, pour reconnaître que la société, au point de vue financier exclusif, avait tout intérêt à ne pas faire les dépenses relativement coûteuses des inspections. Les partisans des sociétés d'assurances répondaient que l'inspection et la surveillance des chaudières par des visites intérieures et extérieures n'étaient pas des objets qui échappaient forcément, de par leur nature, à la mise en société par actions; que l'intérêt d'une société par actions, pour attirer et retenir la clientèle, était de fonctionner aussi bien, tout au moins, qu'une association; qu'en ce qui concernait particulièrement l'assurance comme sanction de l'inspection, le principe en était si excellent que l'association de Manchester avait été conduite à l'admettre. Pour arriver à une conclusion précise, les prétentions des uns et des autres auraient dû s'appuyer sur des statistiques sérieuses : elles manquent malheureusement pour l'Angleterre. La " *Boiler Insurance* ", relevant les chiffres, admis à cette époque, de 100.000 chaudières et de 50 explosions par an en moyenne, soit de 1 explosion par 2.000 chaudières, faisait valoir que, d'après ses statistiques, elle n'avait en moyenne, sur ses chaudières assurées, que 1 explosion sur 4.628 chaudières et par an, et, à la fin de 1878, elle faisait ressortir que, en partant de sa fondation, la moyenne était de 1 explosion par 5.197 chaudières et par an, soit 2 fois 1/2 meilleure que la moyenne générale. Mais comme la moyenne annuelle des explosions paraît être restée sensiblement de 50, si l'on admet le chiffre de 200.000 chaudières précédemment cité, l'avantage qui resterait aux chaudières inspectées et assurées serait finalement peu sensible. En réalité, il y a lieu de ne pas s'arrêter à toutes ces statistiques par trop incertaines, et, sans se prononcer en principe d'une façon absolue pour ou contre tel ou tel système, — car, au fond, ce qui importe, c'est plus la manière dont le système est appliqué que son principe même, — il faut reconnaître, comme s'est plu à le faire la commission de la Chambre des communes, « que ces associations ont « été utiles pour prévenir les explosions ».

§ 2. — Empire d'Allemagne.

On comptait en 1879, dans les États confédérés de l'empire d'Allemagne, y compris l'Alsace-Lorraine, 23 associations que nous indiquons, par ordre chronologique, dans le tableau suivant, avec les principaux renseignements qui les concernent :

	DATE de la fondation.	NOM ou siège de l'association.	NOMBRE de chaudières en 1879.	RÉGION sur laquelle s'étend l'action de l'association.	OBSERVATIONS.
1	1867	Ass. alsacienne à Mulhouse	1251 (1)	Alsace-Lorraine.	(1)
2	1868	Ass. badoise à Mannheim.	1146	Grand-duché de Bade.	
3	1870	Hambourg.	670	Hambourg, Lübeck, province de Schleswig-Holstein.	
4	1870	Bernbourg.	682	Grand-duché de Saxe-Anhalt.	
5	1871	Magdebourg	1400	Provinces de Saxe, Brandebourg, Poméranie, duché de Brunswick, Meklembourg et Etats de Thuringe.	
6	1871	Ass. silésienne à Breslau.	653	Silésie.	
7	1871	Ass. bavaroise à Munich.	1435	Royaume de Bavière.	
8	1872	Ass. palatine à Kaiserslautern	910	Palatinat.	
9	1872	Siegen.	430	Cercles de Siegen, Lonne et Dill.	
10	1873	Offenbach	540	Grand-duché de Hesse.	
11	1873	Barmen.	414	?	
12	1873	Halle S/O.	498	Gouvernement de Marsebourg et Erfurt et états de Thuringe.	
13	1874	Hanovre.	590	Province de Hanovre.	
14	1874	Neuwied.	360	Gouvernement de Coblentz, Cologne et Wiesbaden.	
15	1874	Aix-la-Chapelle	317	Gouvernement d'Aix-la-Chapelle.	
16	1874	Gladbach.	391	Villes de Neuss, Krefeld et Gladbach.	
17	1874	Sarrebrück	550	Administration des houillères royales.	(2)
18	1875	Essen.	265	Usines Krupp.	(2)
19	1875	Ass. wurtembergeoise à Stuttgard	416	Royaume de Wurtemberg.	
20	1875	Francfort-sur-Oder.	570	Gouvernements de Francfort-sur-Oder, Postdam et Stettin.	
21	1878	Ass. saxonne à Chemnitz	454	Saxe royale.	
22	1878	Posen	235	?	
23	?	Düsseldorf.	510	?	
		Total.	14687		

(1) L'association alsacienne surveille en outre 410 chaudières en France.

(2) Les nos 17 et 18 ne sont pas des associations ouvertes à des tiers, mais des groupes appartenant à une même société et jouissant, de par la loi, après une autorisation administrative spéciale, des mêmes avantages que les associations proprement dites.

Nous devons d'abord consacrer quelques lignes à l'association alsacienne, la plus ancienne de toutes celles établies sur le continent. Si la Société industrielle de Mulhouse, en la fondant en 1867,

s'est inspirée de ce qui avait été fait en Angleterre par la "*Manchester Steam users' Association*", l'association alsacienne devait appliquer les idées de Fairbairn avec plus de succès encore; elle devait donner surtout un développement exceptionnellement fructueux à tout ce qui se rapporte à l'économie dans l'emploi de la vapeur, objet qui avait été, au contraire, quelque peu laissé de côté en Angleterre. Dans ses débuts même, l'association alsacienne s'est peut-être occupée davantage, en apparence du moins, de l'économie que de la sécurité; le nombre des visites intérieures faites dans l'année était relativement faible, eu égard surtout à celui des essais de machines à l'indicateur qui était relativement considérable. Ainsi, dans l'exercice 1873-1874, le nombre des chaudières étant de 1.079, les visites intérieures n'avaient été que de 239, ou 22 p. 100 du nombre des chaudières, tandis qu'il avait été fait 117 essais à l'indicateur. On avait affaire, il est vrai, en Alsace, à des chaudières qui passaient à juste titre pour bien établies et parfaitement surveillées. L'association alsacienne continuait, tout naturellement d'ailleurs, les traditions de la Société industrielle de Mulhouse. Les travaux du premier ingénieur de l'association M. Meunier-Dollfus, se relient à ceux de M. Scheurer-Kestner, dont il fut du reste le collaborateur, et à ceux antérieurs de M. Burnat.

Aujourd'hui, sans que ces traditions de la première heure aient été perdues, l'association alsacienne, en étendant son action dans un plus grand rayon, a rendu toute son importance à la surveillance proprement dite des chaudières; le nombre des essais de machines à l'indicateur reste toujours considérable, bien que moindre qu'autrefois. Mais celui des visites intérieures est de 50 p. 100 environ du nombre des chaudières, comme dans la plupart des autres associations.

Au 1er juillet 1879, à la fin de la douzième année, l'association alsacienne étendait son action sur 1.561 chaudières, ainsi réparties :

Alsace-Lorraine		1156	
Grand-duché de Luxembourg		4	
Suisse		25	
France.	Département des Vosges	142	376
	Id. de Meurthe-et-Moselle	76	
	Id. de la Haute-Saône	66	
	Id. du Doubs	61	
	Id. du Haut-Rhin	21	
		1561	

Le nombre total des visites extérieures faites dans cet exercice

a été de 2.153, soit de 1,5 environ par chaudière, et le nombre des visites intérieures de 884, soit de 56 p. 100 du nombre total des chaudières.

Cette association ayant en quelque sorte servi de modèle à toutes celles qui se sont fondées sur le continent, et particulièrement en France, il me paraît utile et intéressant de résumer ici ses statuts; il nous suffira ensuite, pour les autres associations, d'indiquer simplement leurs différences avec l'association alsacienne.

L'association alsacienne a pour but de procurer à ses membres, qui doivent être propriétaires d'appareils à vapeur dans son rayon d'action, *sécurité* et *économie* dans la production et l'emploi de la vapeur.

L'association est administrée par un conseil de sept membres, élu en assemblée générale des associés, lequel élit un président et un secrétaire-trésorier.

Le conseil nomme, surveille et révoque le personnel actif, ingénieurs, inspecteurs et employés de l'association; il indique les travaux d'intérêt général que le personnel doit faire en dehors des travaux du service ordinaire.

Les associés doivent :

1° Payer une colisation annuelle d'après le tarif suivant :

NOMBRE DE CHAUDIÈRES d'une même maison appartenant à un même groupe industriel.	1-5	6-10	11-15	16-20	21 et au delà.
Cotisation annuelle pour chaque chaudière.	francs 45	francs 40	francs 20	francs 15	francs 10

2° Donner avis à l'ingénieur en chef de l'association en cas d'explosion;

3° Donner avis préalable de toute modification ou réparation importante faites aux appareils;

4° Faire procéder au moins tous les deux ans à une visite intérieure de leurs appareils.

On est admis après en avoir adressé la demande et après une visite des fonctionnaires ou agents de l'association, qui constatent si l'admission peut être prononcée immédiatement, ou si elle ne peut l'être qu'après les réparations ou modifications qu'ils indiquent.

On peut être exclu après deux avertissements, donnés par l'in-

génieur en chef, à la suite de procès-verbaux de visite, si ces avertissements restent sans effet.

Les associés ont droit :

A — *Moyennant la cotisation :*

1° A une visite extérieure par an et par chaudière ;
2° A une visite intérieure par an et par chaudière (*);
3° A obtenir verbalement ou par écrit tous conseils et renseignements sur l'établissement, la conduite et l'entretien des appareils à vapeur (chaudières et machines) ou toutes autres questions de cette nature.

B — *En payant* 20 *francs par jour d'ingénieur et* 10 *francs par jour d'inspecteur, plus les frais de déplacement :*

1° A une visite extraordinaire ;
2° A des essais de machines au frein ou à l'indicateur (**) ;
3° A des essais de rendement des chaudières ;
4° A des leçons spéciales de chauffage pour le chauffeur de la maison ;
5° A toutes autres études ou travaux analogues.

Sauf le principe de l'obligation d'une visite intérieure tous les deux ans au moins, qui ne prit place qu'ultérieurement dans les statuts, les règles que nous venons de résumer furent celles posées dès la fondation de la société.

En 1878, l'association profitant de sa brillante situation financière, due à l'accumulation de ses excédents de recettes annuels, a suivi l'exemple donné, en 1864, par l'association de Manchester, et adopté le principe d'une indemnité à donner à ses membres en cas d'explosion. L'indemnité doit être égale à la moitié du dommage causé tant aux chaudières elles-mêmes qu'à la propriété environnante, sans que son montant total puisse toutefois dépasser 5.000 francs. Ce n'est pas là en réalité un droit auquel tout sociétaire peut prétendre, c'est une faculté dont le conseil d'administration dispose librement et dont ne peuvent se prévaloir, le cas échéant, que ceux auxquels il a délivré, à cet effet, un certificat spécial de garantie. En tout cas, l'ingénieur en chef a toujours le droit de suspendre la garantie, si l'on trouve les chaudières « dans un état offrant du danger », ou « lorsqu'elles sont forcées au delà de toute mesure, mal conduites ou mal surveillées ».

(*) Si la visite intérieure n'a pu avoir lieu lors de la tournée des inspecteurs annoncée 15 jours d'avance, on paye les frais de déplacement de l'agent qui y procède ultérieurement.

(**) Un essai à l'indicateur de Watt, à la suite d'une visite ordinaire, quand la machine est disposée pour cela, ne se paye que 10 francs.

Il n'est pas besoin d'insister sur l'action que de pareilles mesures peuvent donner aux ingénieurs de l'association. C'est surtout dans cette vue que le conseil les a adoptées.

Le personnel actif de l'association alsacienne se compose actuellement de :

1 ingénieur en chef,
2 ingénieurs ordinaires,
4 inspecteurs,

non compris les quelques employés nécessaires pour le travail de bureau.

Avec un service fonctionnant comme en Alsace, on compte qu'il faut 1 inspecteur environ par 300 chaudières.

Le service de ce personnel se partage en service ordinaire et en service extraordinaire.

Le service ordinaire comprend : les visites extérieures et intérieures auxquelles les associés ont droit gratuitement ; la surveillance du concours annuel des chauffeurs ; les enquêtes sur les accidents ; les renseignements ou consultations à donner aux associés ; la tenue du bureau et la conservation des documents et archives.

Le service extraordinaire comprend :

1° Essais de machines à vapeur à l'indicateur de Watt ;
2° Essais de chaudières à la presse hydraulique ;
3° Essais de rendement des chaudières en vapeur par kilogramme de houille brûlée ;
4° Détermination de la consommation de vapeur des machines à vapeur, par cheval effectif et par heure ;
5° Projets d'installation ou de modification des appareils à vapeur ;
6° Leçons de chauffage ;
7° Essais de houille dans le but d'en déterminer la valeur intrinsèque ;
8° Expérimentations d'un caractère général.

Le rôle de l'association alsacienne s'est considérablement accru en 1872. Depuis cette date, toute chaudière dont la déclaration est accompagnée d'un certificat délivré par le conseil d'administration de l'association alsacienne n'est plus soumise, en fait, à la surveillance des ingénieurs des mines prussiens, lesquels sont chargés de la surveillance officielle en Alsace-Lorraine conformé-

ment à notre règlement du 25 janvier 1865, laissé en vigueur dans ces provinces. En outre, un arrêté du gouverneur général d'Alsace-Lorraine, du 21 juin 1872, autorise l'association à délivrer des certificats d'épreuve ayant même valeur que les certificats émanant de l'administration.

Toutes les autres associations de l'empire d'Allemagne ont été constituées sur le même type que celles de Mulhouse et de Manchester. Toutefois, bien que leur objet soit également de procurer à leurs membres *sécurité* et *économie* dans l'emploi de la vapeur, ce ne sont guère, en fait, que des associations de pure surveillance et elles se bornent à peu près exclusivement à procéder aux visites intérieures et extérieures et aux épreuves à la presse.

Mais ce qui donne à ces associations allemandes un caractère tout spécial, c'est le rôle administratif qu'elles tiennent des lois et règlements sur la matière, dont il nous faut, par suite, rappeler ici certaines prescriptions.

Dans chacun des États confédérés de l'Allemagne, les propriétaires de chaudières à vapeur sont tenus, par les lois et règlements propres audit État, à faire procéder périodiquement à une revision de leurs chaudières, qui consiste à les soumettre, dans une période donnée, à une visite intérieure et extérieure; en outre, dans la plupart des États, cette revision périodique doit être terminée par un renouvellement de l'essai à la presse. En Prusse, la revision doit avoir lieu tous les six ans : dans le duché de Bade, tous les deux ans. Ces revisions et épreuves sont faites, aux frais des propriétaires, par des agents officiels, qui varient suivant les États : dans plusieurs, ces agents cumulent ces fonctions avec d'autres; là, au contraire, on trouve des agents exclusivement chargés d'un pareil travail.

Toutes les lois et règlements qui ont organisé ce système de surveillance prévoient explicitement, d'autre part, que les chaudières faisant partie d'associations de surveillance, agréées par l'administration, cessent d'être soumises à la revision des agents officiels spéciaux. Généralement, les associations sont simplement tenues de tenir l'administration au courant du mouvement d'entrée et de sortie de leurs membres, et de lui rendre compte annuellement des résultats des visites ou plus généralement des résultats de la surveillance ; les ingénieurs des associations doivent en particulier signaler immédiatement à l'administration tous faits dangereux qu'ils auraient été impuissants à faire disparaître par leurs seules recommandations; enfin les associations doivent dresser pour l'administration, d'après les cadres officiels, les statistiques annuelles de leurs chaudières. Les statuts et règlements des associations doivent d'ailleurs être au préalable soumis à l'administration et agréés par elle.

En somme, il y a là une véritable surveillance à deux degrés; les chaudières des associations ne sont plus sous la surveillance immédiate des agents de l'administration; celle-ci se borne à surveiller la manière dont l'association s'acquitte de ses fonctions.

On s'explique aisément, dans ces conditions, le développement rapide pris par les associations en Allemagne, et nous ne pensons pas qu'il ait pu être favorisé par une fausse interprétation qui paraît avoir été donnée à l'origine aux règlements officiels, en Prusse, tout au moins, dans les circonstances suivantes.

Les associations allemandes, d'accord en cela avec toutes les associations du continent, n'admettent en principe l'épreuve à la presse « que comme un *complément des visites extérieures et intérieures* qu'il faut mettre au premier rang pour une vérification sérieuse de l'état des chaudières », ainsi que l'a décidé à l'unanimité, en 1875, le congrès des associations allemandes tenu à Dresde, lequel ajoutait « qu'on devait donc laisser à l'appréciation du visiteur le soin de décider au bout de combien de temps et à quelle pression il y avait lieu de renouveler une épreuve ».

S'appuyant sur cette doctrine, certaines associations prétendaient en faire l'application à leurs membres, et par suite ne procéder aux épreuves que si elles le jugeaient nécessaire. La doctrine pouvait être juste au point de vue technique; la pratique eût été contraire à la lettre des règlements. Aussi, une circulaire du ministre du commerce de Prusse, du 9 mai 1876, a-t-elle rappelé que « toute chaudière, même soumise à des visites intérieures répétées, doit subir au moins tous les six ans l'épreuve à la presse ». Seulement, pour rester, d'autre part, dans l'esprit des règlements qui enlèvent à l'intervention des réviseurs officiels les chaudières des associations, l'administration a donné pouvoir aux ingénieurs des associations de procéder eux-mêmes à ces épreuves.

Ainsi, pour toute chaudière faisant partie d'une association, les autorités chargées de la surveillance des chaudières n'avaient plus compétence que pour procéder à la première épreuve de l'appareil neuf, laquelle doit, comme en France, précéder son établissement. Le pouvoir de faire ces épreuves a même été donné à certains ingénieurs de quelques associations dans des conditions identiques à celles que nous avons indiquées pour l'association alsacienne.

Le gouvernement bavarois est allé encore plus loin pour le

Palatinat. Il a remis aux ingénieurs de l'association du Palatinat, pour toutes les chaudières de cette province, qu'elles fissent ou qu'elles ne fissent pas partie de l'association, tous les pouvoirs conférés jadis aux commissaires royaux chargés de la revision et de l'épreuve des chaudières. Il doit être fait de même prochainement, paraît-il, pour la Bavière.

A tout prendre, le rapide développement des associations en Allemagne montre qu'on y a parfaitement compris les grands services qu'elles pouvaient rendre. En fait, en effet, la surveillance administrative à laquelle restent soumises les chaudières non affiliées se réduit, en somme, à peu de chose, notamment dans les pays où, comme en Prusse, la revision périodique officielle n'a lieu que tous les six ans.

Si, en outre de ces diverses considérations, on tient compte des idées particularistes propres à ce pays et des différences de règlements des diverses parties qui le composent, on s'explique le grand nombre des associations d'Allemagne, leur rayon d'action relativement restreint et le caractère de leurs agissements. Les questions administratives et la surveillance proprement dite, un peu étroitement entendue même, occupent beaucoup plus les ingénieurs que tout ce qui a trait à l'économie et au bon emploi de la vapeur. Les essais de machines à l'indicateur, les essais de rendement de chaudières et de consommation de machines sont assez rares. Ainsi, en 1876, l'association de Magdebourg, qui est une des plus importantes, n'avait fait que cinq essais à l'indicateur.

Dans presque toutes les associations allemandes, on fait une visite intérieure tous les deux ans; quelques-unes cependant arriveraient à peu près à une visite intérieure par an; le nombre des visites extérieures varie d'ailleurs de une à deux, suivant les associations.

Un pareil service, y compris celui des épreuves, qui sont relativement considérables, exige un inspecteur ou ingénieur par 200 ou 300 chaudières.

Toutes les associations de l'Allemagne sont réunies dans une *Union* à laquelle sont également affiliées les associations autrichienne, suisse et belge, et qui a pour but d'étudier et de prendre toutes les mesures propres à favoriser leurs intérêts communs. Chaque année a lieu, dans une ville des pays sur lesquels s'étend l'*Union*, un congrès des délégués et des ingénieurs des associations, dans lequel on traite de tout ce qui a trait à l'*Union* et de toutes questions techniques intéressantes. C'est dans le congrès tenu à Dresde en 1875 qu'a été émis l'avis, ci-dessus rapporté, sur

la portée réelle qu'il faut donner aux épreuves à la presse. L'*Union* a fondé, depuis le 1er janvier 1878, une revue mensuelle qui tient au courant de tous les progrès importants concernant l'usage des chaudières et des machines, fait connaître les résultats de toutes les recherches intéressantes sur ces matières, publie des mélanges tirés de la pratique des associations, etc.

Tout membre d'une association faisant partie de l'*Union* reçoit cette revue au prix de 3 marks par an.

§ 3. — Suisse.

L'association suisse a été fondée à Zurich, le 9 juillet 1869, avec 115 membres et 211 chaudières. Elle comptait, au 31 décembre 1878, 756 membres et 1.333 chaudières, y compris 58 chaudières dans une branche de l'association qui fonctionne dans le Vorarlberg.

L'association s'étend sur toute la Suisse. En prenant pour ce pays le nombre généralement admis de 2.000 chaudières, on voit que l'association comprendrait un peu plus de 60 p. 100 des chaudières du pays; on ne trouverait nulle part un pareil résultat. Avec cinq ingénieurs, elle fait à très peu près une visite intérieure et une visite extérieure par an et par chaudière.

Elle a le même caractère que les associations allemandes et elle est menée dans les mêmes idées. Je me borne simplement à signaler qu'elle fait en plus tous les ans des concours de chauffeurs.

Comme les associations allemandes, elle concourt, dans les quelques cantons qui ont légiféré sur la matière, à l'action officielle. Ainsi, dans le canton de Zurich, où les visites intérieures et extérieures annuelles sont légalement *obligatoires*, l'article 6 du décret réglementaire porte que, « pour les chaudières affiliées à l'association suisse, toute inspection faite par les agents de cette association sera considérée comme satisfaisant aux prescriptions légales ».

§ 4. — Autriche.

Il existe en Autriche une seule association, dont le siège est à Vienne, et qui étend son action sur tout le royaume. Fondée en 1872, elle comptait en juin 1879 4.340 chaudières; c'est la plus importante du continent.

Elle fonctionne à la fois comme association de surveillance et comme société mutuelle d'assurances.

Comme association de surveillance, elle est dans les mêmes conditions que les autres associations allemandes; ses rapports avec l'administration sont tout à fait analogues à ceux que nous avons fait connaître pour ces associations. Comme en Allemagne, les ingénieurs de l'association autrichienne ont qualité pour procéder, en ce qui concerne les chaudières des associés, aux visites et aux épreuves prescrites par la loi, et leurs certificats ont même valeur que les certificats délivrés par les agents de l'administration. Ceux-ci n'ont plus à s'occuper des chaudières faisant partie de l'association. Les ingénieurs de l'association ont également qualité, au même titre que les commissaires officiels à ce départis, pour délivrer les certificats sans lesquels nul en Autriche ne peut être chauffeur ou mécanicien.

Une particularité est à noter en ce qui concerne cette association : l'administration lui impose l'obligation de n'employer que des ingénieurs diplômés. C'est une disposition fort discutable, de nature notamment à rendre difficile le recrutement du personnel subalterne : un bon praticien peut rendre de plus utiles services comme inspecteur qu'un ingénieur diplômé.

En tant que société d'assurances, l'association autrichienne fonctionne sur le principe des sociétés d'assurances mutuelles. On est libre de n'entrer dans l'association que pour la surveillance des chaudières, cela constitue les associés de la première section; mais on ne peut entrer dans la seconde section, celle des assurés, sans faire en même temps partie de la première.

Ainsi, l'association autrichienne pratique l'assurance des chaudières, en se différenciant des sociétés anglaises, examinées par nous au début de ce travail, de la même manière que les sociétés d'assurances mutuelles contre les incendies diffèrent des sociétés d'assurances par actions. D'autre part, l'assurance, dans le système autrichien, diffère de la garantie des associations de Manchester et de Mulhouse par deux côtés : la garantie de ces deux associations est accordée sans le versement par l'associé d'une prime spéciale; l'assurance en Autriche exige le payement de primes où fait encourir, le cas échéant, les responsabilités propres au système d'assurances mutuelles. Aussi, — et c'est là seconde différence, — l'assurance autrichienne constitue-t-elle un droit en faveur de l'assuré tant qu'il n'a pas été exclu de l'association par motifs prévus aux statuts; la garantie de Manchester et de Mulhouse est, au contraire, une simple faculté dont le conseil d'administration dispose librement et dont l'ingénieur peut suspendre l'effet.

§ 5. — Belgique.

L'association belge, dont le siège est à Bruxelles, étend son action sur tout le royaume.

Fondée le 30 décembre 1872 avec 496 chaudières, elle en avait 1910 en juin 1879.

Ses statuts sont tout à fait analogues à ceux de l'association de Mulhouse et à ceux des associations françaises, en un mot au type généralement admis, d'une façon à peu près uniforme, sur le continent.

En dehors des tarifs, dont les différences tiennent partout à des différences de conditions locales, il n'y a que quelques particularités peu importantes à signaler sur cette association.

Son principe est de ne faire exécuter les visites intérieures que par des ingénieurs.

Les chaudières ne sont admises qu'après une visite intérieure.

L'association a un chimiste et un laboratoire de manière à pouvoir faire, pour ses membres, des analyses de combustible et d'eaux d'alimentation à des prix très réduits (10 francs pour une analyse de combustible et 20 francs pour une analyse d'eau).

L'association belge fait annuellement des concours de chauffeurs sur des bases un peu différentes de celles rendues pour ainsi dire classiques, depuis longtemps, par la Société industrielle de Mulhouse. Les concours en Belgique, au lieu de se faire comme à Mulhouse, Lille et Amiens, entre un certain nombre de chauffeurs appartenant à l'industrie privée, se font chez les membres de l'association entre leurs chauffeurs et ceux de l'association, qui sont, en cette matière, des contre-maîtres de premier ordre. Chaque concurrent fait pendant tout un jour le service de la même chaudière. Les concours ainsi organisés constituent d'abord une leçon de chauffage très efficace; ils fournissent, en outre, des renseignements très précis sur les économies qu'un chauffeur pourrait réaliser avec un appareil donné, et enfin des indications précieuses sur la valeur comparative des chaudières et des charbons.

L'association belge, par suite du principe même qui préside à son organisation, est une de celles qui sont arrivées aux plus brillants résultats comme nombre de visites intérieures et comme données utiles qui en ont été tirées.

L'association est arrivée à visiter intérieurement chaque année 95 p. 100 du nombre total des chaudières associées.

M. Hanet-Cléry, dans le travail inséré dans les *Annales*, a déjà

fait connaître les remarquables résultats que M. Vinçotte, l'ingénieur en chef de cette association, a tirés des observations relatives aux corrosions intérieures et extérieures. Je n'y reviens donc pas ici.

M. Vinçotte, se fondant sur les résultats d'une pratique autorisée, est une des personnes qui ont le plus vivement attaqué l'importance exagérée donnée aux essais à la presse, comme moyen de vérification de l'état d'une chaudière. Cet ingénieur est arrivé sur ce point aux mêmes conclusions que le congrès de Dresde de 1875.

En s'appuyant sur les statistiques belges, M. Vinçotte faisait remarquer, au 1er janvier 1878, que, d'après les probabilités, cinq chaudières parmi celles faisant partie de l'association, auraient dû sauter depuis la date de sa fondation, alors au contraire qu'aucun accident n'avait été constaté. Il ajoutait que cela résultait qu'il est légitime d'attribuer à la surveillance exercée par l'association, avait été obtenu en rendant les réparations moins fréquentes que dans les chaudières non surveillées. Ainsi le nombre des chaudières de l'association ayant du subir de grosses réparations qui était de 13 p. 100 au début de l'association, était tombé à 4 1/2 p. 100 en 1877. L'association alsacienne, dans ses derniers exercices, est même arrivée à 5 p. 100.

Cela répond péremptoirement à une objection souvent faite aux associations, et qui consiste à dire qu'elles n'obtiennent leurs résultats qu'au prix de réparations incessantes imposées aux associés. C'est le résultat contraire qui est vrai.

II. — ASSOCIATIONS FRANÇAISES.

Il existe en France, en ce moment, 7 associations de propriétaires d'appareils à vapeur, auxquelles il convient d'ajouter l'association alsacienne, qui, bien qu'ayant son siège et son centre principal à Mulhouse, étend son action comme nous l'avons dit, sur 5 de nos départements du Nord-Est.

Le tableau suivant fait connaître les renseignements essentiels relatifs à ces 8 associations, d'après les données les plus récentes.

DATE DE LA FONDATION.	NOM DE L'ASSOCIATION.	SIÈGE de l'association.	DÉPARTEMENTS sur lesquels s'étend l'action de l'association.	NOMBRE d'adhérents.	NOMBRE de chaudières.	RAPPORT au nombre de chaudières du nombre de visites annuelles	
						extérieures.	intérieures.
1867	Association Alsacienne	Mulhouse	Vosges Meurthe-et-Moselle Haute-Saône Doubs Haut-Rhin	» » » » »	142 76 66 61 31	1376 (*)	138 %	50 %
1873	Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France.	Lille	Nord Pas-de-Calais Aisne Somme	» » » »	1.124 146 23 4	1.297	120 %	83 %
1874	Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise.	Amiens	Aisne Somme Oise Pas-de-Calais	33 55 25 1	136 114 58 6	314	»	60 %
1874	Association normande des propriétaires d'appareils à vapeur.	Rouen	Seine-Inférieure Eure Calvados Somme Oise Eure-et-Loir	128	383 65 24 4 3 13	493	»	70 %
1874	Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur.	Paris	Seine Seine-et-Oise Seine-et-Marne Eure-et-Loir	97 14 1 1	243 38 2 3	286	110 %	50 %
1876	Association lyonnaise des propriétaires d'appareils à vapeur.	Lyon	Rhône Isère Loire Ain Côte-d'Or Ardèche	108	191 77 47 14 7 4	340	»	50 %
1878	Association de l'Ouest des propriétaires d'appareils à vapeur.	Nantes	Loire-Inférieure Vendée Morbihan	11	88 7 4	99	»	»
1879	Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Sud-Ouest.	Bordeaux	Gironde Charente Dordogne Lot-et-Garonne	28 12 15 7	78 44 15 7	144	»	»
		Total			349			

(*) Observation. — L'assosiation alsacienne surveille, en outre, 1,251 chaudières à l'étranger.

Je ne reviendrai pas sur les renseignements donnés précédemment relativement à l'association alsacienne ; je me borne à rappeler que cette association, qui a servi de modèle et qui a été l'école de toutes celles fondées sur le continent, est en somme une création française.

L'association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France a été reconnue d'utilité publique, par un décret du

11 décembre 1879. Les *Annales* ont reproduit ce décret (*) et les statuts qui l'accompagnaient; elles ont fait suivre cette publication de la reproduction du règlement intérieur et d'une note sur le fonctionnement de l'association. Nous pouvons donc nous borner à renvoyer à ces documents d'autant plus que les statuts et le règlement ne sont qu'une nouvelle application, sans aucune modification, des règles que nous avons fait connaître pour l'association alsacienne. La seule différence à constater est que l'association de Lille n'a pas encore pu adopter le système d'indemnité en cas d'accident, ou de garantie, inauguré à Mulhouse en 1868.

Au reste, en dehors du système d'assurance mutuelle pratiqué en Autriche, l'association de Mulhouse est la seule, sur le continent, à laquelle l'accumulation des excédants annuels des bénéfices ait permis d'inaugurer la pratique de la garantie de l'association de Manchester. J'ajouterai toutefois que certaines des sociétés d'assurances de France et de Belgique, qui pratiquent l'assurance des chaudières, consentent, sur les primes ordinaires, des réductions importantes, allant jusqu'à 50 p. 100, aux membres faisant partie de l'association de Lille, tant est grande leur confiance dans les résultats de cette surveillance.

L'association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise s'est constituée, avec son siège à Amiens, le 16 mai 1874, sous les auspices de la Société industrielle d'Amiens et de la Société industrielle de Saint-Quentin. A la fin de son premier exercice, en 1875, elle comptait 118 adhérents et 233 chaudières. Le tableau ci-dessus donné montre que ses progrès ont été assez lents. Les statuts de cette association sont identiques de tous points à ceux de la société de Lille et le tarif est le même.

L'association normande a été fondée à Rouen le 16 octobre 1874, avec 62 adhérents et 240 chaudières, sous les auspices de la Société industrielle de Rouen. Son développement a été relativement assez rapide. Ses statuts sont semblables à ceux des deux précédentes associations. Le droit d'exclusion y est seulement inscrit d'une façon plus explicite encore; l'article 12 stipule, en effet, que le conseil d'administration « aura la faculté de prononcer l'exclusion à l'expiration de chaque exercice annuel ». Les cotisations sont fixées par chaudière comme suit :

(*) Partie administrative, volume de 1879, page 362.

NOMBRE DE CHAUDIÈRES D'UNE MÊME MAISON appartenant à un même établissement.	1 à 5.	6 à 10.	11 et au-dessus.
Chaudières de 10mq de surface de chauffe et au-dessous	25	20	»
— de 11 à 25mq —	40	35	30
— de 26 à 50mq —	50	45	40
— de 51mq et au-dessus	60	50	45

L'association parisienne s'est fondée, le 1er mai 1875, avec 22 adhérents et 86 chaudières; son développement est fort lent, eu égard au nombre de chaudières qui existent dans l'agglomération parisienne. Ses statuts sont les mêmes que ceux des associations précédentes sauf qu'ils sont muets sur le droit d'exclusion.

Le tarif des cotisations est le suivant :

De 1 à 5 chaudières	60	francs.
Pour les 5 chaudières suivantes, soit de 6 à 10	50	—
— soit de 11 à 15	40	—
— soit de 16 à 20	30	—
— soit de 21 à 25	20	—

Au delà de 25 chaudières, il peut intervenir un arrangement spécial entre le propriétaire et le conseil d'administration. La cotisation annuelle pour toute chaudière de moins de 6 mètres carrés de surface de chauffe, n'est que de 40 francs.

L'association lyonnaise a été constituée à Lyon, le 1er avril 1876, avec 128 chaudières. La Société des sciences industrielles de Lyon, bien que n'ayant pas concouru directement à la fondation de l'association, comme à Mulhouse, Lille, Amiens et Rouen, lui a donné son appui moral. Les statuts de cette association sont identiques à ceux des associations de Lille et d'Amiens.

Le tarif est le suivant :

NOMBRE DE CHAUDIÈRES d'une même maison.	1 à 5	6 à 10	11 à 15	15 à 20	21 et au-dessus.
Par chaudière	50	45	25	20	15

L'association de l'Ouest s'est constituée à Nantes, le 27 mars 1878, avec 50 chaudières. Ses statuts sont identiques à ceux de l'association parisienne, sauf en ce qui concerne le tarif, lequel est le suivant :

NOMBRE DE CHAUDIÈRES PAR ÉTABLISSEMENT.	1 à 5	6 à 10	11 à 15
Par chaudière de 5^{mq} de surface de chauffe et au-dessous	10	»	
Par chaudière de 5 à 10^{mq}	15		
de 10 à 20^{mq}	35		
de 20 à 40^{mq}	40	35	
de 40 à 80^{mq}	45	40	35
de 80^{mq} et au-dessus	50	45	40

L'association du Sud-Ouest a été fondée à Bordeaux, le 5 mai 1879, avec 15 adhérents et 70 chaudières. Ses statuts sont identiques également à ceux de l'association parisienne, sauf pour le tarif, qui a été ainsi fixé :

1° *Chaudières motrices :*

Par chaudière au-dessous de 10 mètres quarrés . . . 30 francs.
— de 10 à 20 mètres quarrés . . . 40
— au-dessus de 20 mètres quarrés . . . 60

2° *Chaudières calorifères :*

20 francs par chaudière

3° *Récipients de vapeur :*

20 francs par récipient.

Depuis 1876, les ingénieurs en chef des diverses associations françaises, y compris celle de Mulhouse et l'association belge, se réunissent chaque année dans un congrès pour discuter toutes les questions techniques et administratives qui peuvent se rattacher aux deux objets poursuivis par les associations, la sécurité et l'économie dans l'emploi de la vapeur. Ces congrès ont été tenus à Lille en 1876, à Bruxelles en 1877, à Paris en 1878, et à Rouen en 1879. Les comptes rendus des trois premières sessions ont été déjà publiés et fournissent les plus utiles indications sur toutes les questions relatives aux chaudières et aux machines à vapeur.

Nous devons précisément relever quelques-uns des points principaux sur lesquels un accord s'est établi entre toutes ces associations. Nous le ferons en revenant avec un peu plus de détail sur les agissements des associations dont nous nous sommes borné jusqu'ici à exposer la constitution générale et à suivre le développement. Cette étude, si sommaire que nous soyons obligé de la faire, servira à bien établir l'utilité et la nature des services rendus par les associations en général et par les associations françaises en particulier, car ce sont elles que nous aurons plus spécialement en vue dans notre troisième partie.

III.

Le moyen principal par lequel toutes les associations s'acquittent de leurs devoirs, en ce qui concerne la sécurité, consiste dans l'exécution des visites extérieures et intérieures. On peut dire qu'aujourd'hui tout le monde, sans exception, reconnaît que de pareilles visites, souvent répétées, sont indispensables pour qu'on puisse avoir quelque garantie dans l'emploi d'un appareil à vapeur. C'est sous l'empire de cette idée que Fairbairn avait fondé l'association de Manchester et que fonctionnèrent toutes les sociétés anglaises d'assurances dont nous avons parlé. La nécessité de ces visites a été transformée en obligation légale depuis 1871 par toutes les législations sur la matière de l'empire d'Allemagne, de l'Autriche et de la Suisse. Le nouveau règlement français du 30 avril 1880 s'est inspiré des mêmes idées, bien qu'il soit moins explicite en la forme que les législations étrangères précitées.

Mais pour que ces visites puissent donner tous les résultats qu'on peut en attendre, il faut qu'elles soient faites dans des conditions que les associations ont précisément pour but de réaliser.

Dans la *visite extérieure*, qui doit être faite à l'improviste, les ingénieurs ou inspecteurs vérifient, pendant que les chaudières sont en marche, l'existence, l'état et l'entretien des appareils de sûreté, ainsi que l'état et l'entretien des parties visibles de la chaudière, notamment en ce qui concerne les fuites.

Ils surveillent attentivement la tenue et le travail des chauffeurs; ils leur donnent des conseils et leur montrent rapidement comment doivent se faire les différentes manœuvres de chargement et de nettoyage des feux.

Les résultats de cette visite extérieure sont constatés dans un rapport détaillé transmis à l'intéressé.

La *visite intérieure* se fait sur les chaudières arrêtées; elle a pour objet de découvrir les défauts des tôles et des rivures, et en général tous les vices cachés qui, laissés inaperçus, peuvent donner lieu à des accidents graves.

Cette visite intérieure donne également lieu à un rapport détaillé adressé à l'intéressé.

Dans ces rapports, rédigés à la suite des visites extérieure et intérieure, on fait connaître à l'intéressé, d'une façon minutieuse l'état exact dans lequel se trouve son appareil au moment de la

visite; on y ajoute, le cas échéant, l'indication, à titre de simple conseil, des moyens les plus propres à faire disparaître les inconvénients ou les dangers constatés.

Ce serait une erreur de croire que la visite intérieure, dont l'importance est si capitale, peut être faite fructueusement par toute personne un peu au courant de la chaudronnerie. Il importe qu'elle soit faite par des agents désintéressés et compétents, par de vrais spécialistes, qui sacheht, par une longue pratique, où il faut chercher les défauts et qui sachent apprécier le degré de danger de ceux qu'ils découvrent et la nécessité plus ou moins urgente des réparations.

C'est à ce travail que les agents des associations donnent généralement leurs soins, et c'est parmi eux surtout qu'on peut espérer trouver ces spécialistes dont nous parlions.

Le nombre des visites faites dans l'année, et tout particulièrement celui des visites intérieures, peut servir à apprécier le fonctionnement d'une association. Il serait désirable que l'on se rapprochât de 100 p. 100, on ne devrait pas être au-dessous de 50 p. 100; en d'autres termes, dans des conditions normales, toute chaudière devrait être visitée intérieurement tous les ans; elle ne devrait, en tout cas, pas passer deux ans sans l'être.

Pour qu'une visite intérieure soit complète, il faut d'ailleurs que l'on puisse examiner toutes les tôles des deux côtés. Toutes les associations recommandent donc, tant en France qu'à l'étranger, que les chaudières soient refroidies et nettoyées au préalable; elles doivent être débarrassées des incrustations et de la suie, de façon que le fer soit visible sur ses deux faces. Les carneaux doivent être balayés. Tout appareil inaccessible ou toutes parties d'un appareil qui restent inaccessibles doivent être considérés comme laissant planer un doute sur la sécurité.

Le congrès des associations françaises s'est mis d'accord pour classer méthodiquement et uniformément les défauts qu'il y a lieu de rechercher et qui peuvent être constatés dans ces visites. Ce sont ces défauts qui doivent être, le cas échéant, signalés dans le procès-verbal dressé par l'agent inspecteur à la suite de toute visite intérieure.

En voici le tableau :

(a) Tableau des défauts de chaudières à relever dans les visites intérieures.

CHAUDIÈRES.

(b)	Pailles.		
	Tôles pailleuses.	à l'extérieur	Aux coups de feu.
	Bosses pailleuses.	à l'intérieur	A d'autres tôles.
	Bosses.		
(c)	Fuites aux rivures	circulaires.	(En indiquant la rivure à laquelle a lieu la fuite.)
		longitudinales.	
(d)	Fuites aux communications des chaudières à bouilleurs.		Rivures. Masticage.
(f)	Fuites aux assemblages des tubes dans les plaques tubulaires.		
	Fuites aux rivures des pièces.		
	Fuites aux rivures du dôme.	collerette.	
		rivure verticale.	
		rivure supérieure.	
	Fuites à la collerette du trou d'homme.		
	Fuites à des rivets	aux coups de feu.	
		à d'autres tôles.	
		aux dômes.	
		à des pièces.	
		mis dans des cassures ou corrosions.	
	Fuites à des joints	à des piètements, à des robinets.	
(g)	Pièces mal mises.		
(h)	Fontes et cassures	en pleine tôle.	
		autour du rivet à la ligne de matage.	
		entre rivets.	
	Têtes de rivets cassées.		
	Rivures dans lesquelles les rivets bordent la ligne de matage.		
	Pinces cassées.		
	Corrosions extérieures.		où spécifiant l'endroit, la nature ou apparence et la cause si possible.
	intérieures		
	Tirants et armatures cassés ou en mauvais état.		

FOURNEAUX ET CARNEAUX.

	Foyers en mauvais état.	
	Maçonneries des carneaux délabrées.	
	Communications entre deux carneaux.	
	Carneaux mal disposés.	
	Carneaux inaccessibles.	
	Barreaux de grille brûlés et en mauvais état.	
	Supports ne portant pas.	Chaudières.
	Supports en mauvais état.	Réchauffeurs.
	Supports insuffisants.	

NETTOYAGES.

(i)	Mauvais nettoyage intérieur des tôles. . . .	Chaudières.
	— extérieur — . . .	Réchauffeurs.
	Fortes incrustations.	
	Mauvais nettoyage des carneaux.	
	Tubes d'alimentation obstrués par des dépôts.	

Il est nécessaire, pour l'intelligence de ce tableau, dont il serait utile que la pratique se répandît hors des associations, de le faire suivre d'un certain nombre d'observations. Pour les présenter

plus clairement, nous avons porté sur le tableau une série de renvois que nous allons passer successivement en revue, dans leur ordre.

(a) — Le congrès des associations françaises distingue les défauts en *dangereux* et *non dangereux*.

Un défaut est noté comme *dangereux*, quand il nécessite une réparation dans l'année à dater du jour de la visite.

(b) — Une *paille* est un dédoublement de la tôle avec soulèvement d'une fraction de son épaisseur, la partie dessoudée ne s'étendant que sur une superficie d'un décimètre carré au maximum.

Une *tôle pailleuse* est une tôle présentant plusieurs *pailles* ou une dessoudure de plus d'un décimètre carré de surficie.

Une *bosse* est une déformation de la tôle sur toute son épaisseur, un renflement sans dessoudure.

Une *bosse pailleuse* est un renflement présentant une dessoudure.

On doit signaler si les *pailles* et *bosses* se présentent à l'extérieur, c'est-à-dire du côté des produits de la combustion ou à l'intérieur, c'est-à-dire du côté de l'eau.

(c) — On doit indiquer par son numéro à quelle rivure du corps cylindrique, et, s'il y a lieu, du foyer, du bouilleur ou du réchauffeur, la fuite se présente.

Pour le numérotage des rivures, on admet d'ailleurs que la première rivure est toujours celle d'avant, qu'elle relie un bouilleur, un foyer intérieur ou un corps cylindrique à un fond embouti, ou à un bouchon en fonte avec trou d'homme.

(d) — Dans le cas de communication avec joints à emboîtement mastiqués, on doit indiquer si les fuites se sont produites aux rivures ou au masticage.

(f) Dans une rivure il existe deux parties : le chanfrein et le rivet. Lorsque la fuite a lieu par le chanfrein et les rivets, c'est une *fuite à la rivure ;* si la fuite est localisée à des têtes de rivets isolés, c'est une *fuite à des rivets*.

(g) — Une *pièce* ne constitue un défaut que si elle est *mal mise* : cela n'est pas susceptible d'une définition exacte et doit se juger suivant les cas particuliers où la pièce se trouve.

(h) — Pour les *fentes* et les *cassures*, on doit désigner la tôle ou la rivure où elles se sont produites avec les circonstances intéressantes.

Aux fentes allant du rivet à la ligne de matage, il y aurait lieu d'ajouter celles se dirigeant de l'autre côté vers la tôle.

Parmi les fentes en pleine tôle, il y a lieu de faire spécialement mention des *fentes suivant la ligne de matage* et des *fentes à la courbure*, soit des fonds ou pièces emboutis, soit dans les fers d'angle d'assemblage.

Les *fentes entre rivets* et les *fentes aux lignes de matage* constituent, on le sait, un des défauts les plus dangereux, parce que ces fentes peuvent s'augmenter avec une rapidité qui peut provoquer une explosion, même avec une surveillance assez attentive et des visites intérieures rapprochées.

Les autres fentes paraissent se développer moins rapidement : toutefois les *fentes à la courbure* sont très dangereuses à cause de la difficulté de les découvrir et d'apprécier leur importance.

(i) — On considère comme *forte incrustation* une incrustation de plus de 8 millimètres.

Il est à peine besoin d'ajouter que, comme tout tableau de ce genre, celui ci-dessus rapporté n'est qu'un cadre, très complet sans doute, mais qui ne prévoit pas explicitement cependant certains défauts exceptionnels qui pourraient se rencontrer avec certains types de chaudières spéciales.

Il serait intéressant et très utile de condenser toutes les observations faites par les associations, en ce qui concerne les divers défauts ci-dessus catalogués, d'indiquer leur nature, leurs dangers, leurs causes, et, le cas échéant, les remèdes reconnus les meilleurs à y apporter ou les moyens les plus propres à les faire éviter. Rien ne serait plus propre que cette étude à montrer les grands services qu'ont rendus les associations en faisant pénétrer si avant dans les causes d'usure des chaudières et dans les moyens d'y remédier. Malheureusement, cette étude nous entraînerait beaucoup trop loin dans un travail déjà trop long. Aussi bien, ce travail se trouve déjà presque au complet dans l'ouvrage publié, à l'occasion de l'Exposition universelle, par M. E. Cornut, ingénieur en chef de l'association du Nord, sous le titre de « catalogue descriptif et raisonné des défauts des tôles, corrosions, incrustations, etc... ». Nous ne pouvons que renvoyer à cet ouvrage qu'il nous faudrait résumer ici. A peine y aurait-il quelques observations nouvelles ou complémentaires à faire depuis l'époque où il a paru. Je les mentionnerai très sommairement.

M. Hanet-Cléry, dans la note insérée aux *Annales*, a fait connaître les observations faites par M. Vinçotte, ingénieur en chef de l'association de Bruxelles, sur les corrosions extérieures et intérieures. Les causes auxquelles M. Vinçotte rapportait certains faits, notamment de corrosions intérieures par places ou de corrosions pustulaires, ont pu être discutées dans certains cas, et restent en somme, assez douteuses. Mais les faits eux-mêmes qu'il

a signalés avec tant de soin, comme conclusion pratique de ses observations, ont toujours été confirmés par toutes les observations ultérieures. Ils devraient être connus de tous ceux qui s'occupent de chaudières et ne jamais être perdus de vue surtout par ceux qui les emploient.

En rapprochant, sous une même forme, les résultats des observations faites par les visites intérieures, les associations ont mis en pleine évidence ce double fait : 1° que les fuites aux rivures sont beaucoup plus fréquentes sur les rivures circulaires que sur les rivures longitudinales, et 2° que dans les rivures circulaires, les fuites sont d'autant plus fréquentes que les rivures sont plus voisines du foyer. On sait que ces fuites sont une des causes principales des corrosions extérieures par lesquelles périssent tant de chaudières.

La pratique des associations paraît donner une importance de plus en plus grandes aux fentes et cassures, dues généralement à des dilatations inégales qui affectent surtout les *chaudières forcées*, sans préjudice de la consommation exagérée de combustible qui résulte d'une pareille marche (*).

Cette question des chaudières forcées a été examinée dans le congrès des associations tenu à Paris en 1878.

On a reconnu qu'il était difficile de chiffrer la quantité maximum de combustible à brûler par mètre carré, parce qu'elle dépend d'un très grand nombre d'éléments complexes et divers : de la grandeur et de la disposition de la chaudière d'une part, de la nature du charbon employé et de l'eau d'alimentation, d'autre part. La nature plus ou moins incrustante de l'eau et sa plus ou moins grande facilité à produire des savons oléo-calcaires, jouent également un rôle important.

Les données suivantes ne peuvent donc être considérées que comme de simples indications.

L'association de Lille adopte, pour ses installations, une consommation de 2 kilogr. par mètre carré de surface de chauffe des générateurs seulement, c'est-à-dire non compris les réchauffeurs.

Dans l'association Lyonnaise on considère 3 kilogr. comme la limite supérieure qu'on ne doit pas dépasser dans les chaudières, à un foyer intérieur de 25 mètres carrés de surface de chauffe : ce chiffre serait trop fort pour des chaudières d'une plus grande surface. Les installations de l'association sont basées sur une con-

(*) Quelques indications ont été déjà données sur ce sujet dans un rapport de M. l'ingénieur en chef Luuyt, inséré aux *Annales* (7e série, t. XIV, p. 549).

sommation de 1 1/2 kilog. par mètre carré de surface de chauffe, pour des chaudières à 2 foyers intérieurs et 2 réchauffeurs présentant 100 mètres carrés de surface de chauffe totale.

A Rouen on prend pour base le chiffre de 2 kilog. par mètre carré de surface de chauffe, réchauffeurs non compris.

A Mulhouse on admet comme limite supérieure 2 kilog. à 2 kilog. 1/2, suivant la proportion de charbon menu.

Dans ce même congrès de Paris, on a signalé une série d'accidents arrivés à des chaudières par suite de l'emploi d'eaux grasses pour l'alimentation (*). Dans certains cas, en présence de certaines eaux, notamment d'eaux contenant des carbonates de chaux et de magnésie, il se forme un savon calcaire qui peut empêcher l'eau de mouiller les tôles. De là, les fentes, cassures et bosses relevées en cas pareils. S'il n'est pas possible de se procurer d'autres eaux d'alimentation, l'emploi du carbonate de soude a été indiqué comme permettant de remédier à ces inconvénients.

En dehors des visites extérieures et intérieures qui constituent l'objet principal de toutes les associations, elles rendent à leurs associés, en France particulièrement, beaucoup d'autres services importants.

Le premier, bien qu'un peu indirect pourtant, est leur action sur les chauffeurs et mécaniciens. Sans parler des concours de chauffeurs qui se pratiquent en certains points, comme à Mulhouse, Lille et Amiens, les associations concourent très utilement à instruire les chauffeurs et mécaniciens par les explications et indications qui leur sont données lors des visites. Presque toutes les associations françaises ont publié et distribué à leurs membres des instructions pratiques, très détaillées, pour la conduite et la surveillance des chaudières et des machines, à l'usage des chauffeurs et mécaniciens. Certaines d'entre elles ont en outre entrepris des cours pratiques publics.

Il serait oiseux de rappeler tous les services rendus par l'usage de l'indicateur de Watt, manié par une personne expérimentée et compétente. La simple étude des diagrammes lui suffit pour indiquer les défauts d'une machine et peut lui permettre fréquemment d'indiquer les moyens de faire disparaître immédiatement, et presque sans frais, certains défauts, comme ceux résultant d'un mauvais serrage du piston, d'un mauvais règlement de la distribution, etc.

Les associés trouvent au siège de leur société les renseignements

(*) Des faits analogues ont été relevés dans le rapport précité de M. Luuyt.

les plus complets pour tout ce qui concerne les chaudières et machines. Ils ont là, à leur disposition, un bureau de consultation très compétent et très bien renseigné. Ils peuvent y recourir toutes les fois qu'ils en ont besoin, soumettre à l'avance aux ingénieurs tous leurs plans et projets et même les faire faire entièrement par eux.

A une époque où l'on ne peut se flatter de bien connaître une matière qu'en s'y consacrant d'une façon exclusive et spéciale, on conçoit le grand avantage que les industriels peuvent retirer de pareilles facilités. Il est tellement apprécié, du reste, que, dans une seule de nos associations françaises, il a été fait, pour les industriels, les plans d'installation de 25.000 mètres carrés de surface de chauffe.

Par leurs bulletins, gratuitement distribués à leurs membres, où les associations publient, une fois par an au moins, le compte rendu de leurs travaux et les principales observations faites par elles, elles tiennent les associés au courant de toutes les questions importantes relatives aux chaudières et machines, et elles font profiter chacun de l'expérience de tous.

La publication des comptes rendus des congrès annuels complète parfaitement celle des bulletins.

Les associations ne se bornent pas à faire les projets de chaudières et de machines; elles passent les marchés pour leurs associés, suivant des modèles arrêtés par elles, surveillent l'exécution, notamment le choix des matériaux employés dans les chaudières, et procèdent à leur réception avec toute l'autorité et l'importance que leur assure une compétence incontestée.

En dehors de ces travaux d'intérêt plus particulièrement individuel, les associations qui, par suite d'un nombre d'adhérents suffisant, se trouvent en possession d'excédants de recettes, les ont consacrés en partie à des études d'un caractère plus général. Telles sont celles qui ont été faites à Mulhouse sur l'étude des valeurs intrinsèques des houilles, les essais au frein de diverses machines de l'industrie alsacienne, les comparaisons entre divers types de chaudières et de machines, l'étude des calorifuges, etc., et celles faites à Lille sur l'enveloppe des cylindres de machines, etc.

En présence des services rendus en France par les associations, même sous l'empire d'une réglementation qui ne leur était rien moins que favorable, en présence du développement relativement rapide de certaines d'entre elles, comme celles de Mulhouse et de Lille, on pouvait être étonné au premier abord que les autres ne

se fussent pas développées davantage et qu'il ne s'en formât pas de nouvelles dans certaines régions industrielles, où leur place était toute indiquée!

En rapprochant les 3.349 chaudières faisant partie d'associations en France du chiffre de 48.000 chaudières fixes qui existe dans notre pays, on trouve une proportion de 8 p. 100 seulement, inférieure de beaucoup à celle de tous les autres pays du continent.

Bien des raisons peuvent, il est vrai, expliquer cette situation. L'ignorance où étaient la plupart des industriels de l'existence, du rôle et des services rendus par les associations, y est certainement pour beaucoup. D'autre part il est permis de dire que, sous l'empire de la réglementation de 1865, et avec la manière dont elle était interprétée et appliquée, on en arrivait à se préoccuper de moins en moins d'une surveillance sérieuse des chaudières, alors que la nécessité en était, au contraire, plus établie de jour en jour.

Avec le nouveau règlement du 30 avril dernier, il n'est pas douteux que cette situation ne vienne à changer. Les associations déjà existantes vont se développer, et de nouvelles se fonderont dans les régions de la France où celles-là ne peuvent pas ou ne voudront pas s'étendre. Sans en arriver à l'émiettement de l'Allemagne, qui est de nature à ne pas permettre la constitution d'associations riches et prospères, et par suite susceptibles de se livrer à des études générales et d'avoir un excellent personnel, il peut être avantageux à divers égards de concentrer chaque association dans une région industrielle naturelle. En empruntant au domaine juridique une de ses expressions, on pourrait dire que ces associations sont en partie des *associations de personnes* : il faut donc qu'il y ait entre elles un certain lien commun en dehors de l'association. Cela est si vrai que nous avons vu toutes les associations qui, en France, se sont développées le plus rapidement, fondées sous les auspices de sociétés scientifiques locales ayant de profondes racines dans un pays de grande industrie.

Les renseignements statistiques que nous avons donnés sur les diverses associations montrent que beaucoup ont commencé dans les proportions les plus modestes. Mais tant qu'une association n'est pas arrivée à avoir 500 chaudières environ, son existence reste toujours quelque peu précaire, et elle aura beaucoup de peine à faire balancer ses recettes et ses dépenses. Il faut à une association, dès le début, outre l'ingénieur qui la dirige et qui doit en être l'âme, un inspecteur au moins, et il y aura lieu de

compter pour l'avenir sur un inspecteur de plus par 300 chaudières. Pour passer cette période critique du début, les associations ont eu recours, les unes à de simples avances momentanées qui leur ont été consenties par leurs fondateurs ou leurs principaux membres, d'autres, comme la société de Rouen, qui s'est constituée explicitement en association mutuelle conformément à l'article 68 de la loi du 24 juillet 1867 sur les sociétés et au décret du 22 janvier 1868, ont emprunté un petit capital de fondation.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les détails de l'organisation intérieure de ces associations. Celles qui se fonderont par la suite doivent commencer et commenceront évidemment par aller étudier de près et sur place la vie de leurs aînées, dont l'existence est aujourd'hui assurée et le fonctionnement très satisfaisant à tous égards. Il nous suffit d'avoir indiqué, dans les pages qui précèdent, des divers points dont il pourra y avoir lieu de se préoccuper lors de la fondation de nouvelles sociétés, et nous espérons que les renseignements donnés par nous sur les diverses associations du continent ne seront pas inutiles peut-être au développement des associations déjà existantes et à la création de celles que l'avenir verra certainement fonder. Toute question de législation et d'obligations réglementaires mise à part, il faut bien que le principe de la surveillance par les associations soit juste pour voir ces sociétés si répandues et ayant un si grand nombre d'adhérents à l'étranger.

NOTE SUR LA PRODUCTION DU SEL DANS L'ÉTAT DE MICHIGAN

Le troisième volume de la *Géologie de l'État de Michigan*, ouvrage publié par le gouvernement de l'État, renferme un rapport détaillé sur l'industrie du sel, fait par M. S. S. Garrigues, inspecteur des salines (*State salt Inspector*). Ce rapport est digne d'intérêt, tant par les descriptions techniques qu'il renferme que par l'exposé des règlements minutieux qui régissent l'industrie du sel dans le Michigan. On éprouve quelque surprise à trouver de semblables règlements aux États-Unis. Je crois intéressant de faire suivre l'exposé des procédés de fabrication d'une traduction abrégée du règlement principal, en supprimant les détails de rédaction destinés à prévenir toute équivoque. Ces détails, qui peuvent être utiles dans un texte législatif, ne le seraient pas ici. On verra

dans ce règlement des dispositions absolument différentes de celles qui sont adoptées dans notre pays, dispositions qui indiquent une administration d'une grande simplicité.

L'industrie du sel a été soumise à ce règlement dans le Michigan, afin que certains fabricants, maladroits ou peu scrupuleux, ne pussent pas discréditer les produits du pays, en livrant des sels de mauvaise qualité. Un inspecteur est chargé de la surveillance de la fabrication. La plus grande latitude est laissée à cet inspecteur pour l'organisation de son service : il partage le pays en districts, à sa guise, il nomme lui-même ses agents. Les frais de l'inspection sont supportés par les inspectés, qui payent une taxe suivant les quantités de sel examinées. C'est l'inspecteur lui-même qui perçoit cette taxe, qui se paye son propre traitement et paye ses agents. Du reste, l'État n'entend pas faire de bénéfices sur le service ; les excédants de recettes sont rendus aux fabricants en proportion des taxes qu'ils ont payées. L'inspecteur a le droit d'édicter lui-même des règlements spéciaux et même de fixer des amendes jusqu'à la somme de 10 dollars.

Comme corrélatif de l'indépendance laissée à l'inspecteur, une grande publicité est donnée à tous ses actes : le premier venu peut entrer dans son bureau, et consulter ses registres ; ses rapports sont imprimés dans les journaux. Il est responsable envers les fabricants et doit réparer tout préjudice que lui ou ses agents leur causent. Par exemple, s'il n'a pas fait inspecter du sel à la demande d'un fabricant, dans les douze heures de jour qui ont suivi cette demande, il doit payer au fabricant une indemnité de 50 dollars, et même des dommages-intérêts, s'il y a lieu. Comme on le voit, nous sommes bien loin des pratiques du vieux monde.

Le règlement, complété par les règles spéciales de l'inspecteur, entre dans les détails les plus grands, puisqu'il va jusqu'à fixer le nombre de cercles des barils qui renferment le sel et la dimension des lettres des inscriptions qui doivent être placées sur les barils.

I. — PRÉPARATION DU SEL.

Les dépôts salins existent dans la partie de l'État appelée Péninsule inférieure, qui s'étend entre le lac Michigan, à l'ouest, et les lacs Huron, Saint-Clair et Érié, à l'est, principalement dans les vallées de la rivière Saginaw et de ses affluents, et tout autour de la baie Saginaw (dans le lac Huron). Les sources salées étaient connues des Indiens ; le géologue Douglas Houghton a signalé leur

importance en 1838, et elles ont été activement recherchées et exploitées dans ces dernières années.

D'après M. C. Rominger, auteur de la description géologique de la Péninsule inférieure (dans le même volume de la *Géologie de l'État de Michigan*), les dépôts salins existent à la partie supérieure du terrain dévonien, dans le groupe de Waverly. Ce terrain est en partie recouvert par le calcaire carbonifère et le terrain houiller, toutes ces couches étant horizontales. A la base du calcaire carbonifère se trouvent des bancs de gypse. Le groupe de Waverly, d'une épaisseur de 300 mètres environ, se compose de schistes et de grès; les dépôts salins s'y trouvent à tous les niveaux et sont riches surtout dans les parties inférieures. On rencontre toujours le sel à l'état de dissolution, et l'on n'a jamais reconnu de traces de sel gemme dans les sondages.

Pour exploiter le sel, on commence par pratiquer un sondage de $0^m,20$ environ de diamètre, jusqu'à une profondeur de 200 à 300 mètres. L'eau salée s'élève à une certaine hauteur dans le trou; mais il faut une pompe pour l'amener jusqu'au jour. Au début, la teneur en sel est généralement faible; si, au bout de quelques jours, elle n'augmente pas, c'est que l'eau des couches supérieures s'infiltre dans le puits; ces infiltrations sont d'autant plus à craindre que cette eau est généralement séléniteuse. Un puits peut donner en moyenne 50 à 90 litres d'eau par minute. On mesure la teneur en sel de l'eau au moyen du salinomètre, qui est un aréomètre divisé en 100 degrés, marquant zéro dans l'eau pure et 100 dans l'eau saturée à 15 degrés.

Voici quelques exemples de la composition de l'eau provenant des sondages; toutes ces analyses, sauf la dernière, se rapportent à des eaux provenant de la vallée de la rivière Saginaw :

Degré du salinomètre. . .	»	54	65	86	80	95	88
Profondeur du puits. . . .	»	200m	150m	260m	245m	235m	365m
Chlorure de sodium. . . .	17,90	12,50	15,25	17,50	16,85	19,85	17,60
— de calcium. . . .	2,15	0,35	0,55	2,60	2,25	2,95	3,10
— de potassium . .	0,20	»	»	»	»	»	»
— de magnésium. .	1,50	0,15	0,10	1,05	0,95	1,25	1,55
Carbonate de fer.	0,10	»	»	»	»	»	»
Sulfate de chaux.	0,10	0,50	0,40	0,10	0,15	0,07	0,01
Total du résidu fixe. .	21,95	13,80	16,60	21,25	20,20	24,12	22,26
Eau	78,05	86,20	83,40	78,75	79,80	75,88	77,74
Total.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

L'eau salée est recueillie dans des réservoirs en bois, élevés à une hauteur suffisante sur des soubassements en charpente, et d'une capacité de plus de 100 mètres cubes. On y précipite le fer, qui existe en petite quantité dans l'eau salée à l'état de carbonate, au moyen d'un lait de chaux. Le liquide, décanté après 48 heures de repos, est évaporé soit par l'action directe du feu, soit par celle de la vapeur, provenant de l'échappement de machines de scieries ou bien directement de chaudières, soit par l'action du soleil. Le combustible employé consiste en sciure et déchets des scieries, auxquels on ajoute parfois du bois de chauffage. Dans une scierie, souvent, le jour, la vapeur d'échappement est employée à la production du sel; la nuit, on la prend directement aux chaudières.

Évaporation par l'action directe du feu. — Cette opération se fait soit dans des chaudrons, soit dans des vases plats. Les chaudrons, d'une capacité de 500 litres environ, sont installés, au nombre de 50 ou 60, en deux rangées, au dessus de deux carneaux parallèles partant d'un même foyer. Des voûtes en briques protègent contre l'action trop forte de la chaleur les chaudrons les plus rapprochés du foyer. Les carneaux vont en s'élevant légèrement jusqu'à la cheminée, haute de 12 à 15 mètres; la hauteur du fond des chaudrons au dessus de leur sole diminue ainsi de $0^m,90$ à $0^m,25$ ou $0^m,30$. Le combustible consiste (et surtout consistait il y a quelques années) en bois de rebut des scieries. La batterie est installée sous une halle de 42 mètres de longueur sur 13 à 15 mètres de largeur et $5^m,50$ de hauteur au centre, munie d'ouvertures pour le dégagement de la vapeur. Deux tuyaux, souvent en bois, règnent entre les deux rangées de chaudrons, et distribuent l'eau salée et l'eau pure pour les lavages.

Les chaudrons, bien lavés, sont remplis d'eau salée; avec un bon feu, l'ébullition commence au bout de peu de temps; on enlève l'écume qui se forme à la surface du liquide. Bientôt les cristaux de sel paraissent à la surface, puis tombent au fond. Quand le liquide est réduit au tiers environ de son volume primitif, on enlève le sel avec une cuiller et on le met dans un panier, on le laisse égoutter pendant deux ou trois heures. On vide ensuite les paniers dans les cases à sel, munies de planchers à claire-voie, qui règnent, parallèlement aux chaudrons, sur toute la longueur du bâtiment.

On enlève à l'écope les eaux-mères qui restent dans les chaudrons, on les lave, puis on recommence une nouvelle opération. La durée de chaque opération est de 4 à 12 heures, suivant la po-

sition des chaudrons par rapport au foyer. Deux chauffeurs et deux sauniers, travaillant par postes de 12 heures, deux par deux, conduisent une batterie qui peut produire 75 barils (9.500 kilog.) par 24 heures.

Les vases plats, en tôle de 6 millimètres, ont une profondeur de $0^m,25$ à $0^m,30$, une largeur de $3^m,60$ à $4^m,60$ et une longueur de 12 mètres. Trois de ces vases sont généralement placés bout à bout. Les bords sont droits ou inclinés; cette dernière disposition permet d'enlever le sel au râteau, tandis qu'il faut employer la pelle avec la première. Ces vases reposent sur trois murs parallèles, formant deux carneaux. Des voûtes en briques protègent les parties les plus exposées au feu, comme lorsqu'on fait usage de chaudrons. L'ébullition est très rapide dans ces vases, et il faut beaucoup de soin de la part des ouvriers pour empêcher le sel de s'attacher au fond; il faut d'enlever à mesure qu'il se forme. On l'étend sur un plancher à claire-voie avant de le mettre dans les cases, où s'achève l'égouttage.

Cette installation a été perfectionnée dans un établissement de Port-Austin (MM. Ayres et Ce). On a construit 7 murs parallèles, formant 6 carneaux : les gaz chauds parcourent trois fois la longueur des vases, en passant d'abord par les deux carneaux du milieu. La chaleur est mieux utilisée et le sel se trouve rejeté sur les bords dans une région relativement froide, où il ne risque pas de s'attacher. Ces vases ayant une surface de 135 mètres carrés, la production était, par 24 heures, de 140 barils (17.000 kilog.), avec une consommation de 47 stères de bois résineux.

Évaporation par l'action de la vapeur. — C'est par ce procédé que se fabrique la majeure partie du sel dans l'état de Michigan. On chauffe l'eau salée, jusqu'au point où elle commencerait à déposer des cristaux, dans un grand réservoir en bois (longueur 41 mètres; largeur $2^m,75$; profondeur $1^m,80$, à l'usine de la Buffalo Salt C^e, East Saginaw), au moyen de cinq tuyaux, de $0^m,10$ de diamètre, parcourus par la vapeur, qui le traversent dans le sens de la longueur et près du fond. L'eau salée se dépouille alors des dernières parties d'oxyde de fer; on la fait écouler dans d'autres réservoirs de même longueur, mais moins larges ($2^m,25$) et surtout moins profonds ($0^m,40$), également traversés par des tuyaux qui reçoivent la vapeur. Les cristaux de sel se forment à la surface, puis tombent au fond; on agite de temps en temps le liquide afin qu'ils soient petits. L'évaporation dure ainsi 24 heures, à la température de 77 à 80° centigrades. On enlève alors le sel en le lavant dans l'eau-mère, on l'étend sur un plancher à claire-voie, où il égoutte pendant 24 heures, et on le met dans les cases, où il reste deux semaines.

Évaporation par l'action du soleil. — Cette opération se fait dans des auges en bois de $4^m,90$ sur $5^m,50$, profondes de $0^m,15$ à $0^m,20$, élevées de $0^m,60$ ou $0^m,90$ au dessus du sol, qu'on peut recouvrir au moyen de toits mobiles. Le fer se dépose dans une première série d'auges plus élevées que les autres, sous l'action prolongée de l'air, sans addition de chaux. Dès que les cristaux de sel apparaissent, on fait écouler le liquide dans la seconde série d'auges. A Syracuse, où les eaux salées contiennent beaucoup de sulfate de chaux, on fait usage d'auges intermédiaires où se dépose ce corps. On cherche à obtenir, dans cette fabrication, le sel en gros cristaux. Il faut, pour cela, avoir des auges à fond bien uni, tenir toujours recouvert de liquide le sel déposé, et n'ajouter le liquide que bien concentré. On fait, d'ailleurs, écouler de temps en temps les eaux-mères. On recueille le sel au bout de six semaines à deux mois : on le détache des auges avec des râteaux, on le lave dans l'eau-mère, puis on le met dans des vases à claire-voie et dans des cases. La récolte du sel se fait trois fois par an, au milieu de juin, au commencement de septembre et à la fin d'octobre.

Quel que soit son mode de production, le sel séjourne 14 jours au moins dans les cases pour s'égoutter (durée réglementaire), on l'emballe ensuite dans des tonneaux, qui en contiennent 127 kilog. On le classe en différentes catégories, pour les usages domestiques et les salaisons. Le sel de ces diverses catégories, quand il n'est pas assez pur, forme la seconde qualité, et on l'emploie en mélange avec le foin, pour saler les cuirs, etc.

Des diverses analyses données dans le mémoire de M. Garrigues, il résulte que les sels du Michigan contiennent 0,2 à 0,7 p. 100 de sulfate de chaux (0,09 seulement dans un échantillon, et 1,25 dans un sel commun), 0,5 à 1,4 p. 100 de chlorure de calcium, 0,14 à 0,70 p. 100 de chlorure de magnésium.

Le prix de vente, à l'une des usines, s'est abaissé assez régulièrement de 2 dollar 1,80 en 1866 à 1,10 en 1875, par baril. La production, qui a été en augmentant chaque année, dépassait un peu 1 million de barils (127 millions de kilog.) en 1875. Cette production consiste presque entièrement en sel fin, les autres sortes n'en forment qu'une fraction peu importante.

Nous donnerons comme exemple le prix d'établissement d'un établissement capable de produire 25 barils par jour :

Machine et chaudière	2.800 dollars.
Fonçage des puits (deux)	2.200
Tiges de sonde	250
Tubage	1.400
Pompes	250
Bâtiment et appareils d'évaporation	9.600
Tuyauterie depuis les puits	3.500
	20.000 dollars.

On commence à tirer parti des eaux-mères qui restent après l'extraction du sel. Ces eaux-mères contiennent des chlorures de calcium et de magnésium et du bromure de magnésium.

Le chlorure de calcium sert (en dissolution concentrée), pour la conservation des fruits ; pour la fabrication du chlorure de barium et du sulfate de baryte artificiel. On en fait usage aussi pour la préparation des pierres artificielles, d'après le procédé Ransom : on presse dans des moules un mélange de sable et de silicate de soude ; après l'enlèvement du moule, on verse sur le mélange une solution concentrée de chlorure de calcium, qui en rend la surface assez dure pour qu'on puisse le transporter dans un bain du même sel. Au bout d'un certain temps toute la masse devient dure, par suite de la formation du silicate de chaux. On enlève le chlorure de sodium par des lavages répétés.

Avec le chlorure de magnésium on fabrique la magnésie, en la précipitant par la chaux. Du bromure de magnésium on extrait le brome.

Enfin, les sels de rebut qu'on peut extraire des diverses liqueurs rejetées ont une certaine valeur comme engrais.

II. RÈGLEMENTS.

Les irrégularités de la fabrication du sel, qui en altéraient la qualité et la valeur, rendirent bientôt évidente la nécessité d'un système d'inspection, afin que les fabricants soigneux n'eussent pas à souffrir de la négligence des autres. Je cite les paroles du rapport de M. Garrigues. Dès 1865, plusieurs fabricants établirent un système d'inspection locale, qui donna de bons résultats, mais qui ne s'étendait pas à l'ensemble des produits. En 1868, une commission prépara un projet de loi sur l'inspection des fabriques de sel, projet qui fut adopté par la législature de l'État en 1869, et modifié en 1875. Voici quelles sont les dispositions de la loi actuellement en vigueur :

1. Il est interdit de vendre dans l'État ou d'en exporter du sel qui n'a pas été soumis à l'inspection, sous peine, pour le fabricant, d'une amende de 1.000 dollars au plus ou d'un emprisonnement de 90 jours au plus.

2. Un inspecteur du sel est nommé par le gouverneur de l'État, avec avis et approbation du sénat, pour une période de six ans.

3. Cet inspecteur divise le territoire en autant de circonscriptions qu'il juge convenable ; il installe dans chaque circonscription un ou plusieurs sous-inspecteurs, qu'il nomme et révoque de sa propre autorité, en étant responsable de leurs actes.

4. Le traitement de l'inspecteur est de 2.000 dollars par an, plus 500 dollars de frais de bureau et de tournées. L'inspecteur fixe le traitement des sous-inspecteurs qui, toutefois, ne doit pas dépasser 100 dollars par mois. Il retient les sommes nécessaires sur l'argent qu'il reçoit conformément à l'article suivant.

5. Les fabricants de sel payent 3 millièmes de dollar par *bushel* (56,55 litres) de sel pour frais d'inspection. L'inspecteur doit tenir des comptes réguliers, et toute personne qui le désire peut prendre connaissance de ses livres.

6. Avant d'entrer en fonctions, l'inspecteur prête serment et prend un engagement, garanti par des sécurités suffisantes, de 10.000 dollars. Toute personne subissant un dommage par la faute ou la négligence de l'inspecteur peut en recevoir l'entière compensation sur cette somme.

7. Les sous-inspecteurs fournissent à l'inspecteur les garanties qu'il juge convenable, et celui-ci recouvre contre eux les dommages-intérêts qu'il aurait à payer par leur faute.

8. L'inspecteur doit établir sa résidence dans les comtés de Saginaw ou de la Baie. Les sous-inspecteurs lui adressent sur le service des rapports hebdomadaires, dont des extraits sont inscrits sur des registres spéciaux ouverts à toute personne qui le désire.

9. L'inspecteur ne doit avoir aucun intérêt dans une fabrique de sel du Michigan.

10. Les sous-inspecteurs doivent visiter chaque jour, les dimanches exceptés, toutes les fabriques en activité de leur district.

11. L'inspecteur doit faire des tournées fréquentes.

12. Dans leurs visites, l'inspecteur et les sous-inspecteurs examinent le sel dans les cases et les liquides traités. Ils font rejeter ou classer dans la seconde qualité tous les produits qui n'ont pas une qualité convenable.

13. L'emploi de la chaux est interdit dans les vases où le sel se dépose, sous peine d'une amende de 25 dollars.

14. Toute personne peut faire examiner du sel par l'inspecteur,

15. Les paquets et barils doivent être ouverts par les soins de la personne qui les présente à l'inspection.

16. L'inspecteur ne doit recevoir le sel que s'il est bien fabriqué, exempt de corps étrangers, de chaux, de cendres, etc., complètement débarrassé des eaux-mères, si enfin on s'est conformé, pour sa préparation, à tous les règlements.

17. Les fabricants doivent fournir à l'inspecteur les hommes nécessaires pour manier et marquer les barils.

18. Chaque fabricant doit avoir une balance, qui sera vérifiée de temps en temps.

19. Les inspecteurs délivrent des certificats des quantités et qualités des sels inspectés; ils font marquer les paquets et barils de sel, en y inscrivant leur nom et le poids (le texte donne des détails précis sur la manière dont ces marques doivent être apposées).

20. Les barils doivent être bien fabriqués et munis du nombre de cercles prescrit par l'inspecteur.

21. La contrefaçon des marques est punie d'une amende de 100 à 1.000 dollars et d'un emprisonnement de 1 à 6 ans (ou de l'une des deux peines).

22. Il n'est pas permis d'emballer le sel avant que l'inspecteur n'ait vérifié qu'il est bien égoutté.

23. Pour assurer l'exécution de ces articles, toutes les cases à sel doivent être examinées dans les visites quotidiennes.

24. Les contraventions à l'article 22 sont punies d'une amende de 25 *cents* (1f,25 environ) par *bushel* (36,35 litres).

25. Il est défendu de se servir de nouveau des vieux barils, etc., sans enlever les marques anciennes, sous peine d'une amende de 1 dollar par *bushel*.

26. Les caisses et barils portent le nom du fabricant, sauf pour les sels de seconde qualité.

27. Les inspecteurs ne marqueraient pas les barils pour lesquels on ne se conformerait pas à l'article 26 (les deux marques peuvent être placées en même temps).

28. Les sels de seconde qualité sont vendus en vrac ou emballés.

29. La contrefaçon du nom d'un fabricant est punie d'une amende de 100 dollars, sans préjudice des dommages-intérêts.

30. Les inspecteurs fixent, de temps en temps, les poids des paquets de sel.

31. Des marques spéciales, fixées par l'inspecteur, désigneront les diverses sortes de sel moulu.

32. L'inspecteur qui pratiquera ou tolérera la contrebande du sel, ou la vente sans inspection, qui recevra de l'argent pour permettre les fraudes, perdra sa place et payera 1.000 dollars d'amende.

33. Si de coupable est un sous-inspecteur, l'inspecteur payera une amende de 250 dollars.

34. L'inspecteur et les sous-inspecteurs sont exempts du jury et du service militaire (sauf en cas d'invasion ou d'insurrection).

35. L'inspecteur pourra publier à sa convenance des règlements sur la fabrication et l'inspection du sel, sur les visites journalières et la détermination des quantités fabriquées, sur la division en divers districts du territoire.

36. L'inspecteur peut fixer des pénalités, de 10 dollars d'amende au plus, pour les violations de ces règlements. Ces règlements deviennent exécutoires après une semaine d'affichage dans les fabriques et de publication dans un journal.

37. L'inspecteur et les sous-inspecteurs doivent examiner le sel à toute réquisition d'un fabricant, dans un délai de 12 heures de jour au plus, dimanches exceptés. En cas de retard, ils payent au fabricant 50 dollars d'indemnité, plus des dommages-intérêts, s'il y a lieu.

38. La vente ou l'exportation des eaux-mères est formellement autorisée sans restrictions.

39. En cas d'absence de l'inspecteur, c'est le plus ancien sous-inspecteur qui prend son service.

40. L'inspecteur adresse tous les ans au gouverneur de l'État, avant le 15 décembre, un rapport indiquant : le nombre des divers districts, avec l'indication des fabriques; les qualités et quantités de sel inspectées dans l'année; les sommes reçues et les dépenses qu'il a faites; les recommandations qu'il lui paraît utile de faire pour la fabrication, les modifications et additions qu'on pourrait faire à la législation. Ce rapport est immédiatement publié dans un journal.

41. L'inspecteur fixe la grosseur du grain du sel fin.

42. La vente et l'embarquement du sel en vrac, après inspection, est expressément autorisée. Les fabricants sont également libres d'employer telles marques de commerce qu'il leur conviendrait (le cas de fraude excepté).

43. Si l'inspecteur a entre les mains, à l'époque de son rapport annuel, un excédant de recettes, il le restitue aux fabricants, proportionnellement aux sommes payées par eux pour taxe d'inspection.

A la suite du règlement général, le règlement particulier promulgué par l'inspecteur est publié. Il contient des prescriptions sur les nettoyages des diverses parties des fabriques, sur l'égouttage du sel, qui doit rester 4 jours dans les cases, sur l'emballage (la charge et la tare des barils est fixée), sur les marques, etc. Enfin il donne la division en districts, au nombre de 10, de la région salifère. On y trouve plusieurs exemples de l'amende de 10 dollars pour contraventions. Nous ne donnerons pas plus de détails sur ce règlement spécial qui, aux termes du règlement général, peut être modifié par l'inspecteur suivant les circonstances.

(*Extrait par* M. Ed. SAUVAGE, *ingénieur des mines, du* Rapport de M. Garrigues).

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-SEPTIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

Extraits de géologie pour les années 1877 et 1878; par MM. *Delesse* et *de Lapparent*. 59

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

L'éclairage électrique aux ardoisières d'Angers; par M. *Blavier*. 5

Note sur la mine de mercure du Siele (Toscane); par M. *Petiton*. 35

Note sur les mines de l'archipel des Féroë (îles de Sudéroë et de Naalsoë); par M. *Petiton*. 305

De l'échauffement produit par l'affaissement des terrains; par M. *Haton de la Goupillière*. 322

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Note sur la préparation des sels d'urane et de vanadium à Joachimsthal (Bohême septentrionale); par M. *Ch. Lallemand*. 326

OBJETS DIVERS.

Bulletin des accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur pendant l'année 1878. 22

Notice nécrologique sur M. Charles Couche, inspecteur général des mines; par MM. *Résal* et *Vicaire*. 53

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Production des combustibles minéraux, des fontes, des fers, des tôles et des aciers pendant l'année 1879. 299

Notice sur les travaux exécutés à Bourbonne-les-Bains; par M. *F. Rigaud*. 349

BULLETIN.

Note sur les associations et les sociétés de surveillance d'appareils à vapeur; par M. *L. Aguillon*. 537

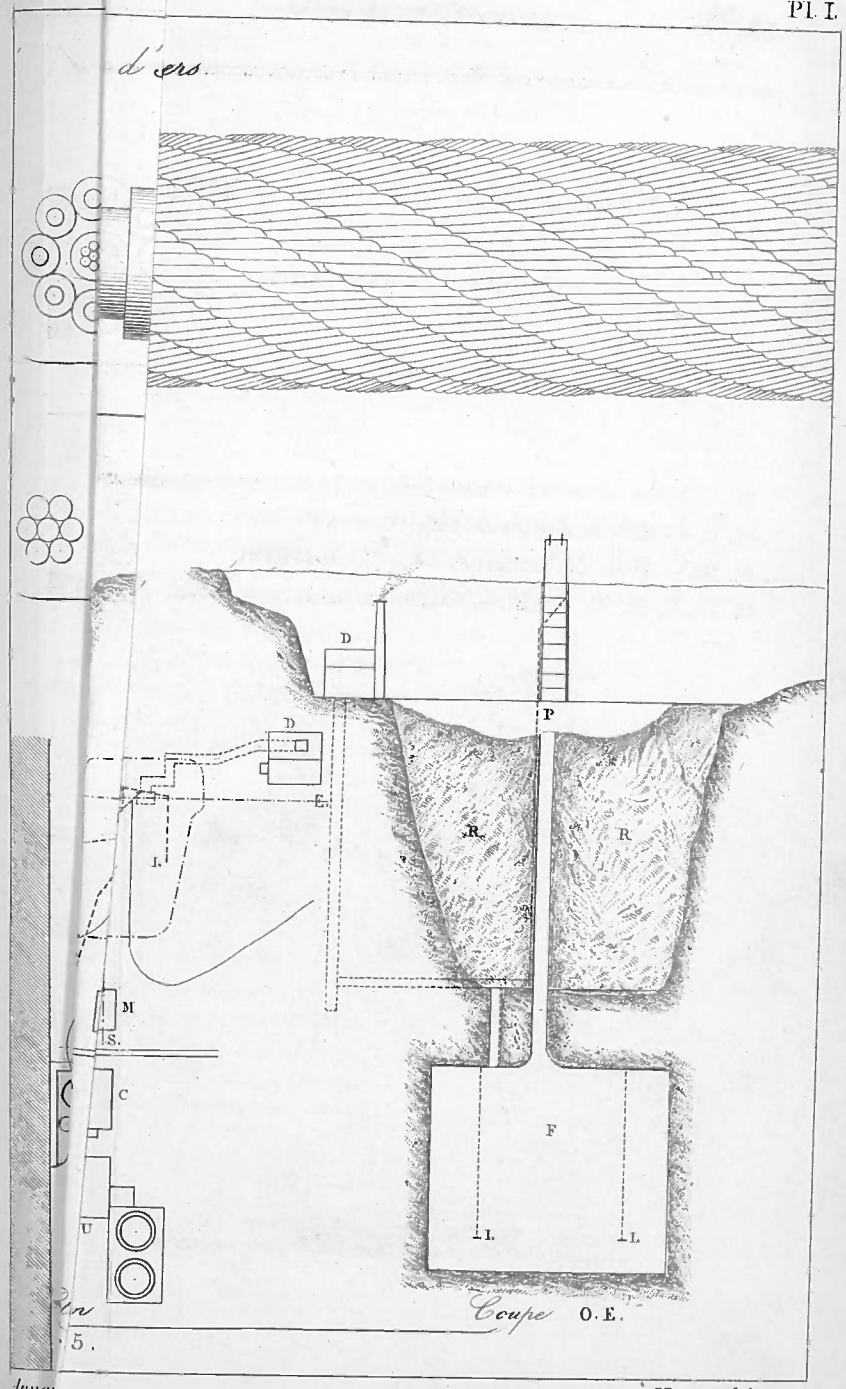
Note sur la production du sel dans l'état de Michigan. 570

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-SEPTIÈME.

Pl. I. — Application de l'éclairage électrique aux ardoisières d'Angers.
Pl. II. — Mine de mercure du Siele (Toscane).
Pl. III. — Mines de l'archipel des Féroë (île de Sudéroë).
Pl. IV, V, VI, VII et VIII. — Sources de Bourbonne-les-Bains.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.



Macquet del. et sc.

Application de l'éclairage électrique aux ardoisières d'Angers.

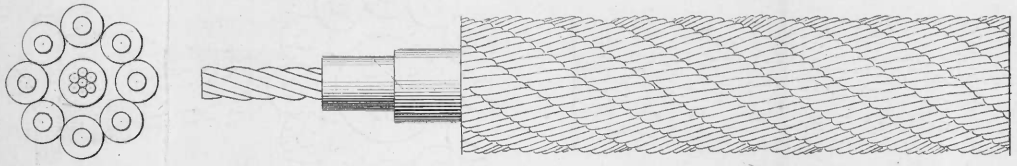


Fig. 1.

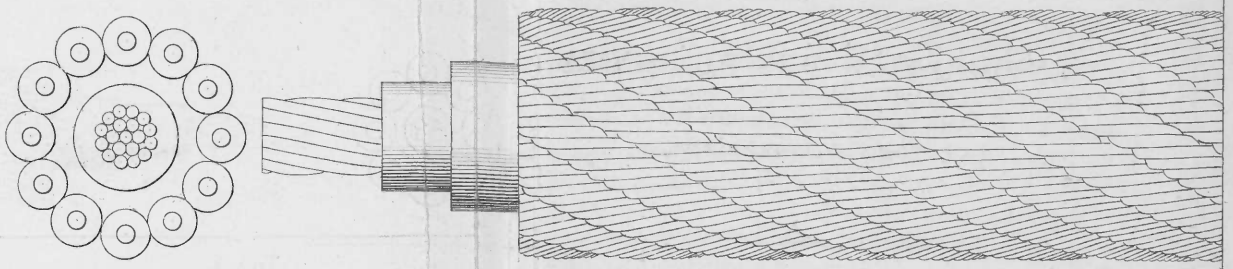


Fig. 2.

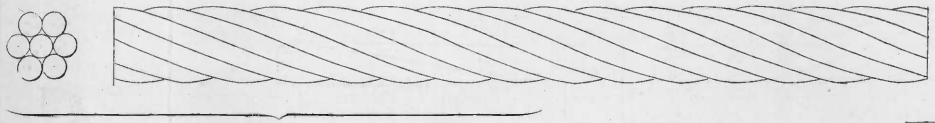


Fig. 3.

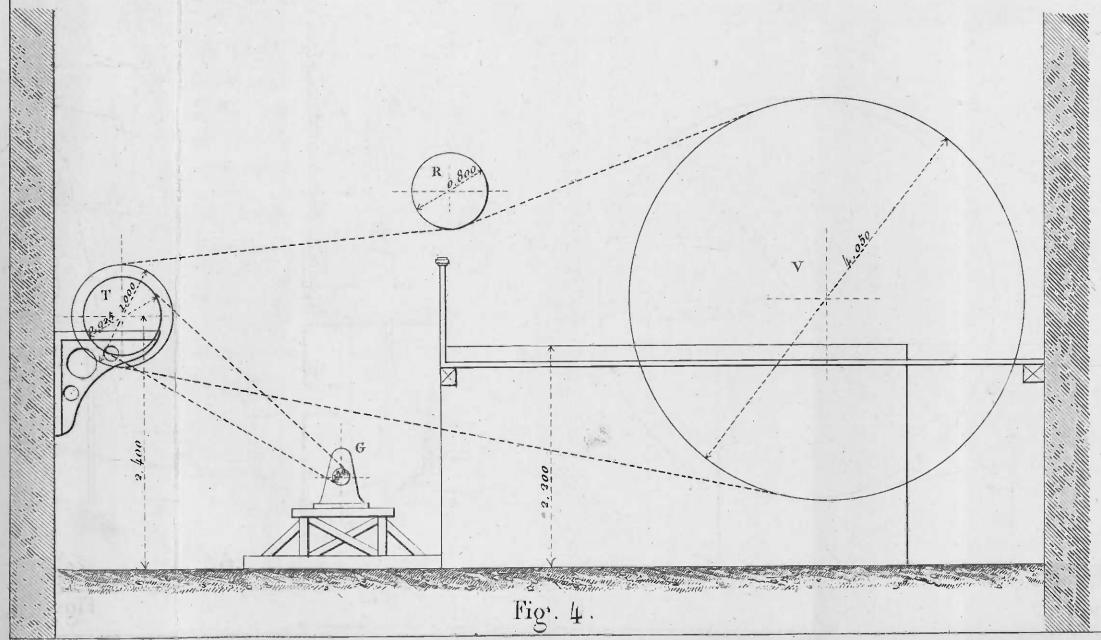


Fig. 4.

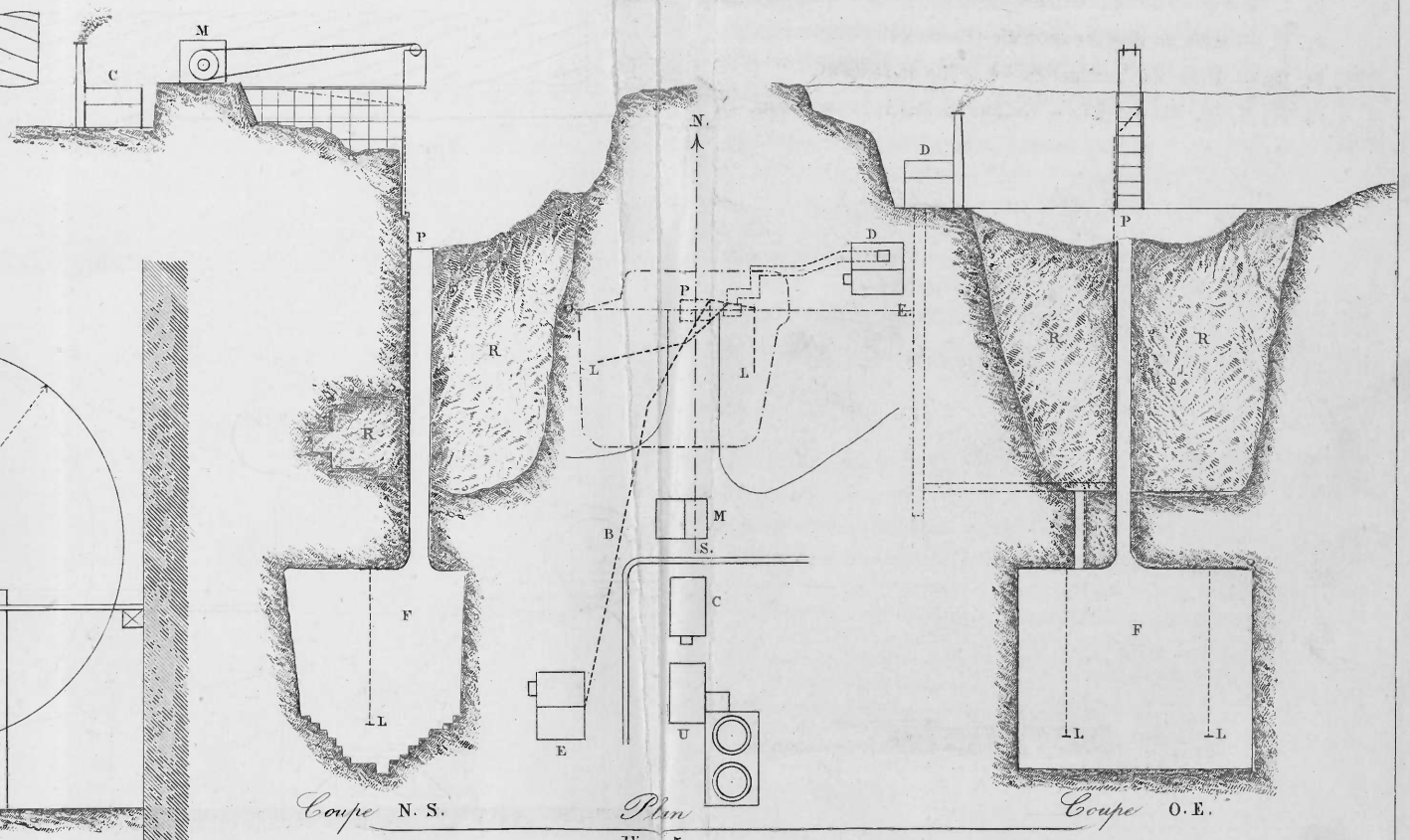


Fig. 5.

Fig. 1.

Plan vertical de la mine du Siele.

Légende

Etage de 53 mètres.

Etage de 75 mètres.

Galerie dans la couche N° 3.

Etage de 96 mètres.

Filons ou

couches cinabrifères.

Entrée

Puits vieux

Puits neuf

Puits intérieur

N° 1.

N° 2.

N° 3.

Fig. 2.

Plan horizontal

Entrée

N. magn. (d = 11°)

a b c d

N° 1.

N° 2.

N° 3.

Puits intérieur

Puits neuf

Puits vieux

Fig. 3. Gisements du Monte-Amiata

N. magn.

Monte Amiata

Abbadia San Salvadore

Pian Castagnajo

Casa di Paolo

Paradisi

Solfarata

A

Senna, torr.

Paglia, Riv.

Dicialetto

Siele, torr.

Mont de la Penna

Castel l'Azzara

Selvena

Mine Schwarzemberg

Mine Cornachino

B

Fig. 4. Coupe du mont de la Penna, suivant AB.

A

B

Calcaire nummulitique

Calcaire siliceux

Marnes

Calcaires

Argiles

Arsises siliceuses

Calcaire siliceux

Gypse, Marne et Argile

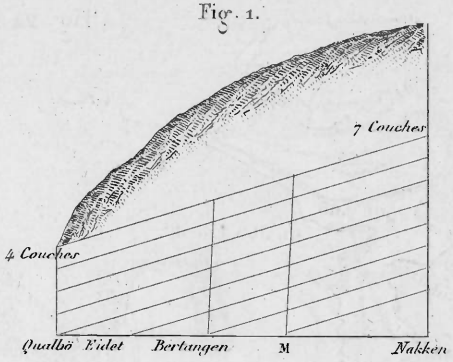
Echelle des Fig. 1 et 2. ($\frac{1}{800}$)

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 mètres

Fig. 24.

Ornenipen
I. de Dimon
QUALBÖ
Fjeldstangen
Qualbö Fjord
Qualbö Eidet
Fjörnnæs
Quanhave Bund
Nord
N. magⁿ.
Bertangen
Nakken
TRANGJISWAAG
TYERÖ
Seiertangen
Trangjiswaag Fjord
Frodebönipen
Frodebö
Narvatangen
Famoyens Bugt
Ordevig
Grandetangen
Famora Sund
Waüs
Porkerji
Waüs Eidet
Waüs Fjord
Wügerberg
Lobro
Stianeh
Sumbö
Mænes Sund
1000 m 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Kil.

Fig. 1.



Légende des Fig. 3 à 23.

- Charbon
- Schiste
- Schiste charbonneux
- Rocher
- Argile
- Basalte

Fig. 2.

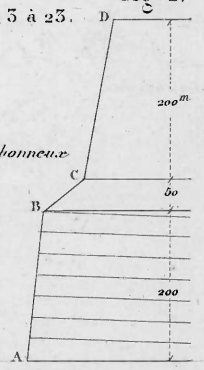


Fig. 3.

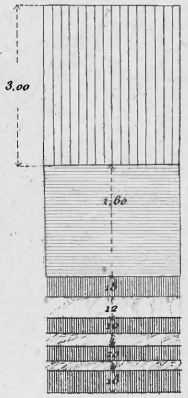


Fig. 4.

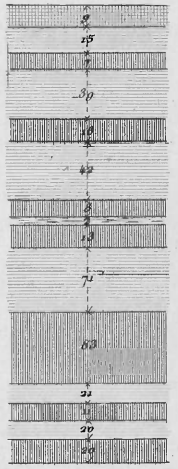


Fig. 5.

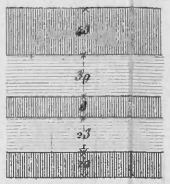


Fig. 6.

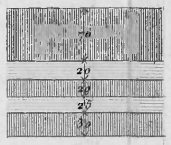


Fig. 7.

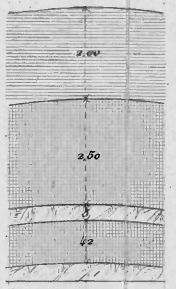


Fig. 8.

Fig. 9.

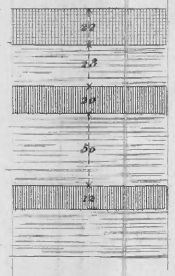


Fig. 10.

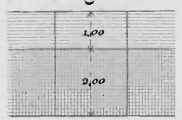


Fig. 11

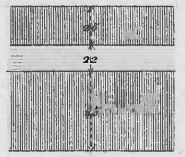


Fig. 12.

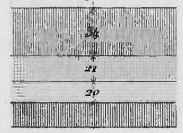


Fig. 13.

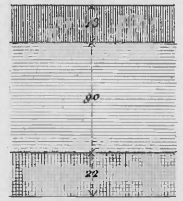


Fig. 14.

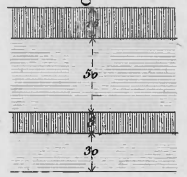


Fig. 15.

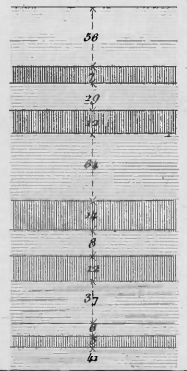


Fig. 16.

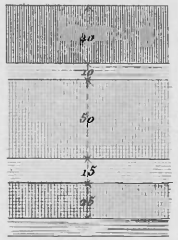


Fig. 17.

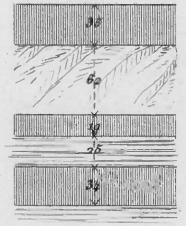


Fig. 18.

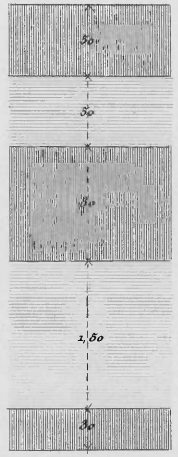


Fig. 19.

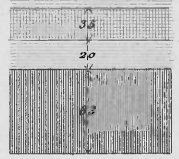


Fig. 20.

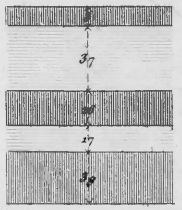


Fig. 21.

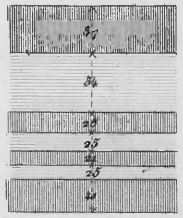


Fig. 22.

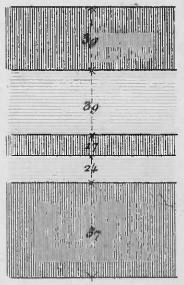
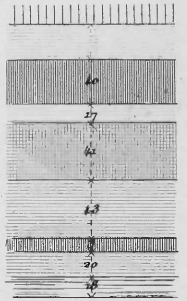
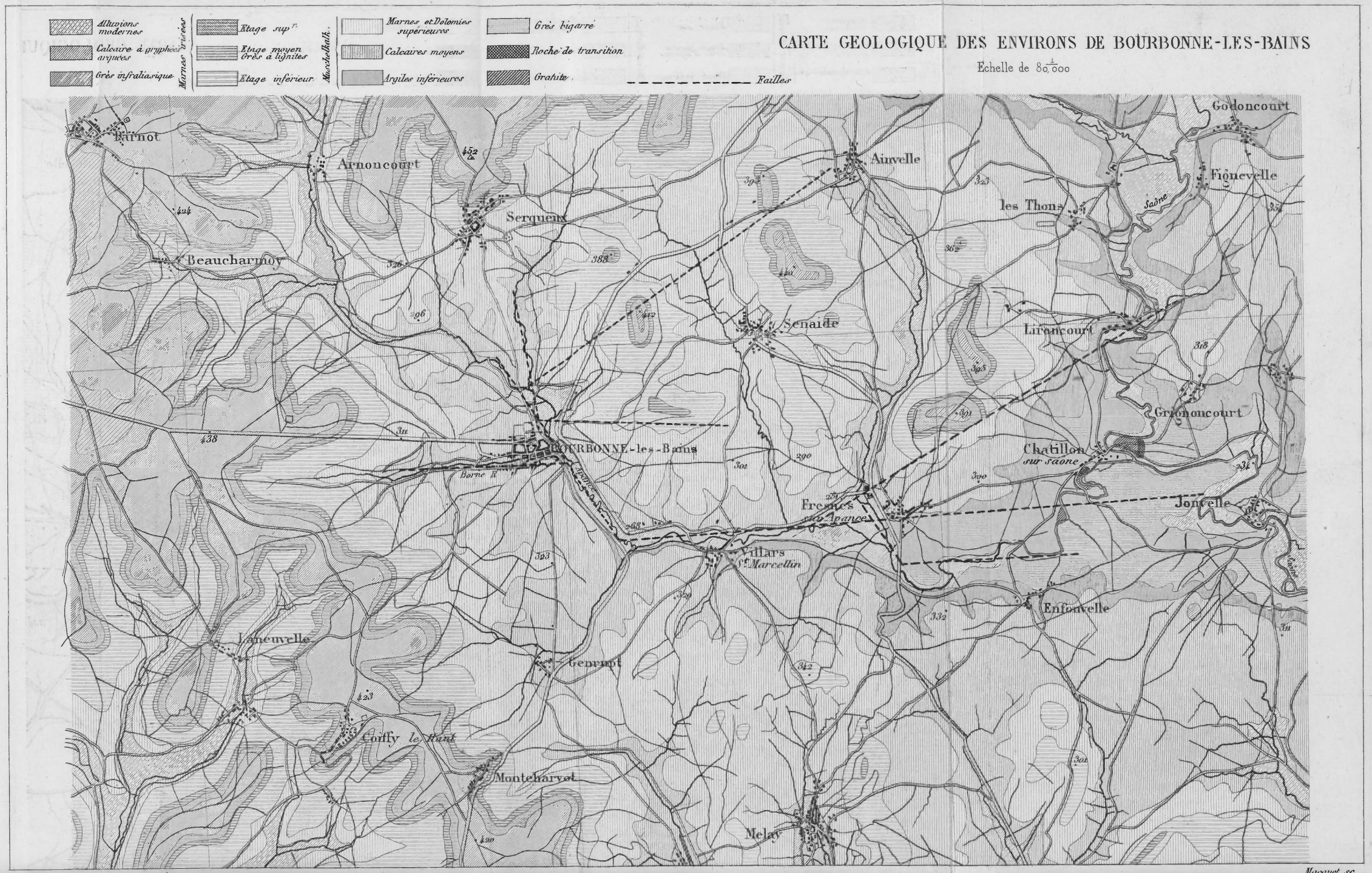


Fig. 23.




Alluvions modernes
Calcaire à gryphées arquées
Grès infraliasique
Marnes irisées
Etage sup.r
Etage moyen Grès à lignites
Etage inférieur
Muschelkalk
Marnes et Dolomies supérieures
Calcaires moyens
Argiles inférieures
Grès bigarré
Roche de transition
Grafite
Failles
CARTE GEOLOGIQUE DES ENVIRONS DE BOURBONNE-LES-BAINS
Echelle de 80/000
Burnot
Arnoncourt
Serqueux
Beaucharmoy
Senaide
Ainvelle
les Thons
Godoncourt
Fiouevelle
Saône
Lironcourt
Grononcourt
Chatillon sur saône
Jonvelle
BOURBONNE-les-Bains
Borne R.
Fresnes en Apance
Villars St Marcellin
Enfonvelle
Laneuvelle
Genrupt
Corffy le Haut
Montcharvot
Melay

Macquet sc

Fig. 1. *Thermes romains*

Echelle de 0m 001 pour 1 mètre.

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 mètres

+·+·+·+ *Travaux romains*

—·—·— *Limites des constructions modernes*

..... *Axe de l'aqueduc moderne*

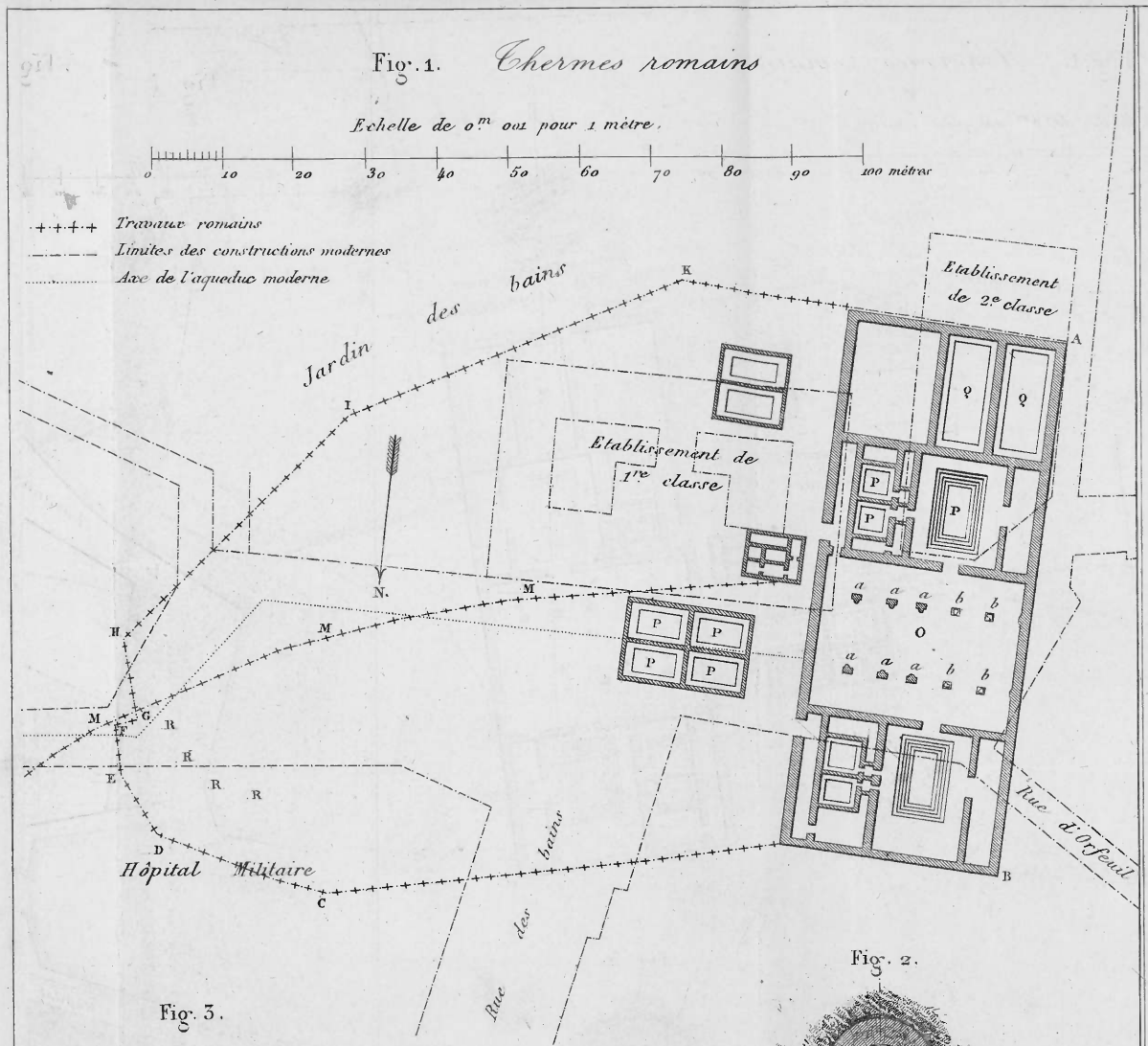


Fig. 2.

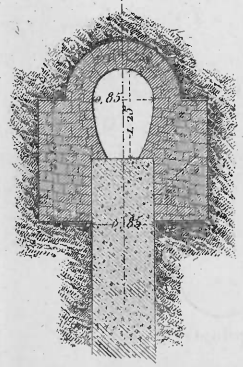
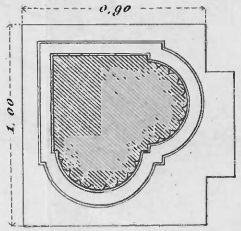
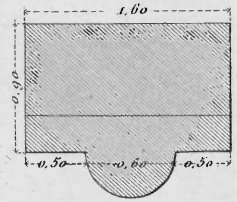


Fig. 3.



Détail des colonnes *bb*.

Fig. 4.

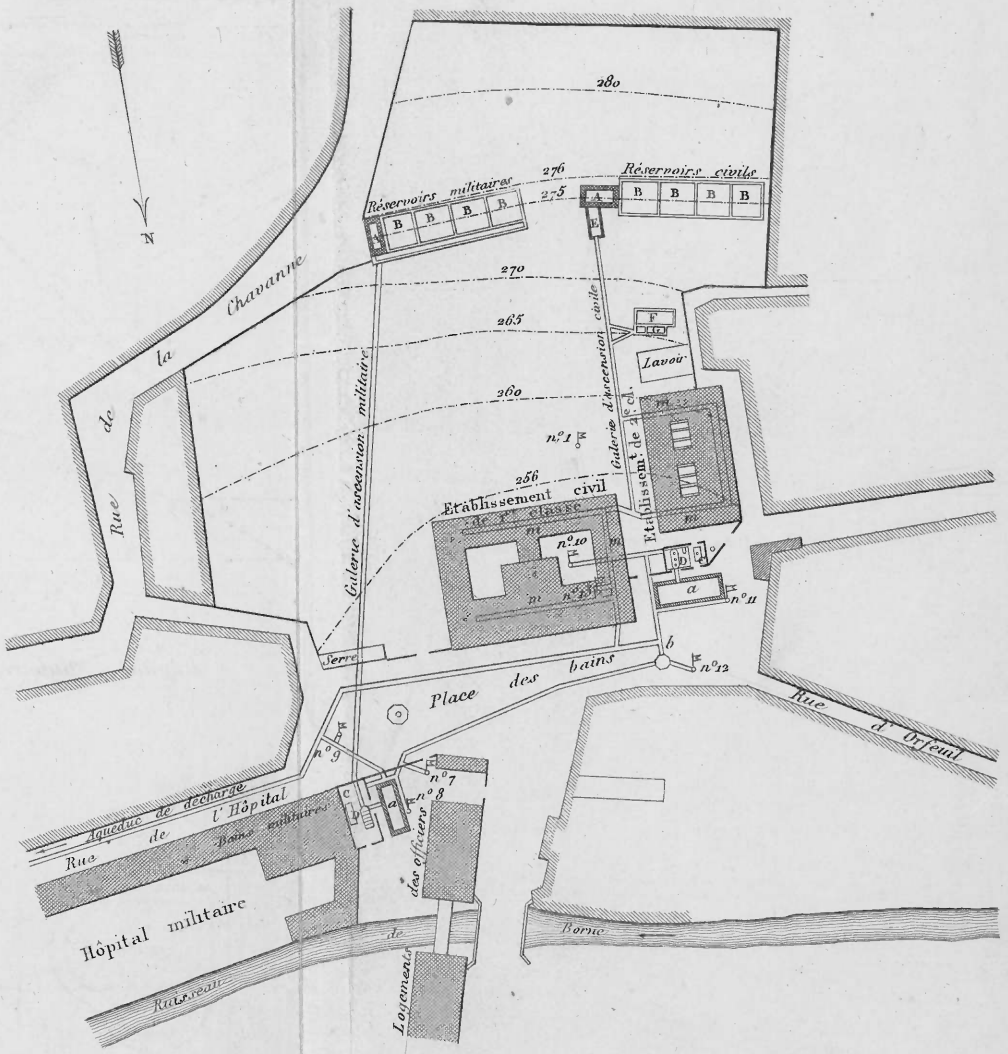


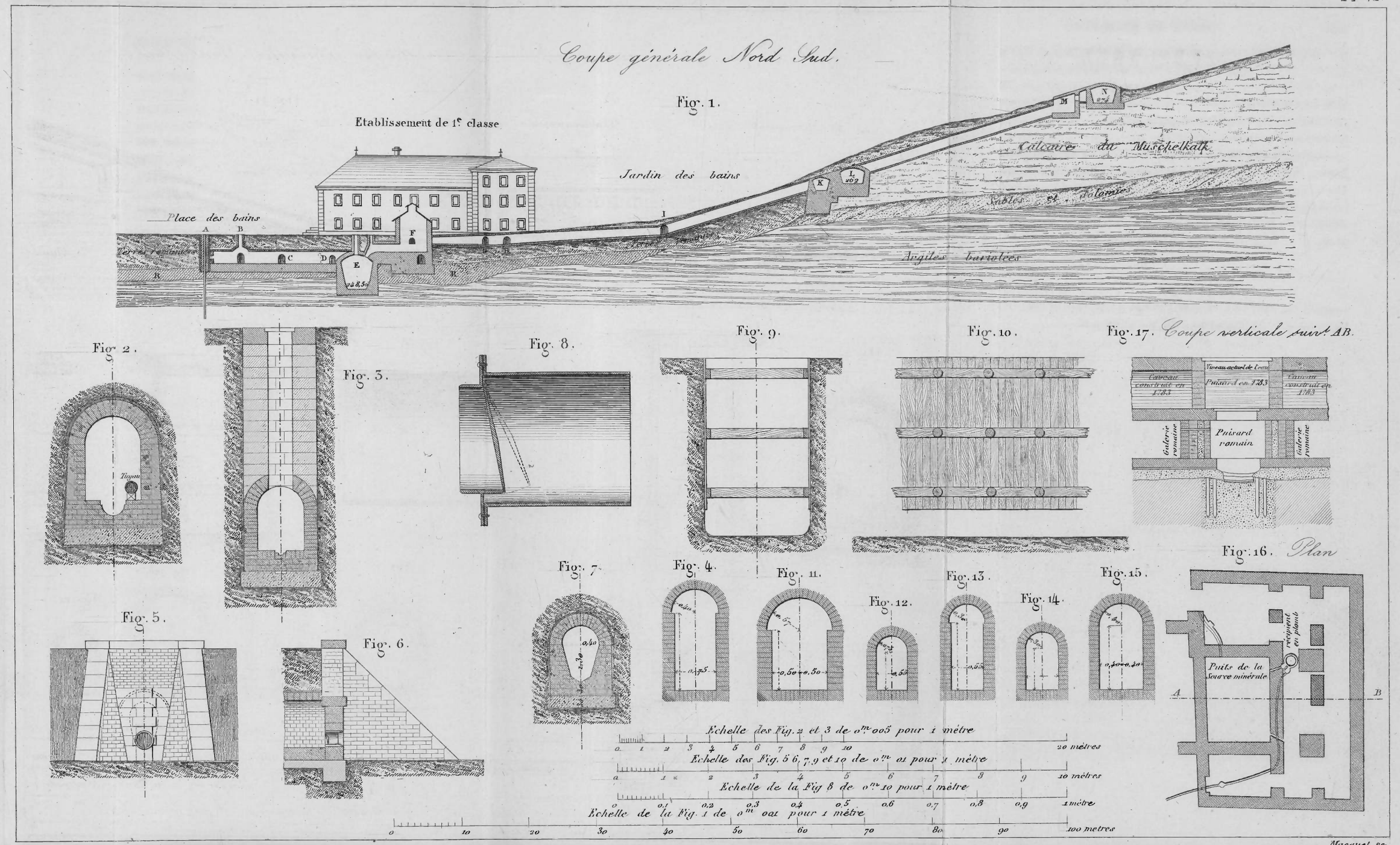
Détail des pilastres. *aa*.

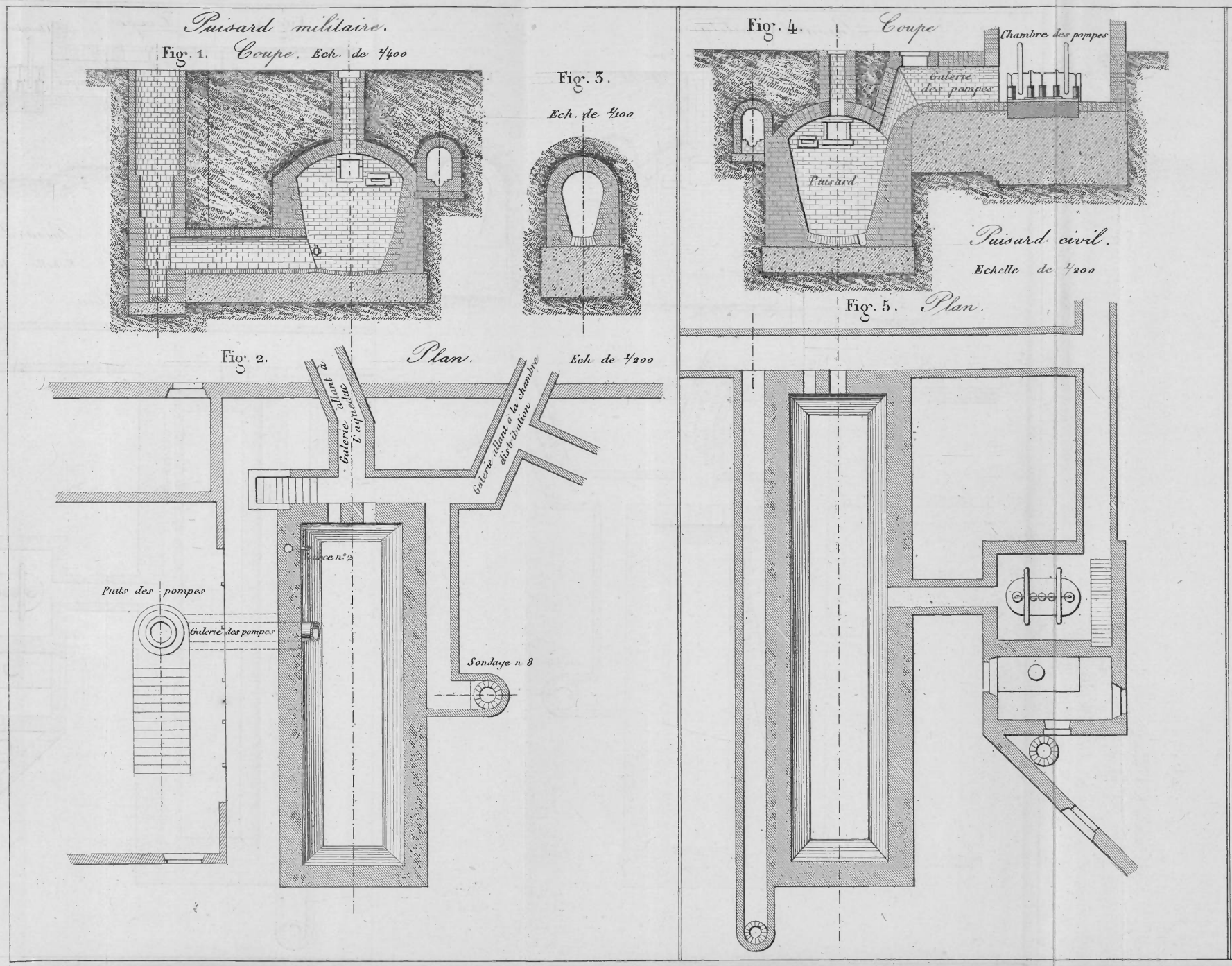
Fig. 5. *Travaux définitifs.*

Echelle de 0m 0005 pour 1 mètre

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 200 mètres




Coupe générale Nord Sud.
Fig. 1.
Etablissement de 1e classe
Jardin des bains
Place des bains
Calcaire du Muschelkalk
Sables et dolomies
Argiles bariolées
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16. Plan
Puits de la Source minérale
Fig. 17. Coupe verticale suivt AB.
Puisard romain
Galerie romaine
Echelle des Fig. 2 et 3 de 0m005 pour 1 mètre
Echelle des Fig. 5 6, 7, 9 et 10 de 0m01 pour 1 mètre
Echelle de la Fig 8 de 0m10 pour 1 mètre
Echelle de la Fig. 1 de 0m001 pour 1 mètre
Macquet sc.


Puisard militaire.
Fig. 1. Coupe. Ech. de 1/400
Fig. 3.
Ech. de 1/100
Fig. 2. Plan.
Ech de 1/200
Galerie du puisard
Galerie allant à la chambre distribution
Source n° 2
Puits des pompes
Galerie des pompes
Sondage n. 8
Fig. 4. Coupe
Chambre des pompes
Galerie des pompes
Puisard
Puisard civil.
Echelle de 1/200
Fig. 5. Plan.

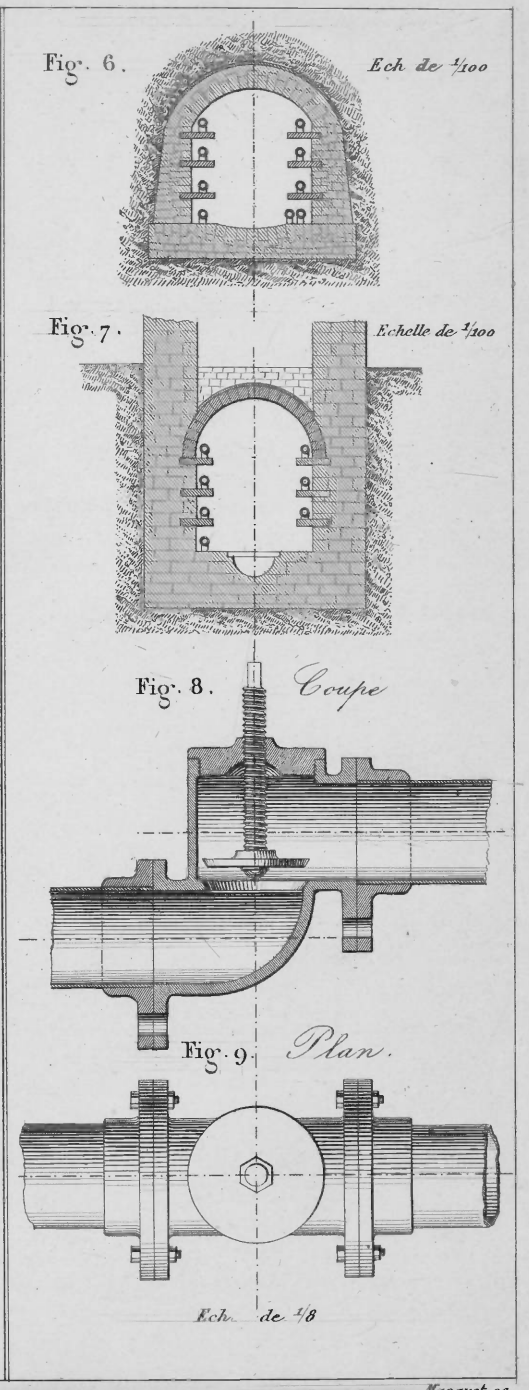


Fig. 6.
Ech de 1/100
Fig. 7.
Echelle de 1/100
Fig. 8. Coupe
Fig. 9. Plan.
Ech. de 1/8

Macquet sc.

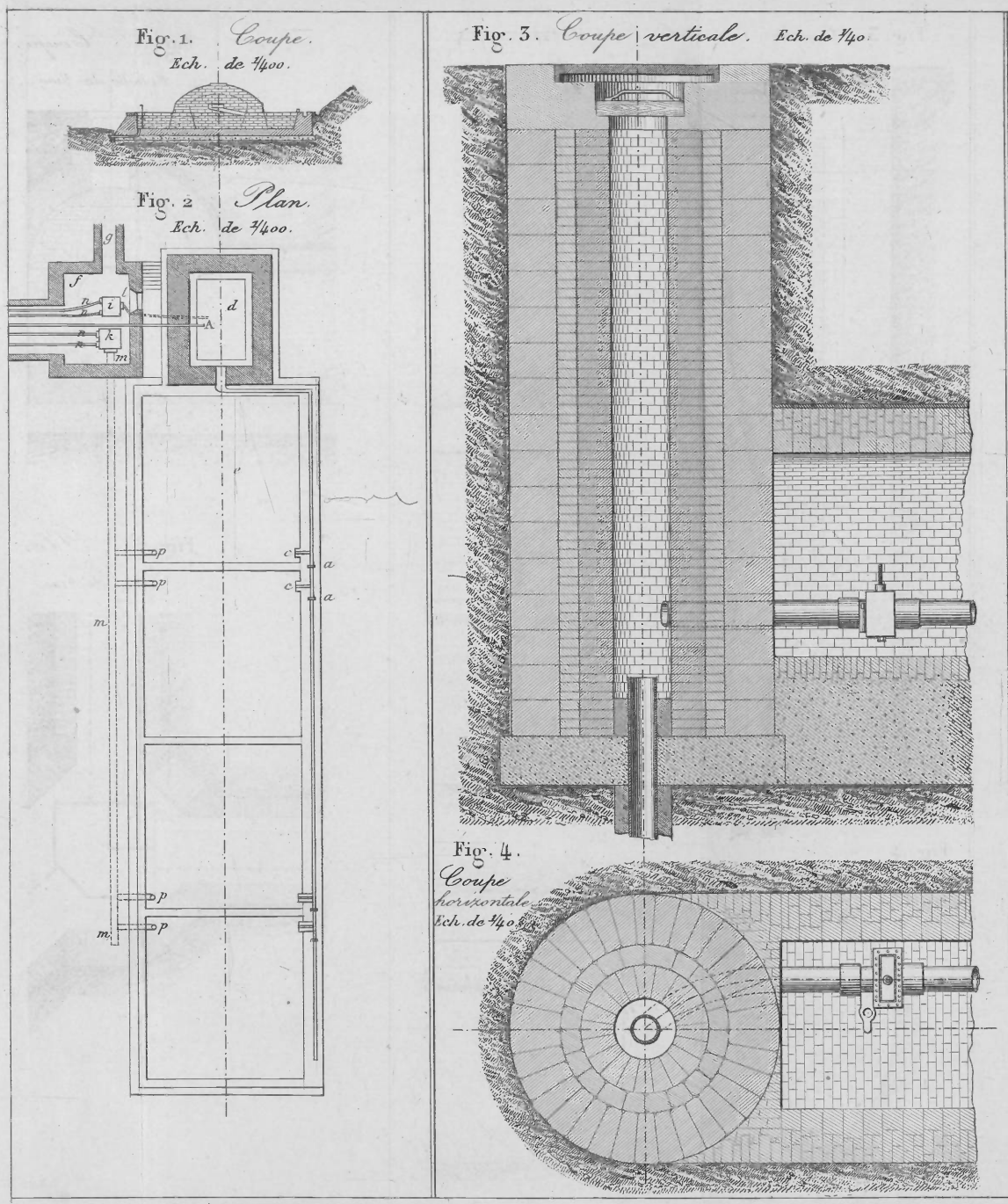


Fig. 1. Coupe.
Ech. de 1/400.
Fig. 2 Plan.
Ech. de 1/400.
Fig. 3. Coupe verticale. Ech. de 1/40.
Fig. 4.
Coupe horizontale
Ech. de 1/40.

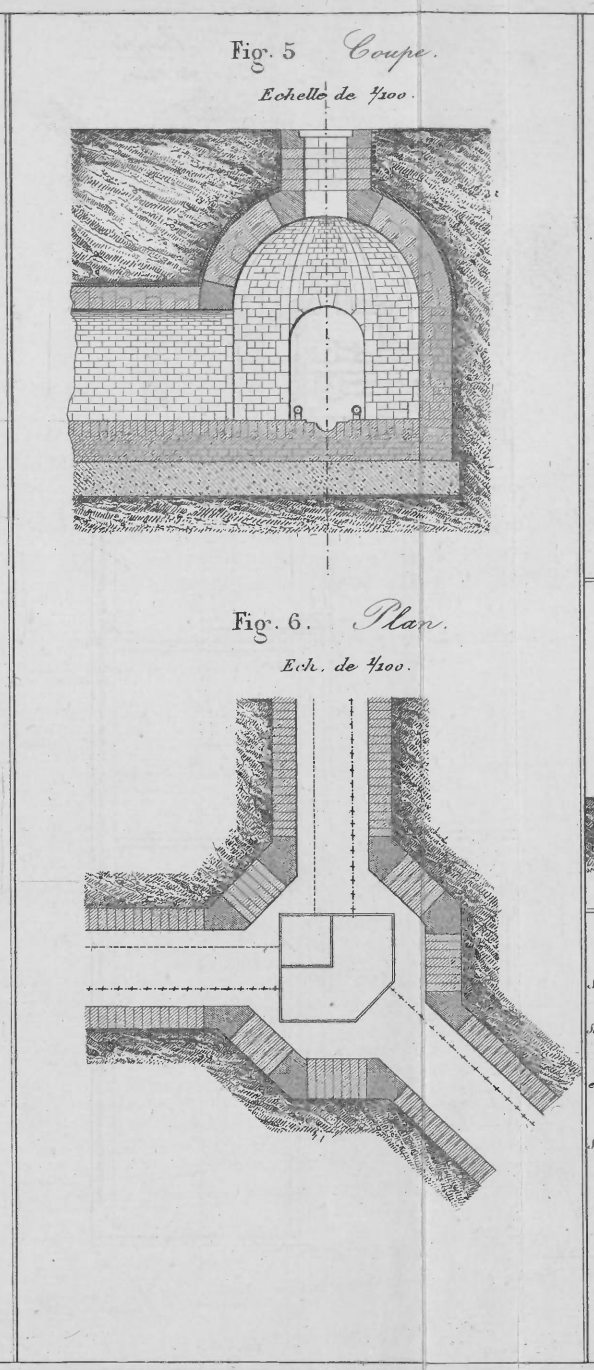


Fig. 5 Coupe.
Echelle de 1/100.
Fig. 6. Plan.
Ech. de 1/100.

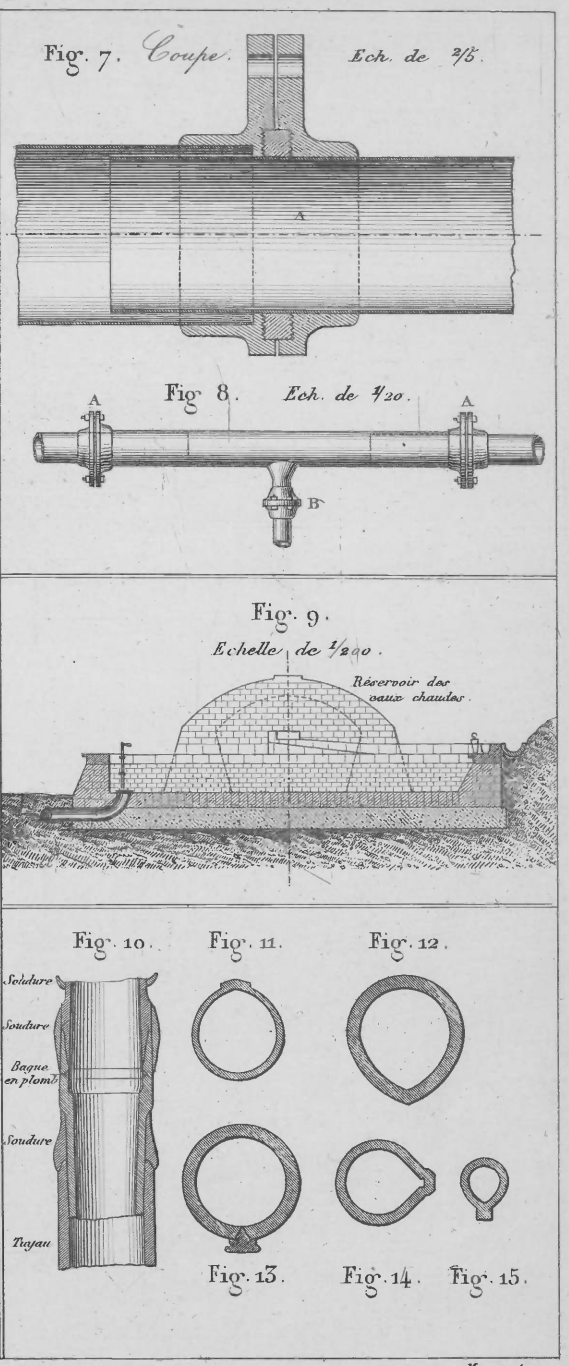


Fig. 7. Coupe.
Ech. de 2/5.
Fig 8. Ech. de 1/20.
Fig. 9.
Echelle de 1/200.
Réservoir des eaux chaudes.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Soudure
Soudure
Bague en plomb
Soudure
Tuyau
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.