

SÉANCE MENSUELLE DU 21 NOVEMBRE 1911.

Présidence du lieutenant-colonel Cuvelier, président.

La séance est ouverte à 20 h. 30.

Décès du Prof^r Giorgio Spezia.

L'Académie royale des Sciences de Turin fait part à la Société de la mort du Professeur Giorgio Spezia, membre de la Classe des Sciences physiques, mathématiques et naturelles.

Adoption du procès-verbal de la séance d'octobre.

Ce procès-verbal est adopté sans observations.

Correspondance.

MM. Poskin et Fourmarier s'excusent de ne pouvoir assister à la séance.

M. J. Gosselet, notre éminent membre honoraire, fait hommage à la Société du troisième fascicule de son travail sur les sondages du Nord.
(*Remerciements.*)

Le Comité de défense de la Fagne remercie la Société de l'appui qu'elle s'est offerte à donner à son œuvre.

Ce nouvel organisme s'est réuni en assemblée générale le 26 octobre 1911 et a nommé la Commission administrative.

Président : M. Albert Bonjean, avocat.

Secrétaire : M. Henri Angenot, bibliothécaire communal.

Trésorier : M. François Charlier père.

Commissaires : M. Alfred Sacré, président de la Société ornithologique de l'Est de la Belgique.

M. Camille Feller, homme de lettres.

Elle a arrêté son règlement dans les termes suivants :

I. *But*. — Constitution de réserves nationales intangibles à la Baraque-Michel, sur les Fagnes de l'État, de Jalhay, de Sart, de Spa, de Francorchamps, etc., afin de conserver intactes les réserves d'eau de la Gileppe, de la Helle, de la Soor, de la Statte, de la Hoëgne, du Wayai, de l'Ambève, etc. ; de sauver de la destruction la flore et la faune glaciaires ; d'empêcher que l'on dénature les sites en y plantant des résineux, en tentant de leur donner une destination agricole ou en y élevant des constructions ; de protéger les sites en général et les monuments naturels.

II. *Moyens*. — Conférences, articles de revues ou de journaux, circulaires, pétitions aux pouvoirs publics, excursions, expositions, collections scientifiques de vulgarisation et tous autres à déterminer ultérieurement.

III. *Assemblées*. — Les assemblées générales ont lieu chaque fois que la Commission administrative le jugera nécessaire.

IV. *Membres*. — Il y a trois catégories de membres :

Membres effectifs. — Cotisation : 1 franc par an.

Membres d'honneur. — Pour être membre d'honneur, il faut avoir adhéré au principe de la Société.

Membres protecteurs. — Cotisation minimum : 5 francs par an.

Membres correspondants. — Les membres correspondants renseignent la Société sur tout ce qui peut intéresser celle-ci dans leur région.

V. *Commission administrative*. — La Commission administrative se compose d'un président, un secrétaire, un trésorier, deux commissaires.

La durée des mandats est de quatre ans.

La Commission administrative veille à la propagande, à l'emploi des fonds, à l'exécution de toutes les mesures répondant au but de la Société. Elle nomme les membres d'honneur et les membres correspondants au mieux des intérêts de la Société.

Notre confrère M. Larmoyeux prie la Société de renouveler les vœux qu'elle a émis successivement de voir imprimer une nouvelle carte géologique à petite échelle et de réimpression des feuilles au 40 000^e épuisées, principalement celles des bassins houillers du Hainaut et de la province de Liège. — Adopté.

Le Président de la Société royale de Botanique adresse à la Société la lettre suivante :

« La Société royale de Botanique de Belgique a pris l'initiative de former un Comité pour la protection de la nature en Belgique. Ce Comité serait composé de délégués des sociétés scientifiques et des sociétés qui s'occupent de la défense des sites ayant une valeur esthétique⁽¹⁾, ainsi que des personnes qui se sont intéressées à la conservation des stations naturelles de plantes et d'animaux et de celles des sites remarquables pour la géologie et la géographie.

Une réunion préparatoire aura lieu le jeudi 21 décembre 1911, à 10 1/2 h., au Jardin botanique de l'État à Bruxelles. Elle sera spécialement consacrée à l'examen des mesures qu'il conviendrait de prendre pour les quelques stations naturelles que notre pays possède encore. Nous vous prions de bien vouloir y déléguer deux ou trois membres de votre Société.

Le Comité se mettrait ensuite en rapport avec les sociétés scientifiques locales et avec les groupements qui se sont déjà constitués en vue de la défense de certains points spéciaux.

Veuillez agréer, etc.

Le Secrétaire général,
TH. DURAND.

Le Président,
ED. DE WILDEMAN.

L'Assemblée décide de déléguer à cette réunion MM. De Munch, Leriche, Rutot et Vandewiele.

La Société d'Archéologie de Charleroi demande à échanger ses publications avec les nôtres. — Accepté.

Le Bureau croit intéresser les membres de la Société en leur signalant l'apparition, annoncée pour le printemps de 1912, d'un *Guide de la Fagne* par M. Henri Angenot, bibliothécaire communal à Verviers, 4, rue du Gymnase. On peut souscrire dès à présent chez l'auteur (1 franc).

(¹) Cette convocation a été adressée aux sociétés dont les noms suivent et dont le champ d'action, pour leur spécialité, s'étend à tout le pays : Ligue des Amis des arbres ; Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie ; Société centrale forestière de Belgique ; Société de Zoologie et de Malacologie ; Société d'Entomologie de Belgique ; Société de Géologie de Belgique ; Société nationale pour la protection des sites ; Société royale belge de Géographie ; Touring-Club.

Géologie du Bassin de Paris, par M. PAUL LEMOINE, Vice-Président de la Société géologique de France. — Paris, Hermann et fils, 6, rue de la Sorbonne; grand in-8°, II + 408 pages, 136 figures, 9 planches color., relié. Prix : 15 francs.

Ce livre diffère des ouvrages antérieurs en ce qu'il embrasse la totalité du Bassin de Paris, aussi bien les terrains jurassiques et crétacés de sa bordure que les terrains tertiaires du centre.

On ne possédait sur cette région classique au point de vue géologique aucun travail d'ensemble, la multiplicité même et la diversité des études en rendent la compréhension difficile. Les mémoires détaillés, si considérables qu'ils soient, ne portent généralement que sur des points spéciaux et les lacunes sont nombreuses. La coordination des publications faites sur cette région depuis de longues années par plusieurs générations de géologues sera donc très utile pour ceux qui s'intéressent aussi bien à la géologie pure qu'aux multiples questions qui relèvent de la géologie appliquée : agriculture, travaux publics, hygiène, recherche des eaux souterraines et des matériaux utiles.

L'étude du Bassin de Paris est faite méthodiquement, terrain par terrain. C'est donc un travail essentiellement descriptif où les sujets sont traités dans leur entier. On y remarque un grand souci d'exactitude. Chacun des faits avancés est suivi du nom de l'auteur qui l'a observé; grâce à l'index bibliographique (plus de 800 numéros), on sait immédiatement où trouver des données complémentaires plus détaillées.

Mais bien souvent dans un livre de ce genre, c'est un renseignement que l'on veut avoir. Pour faciliter leur recherche, les tables ont été multipliées (noms d'auteurs, noms d'espèces fossiles, noms de localités, table des matières), qui permettront d'avoir immédiatement le renseignement cherché.

L'ouvrage est très bien imprimé, et les figures excellentes et nombreuses contribuent à faciliter la lecture de ce livre qui comble une véritable lacune dans la littérature géologique française.

L'auteur est d'ailleurs bien connu par ses travaux sur Madagascar et le Maroc, qui ont été récemment couronnés par l'Académie des Sciences.

(Communiqué.)

Dons et envois reçus.**1° De la part des auteurs :**

- 6390 ... Guide to the Exhibition of animals, plants, and minerals mentioned in the Bible (*British Museum, Natural History*). Special guide, n° 5. Londres, 1911. Brochure in-12 de 76 pages et 7 figures.
- 6391 Arctowski, H., La dynamique des anomalies climatiques. Contribution à l'étude des changements de la répartition de la pression atmosphérique aux États-Unis. Varsovie, 1910. Extr. de *Prac Matematyczno-Fizycznych*, t. XXI, pp. 179-196, 6 fig.
- 6392 Carez, L., Sur quelques points de la géologie du Nord de l'Aragon et de la Navarre. Paris, 1910. Extr. du *Bull. de la Soc. géol. de France*, 4^e série, t. X, pp. 682-690 et 6 fig.
- 6393 Carez, L., Résumé de la géologie des Pyrénées françaises. Paris, 1910. Extr. du *Bull. de la Soc. géol. de France*, 4^e série, t. X, pp. 670-681.
- 6394 Cayeux, L., Allocution présidentielle à la séance générale annuelle de la Société géologique de France (27 avril 1908). Paris, 1908. Extr. du *Bull. de la Soc. géol. de France*, 4^e série, t. VIII, pp. 155-160.
- 6395 Cayeux, L., Le quartz secondaire des minerais de fer oolithiques du Silurien de France et son remplacement en profondeur par du fer carbonaté. Paris, 1909. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CXLIX, 2 pages.
- 6396 Cayeux, L., Évolution minéralogique des minerais de fer oolithiques primaires de France. Paris, 1909. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CXLIX, 3 pages.
- 6397 Cayeux, L., Les minerais de fer oolithiques primaires de France. Paris, 1910. Extr. du *Bull. de la Soc. géol. de France*, 4^e série, t. X, pp. 531-540.
- 6398 Cayeux, L., Fouilles de Délos (Cyclades) et les applications de la géologie à l'archéologie. Paris, 1910. Extr. du *Bull. de la Soc. géol. de France*, 4^e série, t. X, pp. 404-405.
- 6399 Cayeux, L., Prolongement des minerais de fer oolithiques siluriens de la presqu'île armoricaine sous le bassin de Paris. Paris, 1910. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CL, 2 pages.
- 6400 Cayeux, L., Les algues calcaires du groupe des *Girvanella* et la formation des oolithes. Paris, 1910. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CL, 3 pages.

- 6401 **Cayeux, L.**, Sur l'existence de calcaires phosphatés à Diatomées au Sénégal. Paris, 1910. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CLI, 2 pages.
- 6402 **Cayeux, L.**, Existence de calcaires à « Gyroporelles » dans les Cyclades. Paris, 1911. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CLII, 2 pages.
- 6403 **Cayeux, L.**, Le Miocène marin de l'île de Crète. Paris, 1911. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CLII, 3 pages.
- 6404 **Cayeux, L.**, Dislocations des îles de Délos, Rhénée et Mykonos (Cyclades). Paris, 1911. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CLII, pp. 1529-1532 et 1 fig.
- 6405 **Cayeux, L.**, Les transformations du massif des Cyclades à la fin des temps tertiaires et au commencement de l'époque quaternaire. Paris, 1911. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CLII, pp. 1796-1798.
- 6406 **de Dorlodot, L.**, Au sujet de l'angle du rhomboèdre des carbonates. Liège, 1911. Extr. des *Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XXXVIII, Mém., pp. 3-6.
- 6407 **de Dorlodot, L.**, Recherches sur les formules et la constitution moléculaire des minéraux. Liège, 1911. Extr. des *Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XXXVIII, Mém., pp. 77-92 et 6 fig.
- 6408 **de Dorlodot, H.**, et **Salée, A.**, Sur le synchronisme du calcaire carbonifère du Boulonnais avec celui de la Belgique et de l'Angleterre. Paris, 1911. Extr. des *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, t. CLIII, pp. 556-558 (2 exemplaires).
- 6409 **Fraipont, Ch.**, Les industries paléolithiques et néolithiques des environs de Lincé (Sprimont). Malines, 1911. Extr. du *XXII^e Congrès archéologique de Malines en 1911*, 29 pages, 4 planches et 8 figures.
- 6410 **Guitart, D.-J.**, Notas geologicas de la comarca de Bages (Barcelona). Saragosse, 1911. Extr. du *Boll. de la Soc. aragonesa de Cienc. nat.*, t. X, n^{os} 7-10, pp. 149-156 et 2 fig.
- 6411 **Lemoine, P.**, Géologie du Bassin de Paris. Paris, vol. grand in-8^o de 408 pages, 136 figures et 9 cartes géologiques. (Don de l'éditeur.)
- 6412 **Poskin, A.**, Les relations du Pouhon duc de Wellington avec les agents atmosphériques. Bruxelles, 1911. Extr. des *Mém. de l'Acad. roy. des Sc.*, collection in-4^o, 2^e série, t. III, 63 pages.
- 6413 ... **Humboldt-Verein Ebersbach**, Festschrift zur Feier des 50 jährigen Bestehens. Ebersbach, 1911. Broch. in-8^o de 9 pl. et 3 photographies.

- 6414 Escher, B.-G., Ueber die praetriasische Faltung in den Westalpen mit besonderer Untersuchung des Carbons an der Nordseite des Toedi (Bifertengraetli). Amsterdam, 1911. Vol. in-8° de 174 pages, 6 planches et 25 figures.
- 6415 Choffat, P., Bibliographie géologique du Portugal et de ses colonies, 1908 à 1910. Lisbonne, 1911. Extr. des *Communications du Service géologique*, t. VIII, 1910, pp. 181-216.
- 6416 Choffat, P., Ses publications (1874-1910). Lisbonne, 1911. Extr. des *Communications du Service géologique*, t. VIII, 1910, pp. 143-177.
- 4566 Gosselet, J., Étude des gîtes minéraux de la France. Les assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du Nord de la France. Fascicule III : Région de Béthune. Paris, 1911. Volume in-4° de 181 pages, 27 figures et 5 planches hors texte de cartes et coupes.

Election d'un nouveau membre associé régnicole.

Est élu à l'unanimité :

M. LASSINE, ALBERT, ingénieur des chemins de fer de l'État, 30, avenue Stéphanie, à Saint-Gilles. présenté par MM. Leriche et Verlinden.

Discussion des thèses présentées antérieurement.

P. FOURMARIER. — Note au sujet de la structure du bassin houiller de la province d'Anvers.

M. le Prof^r X. Stainier vient de publier une note fort intéressante sur la structure du bassin houiller de la Campine anversoise ⁽¹⁾; il cherche à établir la stampe normale du Houiller ainsi que l'allure des couches, et il joint à son travail une petite carte représentant la façon dont il conçoit cette allure.

Dans les grandes lignes, le tracé de notre savant confrère ressemble beaucoup à celui représenté sur la carte jointe à l'important mémoire de MM. Forir, Habets et Lohest sur le bassin houiller de la Campine ⁽²⁾. Comme ces derniers, il admet que les couches houillères dessinent, dans cette région, un grand synclinal que je désignerai sous le nom de synclinal d'Hérentals-Gheel. Ce pli s'ennoie vers l'Est de

⁽¹⁾ X. STAINIER, *Structure du bassin houiller de la province d'Anvers*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. XXV, pp. 209 et suiv., 1911.)

⁽²⁾ Ann. Soc. géol. de Belgique, t. XXX, Mém.

telle sorte que, un peu vers l'Ouest de la limite séparative des provinces de Limbourg et d'Anvers, on atteint rapidement, à la surface du sous-sol primaire, les zones inférieures relativement pauvres en combustible.

Des différences importantes existent néanmoins entre les deux tracés. Alors que MM. Forir, Habets et Lohest ont fait, à l'Est du sondage n° 58, infléchir les couches vers le Nord, amorçant ainsi un nouveau pli synclinal plus septentrional, M. Stainier trace une grande faille de direction Sud-Ouest - Nord-Est, qu'il désigne sous le nom de faille de Meerhout et qui sépare la partie occidentale du bassin de la Campine de la partie principale s'étendant en majeure partie dans la province de Limbourg.

C'est le bien fondé de l'existence de cette faille que je désire discuter dans la présente note.

M. Stainier dit, en effet :

« Pour la région qui nous occupe, l'existence d'une faille normale transversale ressort avec la dernière évidence de nos tracés. Cette faille, à rejet très faible vers le Sud, voit ce rejet augmenter considérablement vers le Nord. La lèvre Sud-Est de la faille, dans le Nord, est fortement descendue par rapport à l'autre lèvre. »

L'auteur ne cite cependant qu'un seul argument de fait : la rencontre de roches failleuses au fond des sondages 54 et 56, et même au fond du sondage 56.

Comme le fait remarquer M. X. Stainier, on ne peut plus, actuellement, nier l'existence de failles en Campine. Dans certaines parties du bassin, il ne serait pas possible de tracer la carte sans faire intervenir de failles; d'ailleurs, plusieurs sondages ont traversé des terrains failleux.

Mais si l'existence de ces accidents tectoniques n'est pas contestable, l'importance du rejet est souvent difficile à déterminer. Lorsqu'il existe deux sondages suffisamment rapprochés et situés de part et d'autre d'une faille, on peut arriver assez facilement à évaluer la dénivellation produite par la cassure. Lorsqu'on a affaire à une série de sondages suffisamment rapprochés, on arrive aussi à connaître, avec une approximation suffisante, la direction de la faille.

La question est tout autre lorsque les sondages de reconnaissance sont fort éloignés les uns des autres. Le fait de rencontrer un terrain failleux n'indique pas nécessairement que l'on se trouve en présence d'une cassure à grand rejet; on a pu observer dans les exploitations

houillères que le rejet des failles n'est pas toujours en relation avec l'importance de leur remplissage.

D'autre part, dans le cas de sondages fort espacés, la rencontre d'un terrain failleux ne peut en rien faire préjuger de la direction de la cassure.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur la carte jointe au travail de M. Stainier pour voir que son tracé de la faille de Meerhout n'est basé que sur les renseignements fournis par des sondages très éloignés les uns des autres; à part dans la concession de Beeringen ou à son voisinage immédiat, où les sondages sont fort rapprochés, les autres points de reconnaissance sont distants de 5 à 6 kilomètres au moins et même beaucoup plus.

Mon but est de rechercher si, au moyen des documents qui ont servi à M. Stainier, il n'est pas possible d'interpréter d'une manière différente le tracé des zones du bassin houiller dans la province d'Anvers. A cet effet je vais examiner successivement les résultats fournis par chacun des sondages dans la région considérée et qui sont reportés sur la carte annexée à cette note; j'ai dressé cette carte à la même échelle que celle qui accompagne la note de M. Stainier, afin que les raccordements que nous proposons l'un et l'autre soient mieux comparables.

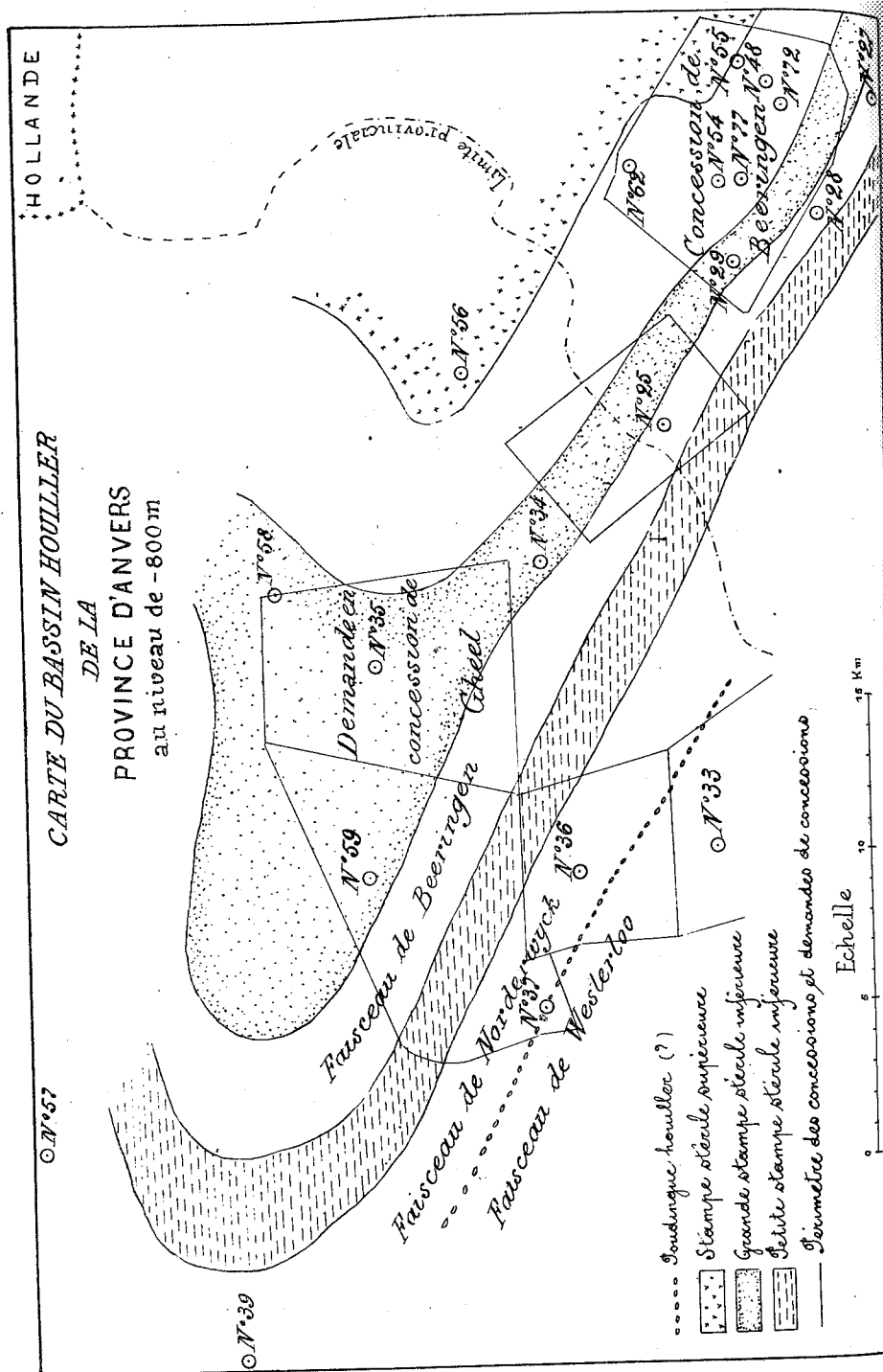
Le grand nombre de recherches effectuées aux environs de Beeringen nous donne un excellent point de départ pour ce travail.

Les sondages 27 ⁽¹⁾ et 28, situés en dehors de la concession de Beeringen, mais très près de sa limite Sud-Ouest, ont recoupé des stamper presque identiques; ils ont pénétré tous deux, dès la rencontre du Houiller, dans la grande stampe stérile inférieure et sous celle-ci ils ont trouvé un certain nombre de couches qui appartiennent au faisceau de Beeringen de M. Stainier. Ces deux forages permettent donc de déterminer la direction du bassin au Sud de la concession de Beeringen. Le sondage 29 a traversé d'abord la base du faisceau supérieur à la stampe stérile (faisceau de Genck de M. Stainier), puis cette stampe stérile, pour atteindre ensuite les couches supérieures du faisceau de Beeringen.

En traçant l'allure des couches à un niveau déterminé (— 800 mètres par exemple, comme l'a fait M. Stainier), on remarque que le sondage n° 29 indique une légère inflexion des couches vers le Nord.

Dans la concession de Beeringen, les deux sondages récents de

(1) Ce sondage n'est pas figuré sur la carte jointe au travail de M. Stainier.



Langen-Eiken (72) et de Kleine-Heide (77) ont traversé d'abord le faisceau de Genck, puis la stampe stérile, pour atteindre enfin le faisceau de Beeringen. Le raccordement que l'on peut établir des couches recoupées par les deux sondages montre que dans cette partie de la concession, la direction des couches est la même que celle obtenue au moyen des sondages 27 et 28. De plus, la comparaison des résultats de ces quatre sondages prouve que les couches inclinent vers le Nord-Est, puisque dans cette direction, on rencontre des couches de plus en plus récentes; ces conclusions sont confirmées par les études paléontologiques ainsi que par les teneurs en matières volatiles des charbons.

Le sondage 48 a recoupé le faisceau de Genck sans atteindre la stampe stérile. Le sondage 55 a atteint des couches supérieures aux précédentes; il a traversé notamment la stampe stérile supérieure.

Je pense que tout le monde est d'accord sur la position stratigraphique relative de chacun de ces sondages : il n'y a plus lieu de s'y arrêter.

Le faisceau de couches rencontrées au sondage 62 appartient à la même zone que la partie supérieure des sondages 48, 54, 72 et 77; c'est le faisceau de Genck bien caractéristique, avec couches puissantes très rapprochées; comme ce faisceau a été recoupé, par suite de l'inclinaison de la tête du Houiller, à une profondeur plus grande qu'aux autres sondages, il suffit d'une très légère inflexion des couches, dans une coupe Nord-Sud passant par les sondages 28, 55 et 62, pour faire arriver à ce dernier les couches supérieures du précédent ⁽¹⁾. Cette légère ondulation dans les couches très faiblement inclinées suffit pour donner à la surface du Primaire une direction Sud-Nord dans la partie Ouest de la concession de Beeringen.

Cette inflexion paraît d'ailleurs s'esquisser déjà dans la stampe stérile, comme je l'ai montré tout à l'heure en parlant des sondages 28 et 29.

Poursuivons notre étude à l'Ouest de la concession de Beeringen. Nous retrouvons la grande stampe stérile inférieure au sondage 25, ce qui montre que l'inflexion vers le Nord constatée à proximité du sondage 29 ne persiste pas; l'allure reprend comme elle était entre les sondages 27 et 28.

(1) Il ne me paraît pas nécessaire de supposer, comme le fait M. Stainier, l'existence d'une cuvette assez profonde entre les sondages 54 et 62 dans la coupe passant par la concession de Beeringen. (Pl. D, *Op. cit.*)

Le sondage 34 a également rencontré la même stampe; il y est resté pendant toute la traversée du terrain houiller, de telle sorte qu'au point de vue industriel il s'est montré entièrement stérile. Les allures dérangées (pentes variant de 12 à 60 degrés) y rencontrées sont, pour M. Stainier, un indice de la proximité de la faille de Meerhout, qu'il fait passer un peu au Nord-Ouest du sondage 34; aussi, dans le prolongement de la grande stampe stérile inférieure, notre savant confrère indique, au delà de la faille, le faisceau de Beeringen et la petite stampe stérile inférieure.

La grande stampe stérile inférieure a été rencontrée au sondage 59 qui en a traversé la plus grande partie et qui a pénétré dans le faisceau de Beeringen. Si l'on trace sur la carte le passage de la limite inférieure de cette grande stampe au voisinage des trois sondages 25, 34 et 59, on remarque que les trois points obtenus sont alignés suivant une direction presque rectiligne, s'infléchissant peut-être un peu au voisinage du sondage 34, où les pentes sont plus fortes et plus variées que dans les deux autres; cette allure ressort à l'évidence de la carte de M. Stainier. Dans ces conditions, il ne paraît pas nécessaire d'interrompre par une faille la continuité de la grande stampe stérile inférieure.

Si ce que j'avance est exact, on peut raccorder sur la carte, en ligne droite, les divers faisceaux inférieurs à la grande stampe stérile, faisceaux dont le passage peut être déterminé avec quelque approximation, d'une part, au Sud du sondage 59 et, d'autre part, au Sud du sondage 25. Dans cette région, il existe trois sondages, 53, 56 et 57, qui ont atteint les couches inférieures à la grande stampe stérile; nous devons rechercher si les renseignements qu'ils donnent permettent de maintenir le raccord théorique que je viens d'indiquer. Ces trois sondages ont traversé une stampe inférieure à celle recoupée aux sondages situés plus au Nord; les fossiles et la teneur en matières volatiles des charbons le montrent. Il n'est cependant pas possible d'établir avec quelque certitude le raccordement de ces couches avec celles reconnues par les autres sondages. L'essai tenté par M. Stainier dans la planche F, jointe à son travail, est fort intéressant, mais ne me paraît pas concluant. La chose importe peu, en somme, pour le but que je poursuis; aussi ne retiendrai-je qu'un point, c'est que les sondages 53, 56 et 57 appartiennent tous trois à une zone inférieure du Houiller.

Il existe une grande similitude de composition entre les sondages 56 et 57, et le raccordement des couches de ces deux sondages proposé

par M. Stainier me paraît parfaitement admissible tant que l'on n'aura pas à sa disposition d'autres documents.

Le sondage 37 a recoupé, entre les niveaux de 803.90 et 822.50 (788.90 et 803.50 sous le niveau de la mer), un grès à gros grains que M. Stainier croit pouvoir assimiler au poudingue houiller de nos bassins de Sambre-et-Meuse et dont il indique le passage sur sa carte. Il passe, au niveau de 800 mètres, à proximité du sondage 37 et devrait passer au Sud du sondage 36; il est à remarquer qu'à ce dernier forage les couches houillères sont presque horizontales, ce qui est probablement le fait de l'existence d'une ondulation secondaire qui peut avoir pour effet de reporter au Sud le passage du niveau de grès grossier.

Quoi qu'il en soit, les renseignements fournis par ces deux sondages n'interdisent pas de tracer le passage de ce grès au niveau de 800 mètres parallèlement à l'allure que j'ai donnée aux limites des autres horizons.

Reste le sondage 33. Comme les deux précédents, il appartient à la zone inférieure du Houiller, mais la succession des couches de houille y rencontrées est bien différente de celle des sondages 36 et 37, et je doute qu'on puisse établir quelque synonymie entre elles. La teneur en matières volatiles y est d'ailleurs un peu inférieure, bien que les couches se trouvent à moins de profondeur, et je pense que le sondage 33 a recoupé, en réalité, une zone un peu plus profonde du Houiller de la Campine. Cette manière de voir aurait pour conséquence de reporter un peu plus au Nord que ne l'a fait M. Stainier, le passage du niveau de grès grossier et par conséquent de l'amener dans le prolongement du même horizon au voisinage des sondages 36 et 37.

J'admets volontiers, en ce qui concerne la partie Ouest du bassin, que les sondages 39 et 57 appartiennent au même niveau que les sondages 33, 36 et 37, et que, par conséquent, les strates houillères dessinent une cuvette très plate dont l'axe plonge vers l'Est, c'est-à-dire vers le Limbourg.

Le sondage 33 paraît se trouver dans la partie centrale de cette cuvette, car les couches y rencontrées ont une pente voisine de 0 degré; il a atteint directement la grande zone stérile inférieure sous les morts terrains, et, d'après M. Stainier, le bassin dont le centre est occupé par la zone stérile vient butter vers l'Est contre la faille de Meerhout au delà de laquelle le sondage 36 a recoupé une zone beaucoup plus élevée (stampe stérile supérieure).

La haute teneur en matières volatiles des couches du sondage 36 leur assigne une position élevée dans la série houillère; la stampe traversée ressemble beaucoup à celle du sondage 33; on peut admettre,

avec beaucoup de raison, comme le fait M. Stainier, que ces deux recherches appartiennent au même horizon. Aussi notre confrère fait-il repasser la limite inférieure de la zone stérile supérieure au Nord du sondage 62, pour l'amener ensuite au Sud du 56. Je suis d'accord avec M. Stainier sur ce point. Mais je crois que, entre les sondages 55 et 56, on peut tracer la carte sans faire intervenir de faille. Il suffit, en effet, à l'Ouest du sondage 54, de faire remonter la limite des assises vers le Nord pour dessiner une ondulation du même type que celle représentée entre les sondages 55, 77 et 62. Il y a entre les sondages 55 et 56 un espace suffisant pour y faire passer les divers faisceaux compris entre la grande stampe stérile inférieure et la zone stérile supérieure.

D'ailleurs, au Nord de la ligne des sondages 57, 55 et 56, l'allure nous est, peut-on dire, totalement inconnue. Le sondage 58, le seul existant au delà de cette ligne, n'a fourni que bien peu de renseignements; le terrain houiller a été traversé entre les niveaux de 855^m80 et 1 014 mètres et n'a recoupé que des traces de charbon à sa partie inférieure; cette grande épaisseur de terrain houiller sans charbon paraît devoir être rapportée à l'une des stamper stériles inférieures. L'incertitude dans laquelle on se trouve quant au niveau atteint par ce sondage, rend sujet à caution tout essai de tracé de l'allure des couches dans cette région. Quoi qu'il en soit, le sondage 58 n'infirme nullement l'hypothèse que j'ai faite relativement au tracé des diverses zones du Houiller.

On voit donc, par toutes les considérations que je viens d'exposer, que la faille de Meerhout est bien hypothétique. Je ne veux certes pas prétendre qu'il n'existe pas de faille dans la région; les zones failleuses rencontrées aux sondages 56, 54 et 56 prouvent qu'une pareille hypothèse n'est pas soutenable. Cependant je crois que dans une région reconnue par quelques sondages très espacés, il est préférable d'essayer de raccorder les résultats obtenus sans faire intervenir de faille lorsque la chose est possible. Or, je viens de montrer que, dans le cas présent, on peut expliquer, sans faille importante, la structure de la région. On n'a évidemment aucune idée de la direction des failles rencontrées dans les sondages; rien ne prouve que la zone failleuse du sondage 56 doive se raccorder à la zone failleuse du sondage 54 ou à celle du sondage 56; rien ne prouve qu'il ne s'agit pas de trois failles bien distinctes.

Cependant, je ne m'oppose pas à ce que l'on raccorde les zones failleuses comme l'a fait M. Stainier en traçant la faille de Meerhout;

mais il me paraît que, si même on adopte ce tracé, on ne peut pas donner à la cassure l'importance considérable que lui attribue notre savant confrère et qu'il ne s'agit que d'une cassure à rejet peu important.

La question ne pourra être résolue que par de nouvelles recherches; deux sondages élucideraient la question : le premier, placé entre les sondages 55 et 56 et le second sur la droite, joignant les sondages 25 et 56; chacun de ces sondages, s'il était placé approximativement au premier tiers de chacune des lignes indiquées, à partir du 56, devrait, dans mon hypothèse, recouper le faisceau riche (faisceau de Genck), tandis que, suivant l'opinion de M. Stainier, ces forages devraient atteindre des zones différentes.

Pour terminer, une autre question se pose. Faut-il fermer le bassin vers le Nord, comme l'indique M. Stainier, tout au moins à l'Ouest de la faille de Meerhout, ou bien faut-il supposer, comme MM. Forir, Habets et Lohest, au voisinage du 58, un retour des couches vers le Nord? Ce dernier tracé indiquerait qu'au Nord de la cuvette d'Hérentals-Gheel, il existe un dôme très surbaissé suivi lui-même d'un autre pli synclinal.

Sans vouloir m'étendre sur ce sujet, je dois dire que cette dernière manière de voir me paraît plus rationnelle, puisque les travaux effectués en Hollande, au Nord-Est du bassin de la Campine belge, ont montré que le terrain houiller s'étend bien au Nord de ce bassin et qu'il forme une succession d'ondulations synclinales et anticlinales.

Communications des membres.

A. JÉRÔME et L. GREINDL. — *Études sur le modelé et le réseau hydrographique des terrains secondaires du Luxembourg.*

Paraîtra aux *Mémoires*.

Dr A. POSKIN. — *Note sur la caractéristique d'une eau minérale ferrugineuse gazeuse naturelle. Son analyse.*

Le but d'un captage d'eau minérale est d'amener à l'émergence une source ou un groupe de griffons voisins et solidaires en leur gardant toutes leurs qualités physico-chimiques, leur débit, leur température, une minéralisation maxima et en les mettant à l'abri de toute cause d'altération du fait des infiltrations et des terrains ambiants.

Afin de pouvoir juger des résultats obtenus par le captage ou la réfection d'un captage de *pouhon*, nom générique d'une eau minérale ferrugineuse gazeuse naturelle en notre pays, il est utile de connaître les caractères de ceux-ci.

La présente note a pour but de fixer ces caractères dont l'ensemble est indispensable pour assurer les résultats de l'emploi thérapeutique de ces pouhons.

§ 1. — Quelle que soit l'opinion qu'on se forme de l'origine de nos sources minérales et de leurs constituants, opinion qu'on pourra formuler plus tard pour donner des indications précises à nos législateurs sur le périmètre de protection à accorder à nos pouhons, on doit admettre que leur température, à peu près constante et supérieure à la température moyenne du lieu, permet de supposer avec assez de raison qu'ils se forment à une profondeur de 50 mètres environ (40 mètres pour l'excès de température et 10 pour le refroidissement produit à l'émergence par suite de la décompression de l'acide carbonique).

La plus grande partie de cette profondeur est constituée par des roches relativement dures, avec cassures nombreuses, parfois une faille, qui provoquent la collection de l'eau minérale et facilitent son émergence.

§ 2. — A cette profondeur, l'eau minérale ne doit pas contenir de *matière organique*. Parmi les gaz recueillis et analysés, on ne doit pas trouver l'*oxygène*, encore moins le *méthane*. Matière organique, oxygène et méthane indiquent l'apport d'eau douce d'origine superficielle.

Matière organique. — En ce qui concerne celle-ci, il ne s'agit pas seulement de celle qu'on peut déceler et doser par la solution alcaline de KMnO_4 , mais de cette matière organique *fluorescente* spéciale qu'on peut dépister en traces infinitésimales par l'*esculine* (procédé de Dienert) et qu'on ne trouve jamais dans les eaux profondes ou bien mises à l'abri des infiltrations supérieures.

Méthane. — C'est l'hydrogène carboné qui donne à l'eau minérale, en temps de pluie, un goût marécageux. Sa présence dans les gaz recueillis aux pouhons indique clairement le mélange à l'eau minérale d'une eau superficielle qui a traversé la tourbe.

Oxygène. — Ce gaz ne doit plus se rencontrer à la profondeur de 50 mètres. C'est l'eau douce superficielle qui l'apporte à l'eau minérale. Oxygène et eau douce sont d'ailleurs les incompatibles, les ennemis de l'eau minérale ferrugineuse. Si l'on veut s'en assurer, on n'a qu'à observer ce qui se passe quand l'eau minérale non captée arrive à la surface. Le dépôt d'ocre, plus ou moins abondant suivant

l'abondance des griffons, indique que l'oxygène de l'air, ou bien celui qui est contenu dans l'eau superficielle qui imprègne le terrain et dans le sol lui-même, a décomposé l'eau minérale et précipité le fer.

Dans la tranchée creusée pour capter l'eau minérale, c'est toujours à la rencontre de l'eau superficielle qui descend et de l'eau minérale qui monte que celle-ci est en partie décomposée, et c'est le fer précipité qui colore en ocre le terrain de couverture de la roche dure en place.

La réaction qui se passe entre l'oxygène, d'une part, et l'eau minérale ferrugineuse, d'autre part, n'est pas aussi simple qu'on se l'imagine. Quand on disait que le fer contenu dans nos poudrons y est contenu sous la forme de bicarbonate ferreux, un sel hypothétique, instable, qu'on ne peut isoler comme tel, on expliquait la réaction en disant que ce sel ferreux, au contact de l'air, perdait une molécule de CO_2 , devenait carbonate ferreux (pellicule irisée à la surface de l'eau), puis ferrique. On donnait d'ailleurs de ce bicarbonate ferreux des formules différentes. Pour les uns, c'était FeCO_3CO_2 ou $\text{FeO}_2\text{2CO}_2$; pour d'autres, $\text{FeCO}_3\text{CO}_2\text{H}_2\text{O}$.

La vérité, c'est que le fer de l'eau minérale y est à l'état d'*hydrate de fer colloïdal*. Ce colloïde est *positif*, et l'hydroxyle *HO négatif* mis en présence, par perte de charge électrique, le précipite en grains très fins d'abord, qui s'agglutinent ensuite pour former des flocons de plus en plus nombreux et volumineux d'*hydrate ferrique*, qui devient ensuite de l'hydrocarbonate ferrique (ocre).

La présence de l'oxygène parmi les gaz de nos poudrons rend l'eau minérale instable, moins active pour l'usage interne et empêche la réussite de toute tentative d'exportation.

§ 5. *Hydrogène sulfuré*. Ce gaz a été signalé à l'état permanent dans un de nos poudrons, la Géronstère. Sa présence dans les autres sources de Spa a été tour à tour affirmée et niée. A. Fontan (1840) et G. Dewalque (1864) croient que l'hydrogène sulfuré ne se trouve qu'accidentellement et d'une manière intermittente dans l'eau de nos poudrons. Ces auteurs « attribuent cette formation accidentelle et intermittente d'acide sulfhydrique à la décomposition du sulfate de sodium par les matières tourbeuses, ce qui donnerait lieu d'abord à du sulfure de sodium, lequel serait ensuite décomposé par l'acide carbonique avec production d'hydrogène sulfuré ⁽¹⁾ ». C'est aussi l'opinion des chimistes qui ont analysé nos eaux minérales en 1872.

(1) Rapport de la Commission de chimistes de 1872, p. 12.

On sait que les roches reviniennes sont très pyriteuses. La solubilisation dans l'eau minérale, puis la décomposition ultérieure des pyrites pourraient donner naissance à l'hydrogène sulfuré. Mais alors on ne s'expliquerait pas la présence *intermittente* de ce gaz qui, s'il n'est pas décelé par les réactifs chimiques les plus sensibles, se révèle à notre odorat à certains jours, précisément les mêmes que ceux où l'on constate le goût marécageux dû au gaz *méthane*.

Dans une source bien captée, on ne doit pas trouver l'hydrogène sulfuré, puisque l'eau superficielle qui a traversé les matières tourbeuses dont la réaction, indiquée ci-dessus, sur le sulfate de sodium détermine la production de ce gaz, ne doit pas parvenir jusqu'aux griffons bien isolés de l'eau minérale.

§ 4. L'eau minérale de nos poudrons possède une action spéciale fugitive qui résulte de plusieurs constatations.

Action catalytique. Tout d'abord, à la façon des ferments, ce n'est pas la quantité d'éléments mais la *qualité* de ceux-ci qui agit dans l'eau minérale. Les médicaments galéniques ont chacun une action physiologique dosée à raison de la quantité administrée. L'eau minérale, même en petite quantité, agit par l'*action de présence* des éléments qui la composent.

En effet, l'eau minérale fraîchement puisée possède une *action catalytique* bien évidente. Si à une solution d'eau oxygénée chimiquement pure — 50 centimètres cubes — on ajoute de l'eau minérale native — 10 centimètres cubes — et qu'on les laisse en contact pendant trente minutes à la température constante dans l'étuve à 38°C., on constate que l'eau minérale accélère la décomposition de l'eau oxygénée dans une proportion très forte (80 %) (1).

Radioactivité. L'eau minérale est radioactive. Cette radioactivité paraît dépendre de la présence des gaz rares : *argon*, *hélium*, *néon*, *crypton*, *xénon*. Ces gaz sont libres ou dissous dans l'eau minérale. Cependant il ne paraît pas exister de *rapport numérique fixe* entre la proportion d'hélium des sources et l'intensité même de la radioactivité (Moureu); il y a seulement une *relation qualitative* (P. Curie et Laborde), mais elle est *absolue* (Moureu).

(1) Les faits énoncés au § 4 résultent d'expériences personnelles sur le poudron Duc de Wellington. La technique et les résultats détaillés feront l'objet d'un mémoire séparé. Les solutions colloïdales de *sulfure d'arsenic* et d'*hydrate ferrique* m'ont été fournies gracieusement pour mes expériences par le Laboratoire Clin, de Paris.

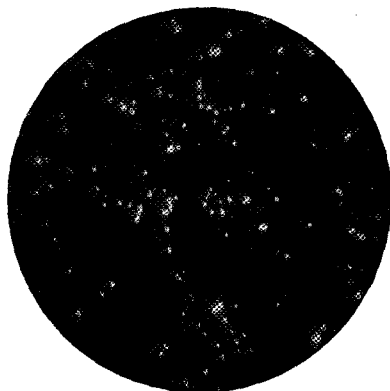


FIG. 1. — COLLOÏDES DE L'EAU MINÉRALE. POUHON DUC DE WELLINGTON (Nivezé-Spa).

Eau puisée le 27 avril 1911, à 13 heures; examinée le 28 avril, à 18 heures.

Les grands granules sont très éclairés et se présentent sous forme de comète. Vivacité très grande. Scintillement intermittent. D'autres colloïdes sont en mouvement; on les distingue avec la loupe: à l'état un peu flou, mais net. Les petits points clairs moyens paraissent être des matières précipitées; quelques-uns sont hyalins, d'autres ont une couleur roussâtre. Des granules encore plus fins et très scintillants peuvent être reconnus sur le cliché avec une loupe.

Ultra-microscope Zeiss. Objectif DD; oculaire à projection; agrandissement 330 fois environ.

Microphotographie: Plaques impériales, 200° H₂O, étiquette rouge, de pose anti-halo.

Pose: 14 minutes. Tirage 17 centimètres.

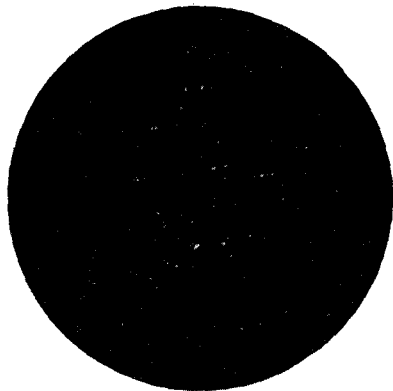


FIG. 2. — COLLOÏDES DE L'EAU MINÉRALE. POUHON DUC DE WELLINGTON (Nivezé-Spa).

Eau puisée le 5 avril 1911, à 8 heures; examinée le 8 avril, à 17 heures.

Granules scintillants, ce qui fait que chacun paraît entouré d'une aréole légèrement floue due aux mouvements pendant la pose. L'eau minérale est donc toujours active.

Objectif A₁; oculaire d'Huygens Tirage: 17 centimètres et pose de 8 minutes.

De l'eau minérale puisée le 5 avril 1911, à 8 heures; examinée le 28 avril avec les mêmes dispositifs; absence de scintillement des granules.

Pose de 13 heures à 13 h. 45. J'omets ici le cliché peu concluant comme tel.

(Laboratoire Pol Buss, Gand.)

(Clichés microphotographiques de MM. Robert Adan, Dr en sciences, et de Fr. Van Duyse, de Gand.)

La présence des gaz rares (hélium et néon) a été constatée dans les gaz recueillis à la source du Tonnelet par M. le Prof^r Dewalque (Louvain) et analysés par le Prof^r Moureu.

Divers expérimentateurs auparavant ont mis en évidence la radioactivité de nos poughons, et cette radioactivité augmentera certainement par un bon captage, isolant parfaitement les griffons et mettant l'eau minérale à l'abri de l'air et du mélange aux eaux superficielles.

État colloïdal. Si on examine l'eau native à l'ultramicroscope, on constate sur le champ noir un scintillement caractéristique et des granules très nombreux, très fins, animés de mouvements browniens, quelques-uns plus gros, indiquant qu'il s'agit d'une *solution colloïdale*. (Voir figure ci-contre.)

Ces granules ont un *signe électrique* et se transportent dans le champ du microscope sous l'action d'un courant continu d'une intensité d'une fraction d'ampère.

Floculation. L'addition à l'eau minérale de sulfure d'arsenic colloïdal (de signe négatif) la fait flocculer, indiquant par là que le fer et le manganèse, colloïdes positifs, caractérisent l'eau de nos poughons. L'hydroxyle OH négatif a la même propriété.

La radioactivité de l'eau minérale, même bien puisée et embouteillée, diminue assez rapidement, et cette diminution se caractérise par l'immobilisation d'un nombre sans cesse grandissant de granules colloïdaux qui finissent par se grouper en amas indiquant qu'ils sont précipités. Au bout d'un certain temps, *non encore calculé*, tous les granules sont immobiles, et on remarque, dans l'eau, des flocons indiquant bien que l'eau minérale a perdu une partie de ses qualités natives.

Si on expose cette eau minérale inerte ou presque au rayonnement du *bromure de radium* (radiations β), les granules colloïdaux immobiles reprennent leurs mouvements browniens et la solution trouble, sa limpidité.

On obtient le même résultat par l'action des rayons de l'*ampoule de Crookes*, en ayant soin de ne laisser agir que les rayons cathodiques analogues aux radiations β .

§ 5. *Acide carbonique.* Ce gaz est le plus important des gaz de l'eau minérale ferrugineuse. Mettant à part son influence comme tel sur la digestion et l'absorption (usage interne), c'est lui qui entraîne jusqu'au point d'émergence la plus grande partie de l'*émanation*, cause de la radioactivité, l'autre partie étant en solution dans l'eau, et les gaz rares qui en dépendent probablement.

Dans les bains carbo-gazeux (usage externe), l'action prépondérante

est due au CO_2 radioactif; les expériences faites à ce jour avec le CO_2 chimiquement pur dissous dans l'eau de bains carbo-gazeux artificiels ne donnent pas de résultats aussi concluants.

Quelle qu'en soit l'origine, le CO_2 radioactif de nos poudrons sert à maintenir à l'état colloïdal les métaux caractéristiques de nos eaux minérales parce qu'il est de même signe positif que le fer et le manganèse.

Il est donc important que le CO_2 reste dissous et qu'il soit en sursaturation dans nos eaux minérales, non seulement dans celles qui servent à préparer le bain carbo-gazeux, mais aussi dans celles qui servent à la cure en boisson, puisque l'action du fer et du manganèse et des autres constituants métalliques s'exerce surtout en raison de leur état colloïdal maintenu tel par CO_2 .

§ 6. *Détermination des métaux.* — Pour que l'étude thérapeutique complète de nos eaux minérales soit possible, il est indispensable que tous les métaux (lourds, terreux et alcalino-terreux), même à l'état de traces, soient décelés par l'analyse. Or, cette détermination des métaux n'est pas toujours facile en raison de leur faible quantité et de leur état colloïdal. C'est Garrigou (1906) (1) qui a signalé l'importance de cette détermination.

Pour réussir, on peut employer la méthode de la dialyse ou bien celle qui consiste à opérer sur de grandes quantités prises à la source même.

Dialyse. — En faisant passer l'eau minérale sous faible pression à travers un dialyseur en collodion, on sépare les colloïdes des cristalloïdes. En calcinant le dialyseur après l'opération, on peut, dans les cendres, déceler au spectroscope la présence de métaux que l'analyse aurait méconnus.

Procédé de Garrigou (2). — Il consiste à opérer sur de grandes quantités d'eau prises à la source même et à faire agir sur elle l'hydrate de baryte qui précipite tous les oxydes métalliques, ainsi que les acides minéraux et organiques.

Le précipité est calciné et analysé.

Ce procédé a permis de déceler quarante-trois corps simples dans l'eau de sources qualifiées auparavant d'aminéralisées. Même en infini-

(1) GARRIGOU, *État colloïdal des métaux dans les eaux minérales, oxydases naturelles. Action thérapeutique.* (ARCH. GÉNÉR. D'HYDROLOGIE, 1906, XVII. Paris.)

(2) GARRIGOU, *Gazette des Eaux*, 1901, p. 51.

tésimales quantités, ces métaux à l'état colloïdal ⁽¹⁾ peuvent avoir une action thérapeutique encore inconnue aujourd'hui, mais probablement réelle, du fait de leur présence dans l'eau minérale (action de présence).

§ 7. *Bactériologie.* — Les eaux minérales au point de vue bactériologique doivent être stériles et pouvoir être embouteillées dans des conditions d'asepsie telles qu'elles restent stériles.

Les bactéries d'espèces banales, trouvées à l'examen, ne peuvent y avoir pénétré qu'accidentellement pendant les prises ou les manipulations de cultures.

Les bactéries ferrugineuses trouvées dans les dépôts ocreux ne doivent pas se trouver dans l'eau minérale puisée au griffon.

§ 8. *Analyse.* — L'analyse de l'eau minérale ferrugineuse des poudrons captés devra mettre en évidence :

1° La *température* de l'eau et son *débit* déduits d'observations répétées pendant un an;

2° La *composition osmotique* de l'eau minérale : a) molécules constituées; b) anions et cations calculés en grammes, en millimoles et en milliéquivalents; c) point cryoscopique; d) conductivité électrique;

3° La *composition d'une solution aqueuse* de sels minéraux pouvant servir comme type de comparaison (composition hypothétique) pour la constitution chimique de l'eau;

4° Le *débit journalier total du gaz* dégagé par le poudron et dissous dans l'eau et l'*analyse de ce gaz*;

5° La *composition chimique des dépôts* formés par l'eau minérale après la sortie du captage;

6° Les mesures de *radioactivité* des gaz, de l'eau et des dépôts;

7° L'absence de *matière organique fluorescente*;

8° L'absence de *floculation* après puisement récent, indiquant qu'il n'y a ni oxygène libre, ni eau superficielle apportant l'oxygène;

9° L'absence d'*hydrogène sulfuré* indiquant une réaction de matières tourbeuses sur le sulfate de sodium;

10° L'absence de *méthane* indiquant le mélange à l'eau minérale d'eaux superficielles ayant traversé la couverture tourbeuse des roches.

⁽¹⁾ « A l'état particulière », suivant l'expression de P. De Heen et H. Micheels. (*Journal de Pharmacie de Liège*, déc. 1903.)

X. STAINIER. — Du rôle des variations de température dans la dynamique externe du globe.

Lorsqu'on examine de près les innombrables phénomènes que présente, à la surface du globe, la dynamique externe, on ne peut s'empêcher d'y trouver une admirable coordination dans la poursuite d'un résultat toujours le même. Et ce résultat, il est aisé de le trouver. Tandis que chaque manifestation de l'énergie des forces internes a pour conséquence de déformer le sphéroïde terrestre et de faire naître à sa surface des inégalités, les forces dites externes poursuivent un but diamétralement opposé, celui de ramener la surface du globe à sa forme régulière en nivelant sans cesse les inégalités produites par les forces internes.

Toute l'histoire géologique de la Terre, dans le passé comme dans l'avenir, se résume dans les péripéties de la lutte sans trêve ni merci que se livrent, sur notre pauvre planète, ces deux antagonistes irréconciliables.

Pour arriver à leur fin, les agents de la dynamique externe procèdent comme de vulgaires terrassiers à qui l'on aurait confié le soin d'égaler un terrain accidenté. Ils commencent par enlever les protubérances du terrain, et cela par toutes sortes de procédés que la Géologie classe dans le grand chapitre de l'érosion. Puis ils transportent au loin les matériaux provenant de l'érosion et, enfin, en dernier lieu, ils précipitent ces matériaux dans les dépressions de l'écorce terrestre pour les combler, produisant ainsi une dernière opération que l'on est convenu d'appeler la sédimentation.

Tout agent externe qui accomplit successivement ces trois besognes mérite d'être qualifié d'agent à cycle complet, et, dans la nature entière, nous ne pouvons en trouver que deux, d'importance d'ailleurs très inégale, méritant ce qualificatif : ce sont l'eau et le vent.

Mais à côté de ces deux grands ouvriers, il y a place, dans la nature, pour des collaborateurs. Pour n'être pas complet, est-ce à dire que leur rôle soit négligeable ? Nullement. Si nous avions le temps de les suivre dans leurs manifestations, nous verrions que souvent leur utilité est indiscutable. Nous nous contenterons aujourd'hui de voir l'importance

que présente, dans ce concert d'activités tendant vers un même but, l'action des variations de température.

Il est presque inutile de le faire remarquer, ces variations n'exécutent pas les trois opérations des agents à cycle complet dont nous avons parlé plus haut. Leur rôle est plus modeste, et on peut l'envisager à deux points de vue différents :

1^o Elles préparent et elles facilitent singulièrement l'action des agents à cycle complet;

2^o Elles empêchent que dans certains cas spéciaux l'activité de ces agents complets ne se trouve en défaut et qu'il en résulte une lacune dans la dynamique. Ainsi elles arrivent à ce résultat, que pas un point de la surface du globe n'échappe au résultat final dont nous avons parlé plus haut. En pratique, il est impossible de séparer ces deux points de vue, et nous en aborderons l'étude simultanément.

C'est presque uniquement par rapport à l'érosion que le rôle des variations de température mérite d'être étudié, mais là, nous allons le prouver, ce rôle est capital.

Lorsque l'eau ou le vent se mettent à faire de l'érosion, il est superflu de faire remarquer que le résultat final variera dans d'énormes proportions suivant qu'ils se trouveront en présence de reliefs constitués par des terrains meubles ou par des roches dures et cohérentes.

Dans ce dernier cas, pendant très longtemps, toute l'énergie mécanique dont ils disposent devra être, au préalable, dépensée pour transformer ces roches dures en roches meubles, car celles-ci seules peuvent être entraînées au loin. On conçoit donc aisément que tout phénomène qui, avant l'action de l'eau ou du vent, aura transformé des roches cohérentes en roches meubles, aura par cela même singulièrement facilité leur action.

Comme nous allons essayer de le montrer, les variations de température, soit qu'elles agissent seules, soit en présence de l'eau, sont un des nombreux moyens dont dispose la nature pour transformer les roches dures en roches meubles. Voyons quel est le mécanisme de cette transformation, d'abord sous l'influence des variations de température agissant seules.

§ I. — PHÉNOMÈNES PRODUITS PAR LES SEULES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE.

Lorsque des roches absolument pures et homogènes subissent des changements de température, elles n'en éprouvent qu'une influence

pratiquement négligeable. Mais les roches absolument pures n'existent pour ainsi dire pas dans la nature. L'immense majorité est formée d'éléments hétérogènes et présentant des coefficients de dilatation ou de contraction inégaux. Lors donc que des roches hétérogènes se dilatent ou se contractent, tous les constituants de ces roches ne subissent pas la même influence et n'exécutent pas la même somme de mouvement. Il en résulte fatalement des tiraillements provoquant, à la longue, la disparition de la cohérence des roches et amenant leur ameublissement. Si dans la célèbre procession dansante d'Echternach tous les participants n'exécutaient pas leur mouvement de va-et-vient avec la même vitesse ou ne faisaient pas tous le même nombre de pas, évidemment la procession se disloquerait bien vite et se transformerait en une cohue sans nom.

Il découle de ce que nous avons dit, que la dislocation des roches dures sera d'autant plus rapide et plus complète que les variations de température seront plus grandes, plus fréquentes et plus brusques, car alors les tiraillements seront plus intenses et plus fréquents.

Il n'y a pas un point de la surface du globe qui soit soustrait aux changements de température, mais tous les points n'y sont pas soumis d'une façon égale, quoiqu'il y ait, sur notre globe, de puissants agents de régularisation de la température. Parmi ces agents, nous pouvons citer en toute première ligne l'atmosphère et la vapeur d'eau. Par leur grand pouvoir diathermane, ces deux gaz tempèrent dans d'énormes limites les modifications que produiraient sans cela les saisons, les jours et les nuits dans notre seule source de chaleur, les rayons solaires. Le rôle protecteur du couvert de la végétation sur les roches, tout en étant bien moins important que celui de l'air et de la vapeur d'eau, n'est cependant pas négligeable. Enfin, comme agent régularisateur nous citerons encore l'anhydride carbonique de l'air dont les recherches du célèbre physicien Arrhénius ont naguère montré le grand pouvoir diathermane ⁽¹⁾.

Dans tous les endroits où ces modérateurs des extrêmes de température font défaut ou existent en moins grande quantité qu'ailleurs, il doit en résulter fatalement des climats extrêmes.

(1) Nous faisons abstraction ici d'un facteur bien connu de régularisation du climat, le voisinage de l'océan et des grands courants marins. Ce facteur agit surtout en effet pour atténuer les variations saisonnières. Or, celles-ci ne se produisant que deux fois par an et avec toutes les transitions possibles, sont incomparablement moins efficaces que les modifications brusques et répétées de température que nous étudions ici.

A ce point de vue, il y a deux types de régions du globe qui se font remarquer; ce sont : 1° les déserts; 2° les hautes altitudes. Nous allons successivement étudier ces deux régions et voir les phénomènes qui s'y passent au sujet de ce qui nous occupe.

A. — Déserts.

Ce qui caractérise essentiellement les déserts, c'est l'absence ou la rareté de l'eau; aussi l'atmosphère des déserts se fait-elle remarquer par sa sécheresse parfois extraordinaire. De plus, la végétation nulle ou réduite à peu de chose laisse les sols exposés, pendant le jour, sans aucun obstacle, aux rayons brûlants du soleil, et pendant la nuit aux effets du rayonnement dans l'espace.

La résultante de tout cela, c'est que dans les déserts, et spécialement dans ceux des régions tropicales, les variations diurnes de température peuvent atteindre des amplitudes étonnantes et arriver communément aux chiffres de 50 degrés et plus. Si nous ajoutons à cela que, les crépuscules étant extrêmement réduits, l'on passe brusquement, dans ces déserts, d'une température très élevée à une température fort basse et réciproquement, on comprendra sans peine que nous trouvions réunies dans ces régions les variations fréquentes et brusques capables d'affecter au plus haut degré la cohérence des roches. J'ai déjà eu l'occasion ailleurs d'exposer les effets que produisent sur les rochers du Sahara les phénomènes que nous étudions ici. Nous n'aurons donc plus à y revenir ⁽¹⁾. Nous nous contenterons de dire que sous leur influence les rochers les plus résistants s'effritent, s'émiettent et sont remplacés, sur d'énormes surfaces, par des dépôts meubles.

C'est alors que l'on peut commencer à entrevoir l'importance des phénomènes provoqués par les changements de température. Dans les déserts, l'eau, le seul agent externe capable de venir à bout des rochers, fait défaut, et son rôle est repris par le vent. Celui-ci est pour ainsi dire incapable d'une action directe sur les rochers; mais il n'en est plus de même lorsque ceux-ci, sous la puissante étreinte des tiraillements intermoléculaires, sont réduits à l'état de roches fragmentaires et meubles. Alors le vent a beau jeu, et, lorsque l'impétueux simoun souffle en tempête sur le Sahara, il peut sou-

(1) Cf. X. STAINIER, *Du mode de formation de la grande brèche du Carbonifère*. (BULL. SOC. BELGE DE GÉOL., t. XXIV, 1910, Proc.-verb., p. 188.)

lever des nuages de poussière et de pierrailles et les entraîner au loin dans les dépressions de l'écorce terrestre. Il y a plus. Si le vent, seul, est sans action sur les roches dures, il n'en est plus de même lorsqu'il véhicule du sable et des pierrailles avec une grande vitesse. Si l'on peut par des jets de sable violents user et strier des lames d'acier pour les transformer en limes, rien d'étonnant que le vent du désert chargé de particules solides puisse user, polir et strier les rochers, et produire à leur surface ces curieux dessins que les explorateurs ont signalés à l'envi.

Et voilà par quel concours de phénomènes les déserts que leurs conditions physiques si spéciales semblaient mettre à l'abri des agents de la dynamique externe n'échappent pas non plus aux grandes opérations dont la surface du globe nous montre partout le spectacle.

Mais ce n'est pas encore là le seul aspect sous lequel on puisse envisager l'empreinte des variations de température dans les régions désertiques.

L'eau est un agent d'une telle puissance que même elle agit, par son absence, dans les déserts. Mais il n'y a rien d'immuable dans la nature.

Telle région absolument désertique peut plus tard, par le jeu des balancements continuels de l'écorce terrestre, s'affaïsser et rentrer dans le domaine de la mer. Ou bien un changement dans les conditions de climat peut y ramener les pluies et le régime d'eaux courantes qui en est la conséquence. Dans ces deux cas, les énormes amas de terrains meubles que le climat désertique aura, durant des siècles, accumulés à la surface du sol fourniront à l'eau une proie facile, et, trouvant une bonne partie de sa besogne toute faite, l'eau n'aura plus qu'à entraîner ces matériaux meubles et à les déposer pour constituer de puissants dépôts sédimentaires dont la structure tout à fait particulière dénotera l'origine spéciale.

C'est en effet par le mécanisme que nous venons d'indiquer que nous avons cherché à expliquer la formation de la roche qu'on appelle la brèche et qui forme dans le Calcaire carbonifère belge des gîtes si curieux, comme d'ailleurs dans bien d'autres terrains. (Cf. *Op. cit.*)

Depuis la publication de cette note, j'ai pu m'assurer qu'avant moi d'autres auteurs avaient déjà cherché à expliquer la formation si énigmatique de la brèche par l'influence de la température. Dans un remarquable travail, en 1902, T. G. Bonney a décrit un grand nombre de brèches d'Angleterre, d'Europe et d'Asie, d'après ses observations personnelles ou celles d'autres savants, et il a insisté avec soin sur

toutes les particularités que présentent ces brèches et qui peuvent servir à élucider leur origine ⁽¹⁾. Ces brèches appartiennent soit à l'époque actuelle, soit à des âges géologiques très différents. M. Bonney a rappelé que la plupart des auteurs avaient attribué leur formation à l'action de froids rigoureux, de la neige, des glaciers ou des glaces flottantes. C'est dans le même ordre d'idées que, se basant surtout sur l'étude des brèches récentes de la Perse, il cherche à expliquer le mode de formation des brèches en général. Il ne se dissimule pas cependant que, tout au moins pour beaucoup de brèches anciennes, il est difficile d'intercaler des épisodes glaciaires dans des terrains dont la faune et la flore dénotent des conditions tout autres qu'un climat glacial. Comme on le voit, la question n'est autre que celle de l'existence de glaciers permien pour expliquer l'origine des brèches permien du centre de l'Angleterre. Cette question a fait couler des flots d'encre sans que l'accord soit parvenu à se faire.

Nous pensons qu'en fait de brèche, comme en beaucoup d'autres sujets, il faut distinguer. Il peut y avoir toutes sortes de brèches d'origines bien différentes. Lorsque nous parlerons plus tard de l'action combinée du froid et de l'eau, nous montrerons qu'elle peut produire des roches bréchiformes, comme on peut le voir dans la nature actuelle. Mais nous pensons qu'un des mérites de l'hypothèse que nous avons émise, c'est de montrer que d'autres agents que l'action seule du froid peuvent expliquer la formation non seulement des roches bréchiformes, mais aussi de roches à enclaves de minéraux dont nous dirons tantôt un mot.

Pendant longtemps il a été de mise, en géogénie, de faire appel, pour expliquer des formations mystérieuses, à l'action des glaciers ou des phénomènes glaciaires. C'est ainsi qu'on en était arrivé à supposer l'existence non seulement de glaciers permien, mais de glaciers devoniens et même précambrien ⁽²⁾. On en avait été conduit là, non seulement par la nécessité d'expliquer la formation de certaines brèches, mais aussi pour rendre compte de la présence, au sein de roches arénacées, de fragments de feldspaths d'origine incontestablement détritique. Or, dans quelques terrains anciens, ces feldspaths se

⁽¹⁾ T. G. BONNEY, *On the relations of certain breccias to the physical geography of their age.* (QUART. JOURN. GEOL. SOC. OF LONDON, t. LVIII, 1902, p. 485.)

⁽²⁾ W. MACKIE, *The feldspaths present in sedimentary rocks as indicators of the conditions of contemporaneous climate.* (TRANS. GEOL. SOC. OF EDINBURGH, t. VII, 1899, p. 443.)

montraient avec des formes absolument anguleuses et un état de fraîcheur excluant complètement l'intervention de l'eau comme agent d'érosion, aussi bien au point de vue mécanique qu'au point de vue chimique. En présence de l'eau, en effet, ces grains de feldspath auraient inévitablement montré des formes arrondies et des traces plus ou moins accusées de kaolinisation dans les conditions ordinaires de l'action de l'eau. Aussi, pour expliquer la présence de tels grains de feldspath, M. Mackie (cf. *Op. cit.*) n'avait pas hésité à faire intervenir des phénomènes de glaciation afin d'expliquer la formation des arkoses de l'Old red sandstone (Devonien) et du grès de Torridon (Précambrien), sans se soucier des contradictions flagrantes que de tels phénomènes impliquent avec la faune et la flore de ces terrains.

De même M. J.-F. Blake n'a pas hésité à considérer comme due à des causes glaciaires une brèche du Jurassique supérieur du Sutherland (1). Il compare les conditions existant à l'endroit où s'est formée cette brèche à celles que l'on rencontre, de nos jours, dans la baie de Smith ou à l'île Melville, et cependant cette brèche contient de nombreuses empreintes de cycadées et des masses de polypiers constructeurs (*Isastrea*).

M. Penck, antérieurement, avait expliqué beaucoup plus logiquement la formation des arkoses du grès de Torridon, en admettant que c'était une formation continentale désertique produite sous un climat qu'il assimilait à celui de la presqu'île de Sinaï (2). C'est de la même façon aussi que M. Judd a cherché à expliquer la présence de grains de feldspath anguleux et frais dans les alluvions du delta du Nil (3). Puis M. Goodchild a de même expliqué les caractères si particuliers de certaines roches de l'Old red sandstone et du Trias d'Angleterre par la présence de climats désertiques durant ces périodes, et il a appuyé ses conclusions non seulement sur la présence de ces arkoses, mais sur beaucoup d'autres caractères très judicieusement tirés de l'observation des déserts actuels, notamment de la formation des oxydes de fer si abondants dans les terrains en question (4). Enfin les observations de M. J. Walther dans les déserts et les conclusions qu'il en a tirées pour

(1) Cf. *On the Sutherland breccia-beds*. (QUART. JOURN. GEOL. SOC., t. LXVIII, 1902, p. 290.)

(2) Cf. *Zeitschr. der Gesellsch. für Erdkunde*, t. XXXII, 1897.

(3) Cf. *Proceed. of the Royal Society*, t. XXXIX, 1885, p. 213.

(4) J.-G. GOODCHILD, *Desert conditions in Britain*. (TRANS. SOC. OF GEOL. EDINBURGH, t. VII, 1899, p. 203.)

les théories géogéniques sont trop connues pour qu'il soit nécessaire de les rappeler⁽¹⁾. Comme on le voit, je n'ai pas eu le mérite de la nouveauté en proposant ma théorie de la formation des brèches carbonifères belges. Je n'ai fait que suivre et développer les principes exposés par ces savants devanciers et les appliquer dans mon pays ⁽²⁾.

Je suis convaincu que l'on pourra dans l'avenir, en tenant compte des phénomènes produits par les variations de température, expliquer la formation de beaucoup de roches énigmatiques ⁽³⁾.

(1) J. WALTHER, *Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung*. (ABHANDL. DER MATH.-PHYS. CLASSE DER KÖN. SACHS. GESELLSCH. DER WISSENSCH., t. XVI, Leipzig, 1891.)

(2) Dans une note consacrée à l'étude du Calcaire carbonifère belge, M. H. de Dorlodot (Cf. *Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXIV, 1910, Proc.-verb., p. 280) examine la théorie que nous avons émise pour expliquer la formation de la grande brèche du Carbonifère belge. N'admettant pas la possibilité de réalisation de conditions de climat désertique pendant l'époque carbonifère chez nous, conditions par lesquelles j'explique la formation de la brèche, il cherche à l'expliquer par un autre processus.

Le débitage du calcaire, indispensable et préalable à l'action mécanique de l'eau, il le comprend ainsi : « L'imprégnation par l'eau, suivie d'une rapide dessiccation, peut produire des effets analogues, et même l'action solaire seule produit sur les bords de la mer une action identique à celle qu'elle produit dans les déserts. » M. de Dorlodot serait, je pense, bien embarrassé de citer à l'appui de ce qu'il énonce un seul fait d'observation. Ce qu'il dit de l'action solaire seule au bord de la mer est absolument ce que j'ai dit pour les déserts. Il n'y a rien qui ressemble autant à un désert que certains rivages de la mer, et le Sahara notamment longe la mer sur une étendue énorme. Quant au pouvoir de débiter des calcaires cohérents en morceaux par leur imprégnation d'eau suivie d'une rapide dessiccation, c'est une pure impossibilité. Des centaines de fois par an, dans notre propre pays, des façades en pierre de taille calcaires présentent une imprégnation par l'eau de pluie suivie d'une rapide dessiccation. Qui a jamais vu que ce phénomène désagrégeait ces pierres ? Au contraire, tant qu'il ne s'agit que de l'action de la chaleur, l'imprégnation de la roche par l'eau empêche sa désagrégation. En effet, l'évaporation et la dessiccation produisant, surtout lorsqu'elles sont rapides, un abaissement de température, modèrent l'action calorifique et les variations brusques qui en découlent et qui sont, comme nous venons de l'exposer, un si puissant facteur de désagrégation.

M. M. LOHEST (Cf. *A propos des brèches carbonifères*. [ANN. SOC. GÉOL. DE BELGIQUE, t. XXXVIII, 1911, Bull., p. 220]) a, à juste titre, rappelé que les argiles rubéfiées qui englobent les fragments de certaines brèches carbonifères belges, sont une preuve de l'origine subaérienne et désertique de ces brèches. M. Goodchild a développé la même thèse dans son ouvrage précité que je considère comme un de ceux qui ont le mieux saisi la géogénie des déserts et de leurs formations si spéciales.

(3) Les curieuses roches sparagmitiques du Précambrien de Norvège par exemple.

B. — *Hautes altitudes.*

Le sommet des très hautes montagnes semble défier l'action des agents de la dynamique externe. La nature a eu beau placer dans les montagnes deux de ses ouvriers les plus actifs, les glaciers et les torrents, la pesanteur les maintient dans les vallées, laissant hors de portée les cimes sourcilleuses dont la majesté immuable semble placée là pour donner à l'homme, au milieu des incessantes agitations de la terre, le contraste du calme imposant de la nature.

Il y a donc bien là, semble-t-il à première vue, une lacune dans le cycle des opérations des forces externes, et cette lacune paraît d'autant plus criante que c'est justement là où existent ces puissants reliefs que devrait s'exercer le plus énergiquement le rôle niveleur et égalisateur de ces forces externes.

C'est pour combler cette lacune que précisément là vont agir, avec le plus de puissance, les influences des variations de température.

Le climat des hautes altitudes présente des caractéristiques spéciales. L'atmosphère, il est inutile de le démontrer, s'y montre extrêmement raréfiée, et son pouvoir protecteur s'y montre réduit d'autant. De plus, passé une certaine altitude, variable suivant les régions, l'atmosphère y est extraordinairement sèche. C'est un fait bien connu depuis l'installation d'observatoires au sommet des montagnes, notamment au sommet du Mont-Blanc où l'on a pu constater que l'atmosphère des hautes altitudes est bien autrement sèche que celle des déserts les plus secs.

L'absence ou la faiblesse de ces deux grands agents régulateurs de la température crée, pour les hautes altitudes, des conditions que connaissent tous les alpinistes et qui se caractérisent surtout par des variations thermométriques encore autrement fortes et brusques que celles que l'on observe dans les déserts. Pour peu que l'on ait fait une ascension assez élevée, on aura pu constater que si l'on monte exposé aux rayons du soleil, la chaleur est accablante, et, les efforts nécessités par la marche aidant, on est rapidement en nage. Vient-on, dans la marche, à passer à l'ombre d'un rocher, sans transition, on se trouve plongé dans une température glaciale. Les mêmes influences doivent naturellement agir sur les roches constituant le massif montagneux. Des surfaces rocheuses que leur forte pente met à l'abri du manteau de neige, surfaces souvent constituées de roches de couleur sombre, sont-elles orientées vers le soleil, elles sont soumises, durant le jour,

à une insolation que rien ou presque rien ne vient tempérer, et leur température s'élève énormément au-dessus de celle de l'air ambiant. Brusquement, à la tombée du jour, ces mêmes roches sont soumises à une température très basse que ne connaissent pas les déserts tropicaux. Souvent même, au cours de la journée, la marche du soleil autour de l'horizon amène, par le jeu des ombres signalé plus haut, des variations encore plus brusques et plus fréquentes. Ce que nous avons dit à propos de l'action des variations thermométriques dans les déserts laisse assez prévoir que sur le sommet des hautes montagnes la désagrégation des roches sera bien autrement active. Comme des ascensions sur le versant italien des Alpes nous l'ont montré, on voit, dans ces conditions, se former sur la pente des montagnes, en dessous de ces fortes pentes rocheuses, d'énormes accumulations d'éboulis constitués par des matériaux anguleux aux dimensions les plus variables. Ce sont ces accumulations que l'on appelle sur ce versant italien des *clapey*, mot correspondant au mot *clapier* usité sur le versant des Alpes, en certains endroits du Dauphiné et de la Savoie.

Ces accumulations, bien connues des alpinistes, opposent de grands obstacles à la marche, car elles se présentent généralement avec des surfaces extrêmement rugueuses et inégales, et de plus, leur état d'équilibre étant très instable, elles s'éboulent sous le pied des ascensionnistes, et leurs éléments dévalent avec rapidité, rendant la marche pénible et dangereuse. Par suite de ce manque d'équilibre, à tout moment, ces accumulations se mettent en mouvement sous l'action de la pesanteur et, dégringolant les pentes, arrivent dans les régions où elles sont saisies par les avalanches.

Dans nos pays de plaines, il est impossible de se faire une idée du rôle actif joué par les avalanches, mais qui a eu l'occasion de les voir fonctionner dans les montagnes, comprendra que, une fois saisis par la puissante étreinte de ces avalanches, les blocs des *clapey* sont rapidement entraînés soit dans les glaciers, soit dans les torrents, et qu'alors leur destinée est certaine.

Les matériaux des *clapey* qui tombent hors d'atteinte des avalanches, sur les pentes que leur exposition ou leurs faibles pentes préservent de ces phénomènes grandioses, ces matériaux, dis-je, n'échappent point à leur sort. Ils s'enterrent dans la neige, puis dans le sol meuble, et, par un phénomène de lente progression que nous étudierons au second paragraphe de notre étude, ils finissent par arriver à leur tour dans les glaciers ou les torrents. En examinant des photographies de montagnes, on y retrouvera presque toujours, sur leurs flancs, les

trainées sombres caractéristiques de ces *clapey* étendues sur les pentes comme des tapis allongés aux surfaces chagrinées, et l'on pourra ainsi se rendre compte de la généralité des phénomènes que je viens de décrire et de leur importance dans la physiographie du globe. On se convaincra aussi, par l'étude de ces phénomènes, du caractère inéluctable de cette loi égalitaire qui veut que pas un grain de sable ne soit soustrait à la gravitation qui tend sans cesse, pour maintenir ses droits, à détruire les protubérances de l'écorce terrestre pour en combler les dépressions.

Nous verrons plus loin comment les phénomènes que nous venons d'étudier sur les flancs des montagnes, peuvent prendre une amplitude encore plus grande par l'intervention d'un autre facteur, l'eau.

2. — ACTION COMBINÉE DU FROID ET DE L'EAU.

Lorsque des roches meubles ou cohérentes imbibées d'eau se trouvent soumises à l'action de la gelée, il en résulte des phénomènes de désagrégation rapide, et cela par suite d'une propriété bien remarquable de l'eau. Celle-ci possède en effet cette propriété presque unique d'avoir son maximum de densité à 4° et de se dilater par conséquent lorsqu'elle se refroidit au-dessous de cette température et lorsqu'elle se congèle. Par contre, les roches dans lesquelles se trouve l'eau se contractent toutes dans les mêmes conditions. Si des roches cohérentes sont susceptibles, comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, de se désagréger simplement par le déplacement inégal de leurs particules lors des dilatations ou des contractions, combien cette désagrégation doit être plus rapide lorsqu'il s'agit, non plus d'une différence de déplacement dans le même sens, mais d'une différence dans le sens même du mouvement. Si un cortège composé de gens marchant à une vitesse inégale finit par se disloquer, cette dislocation serait bien plus rapide si ses membres marchaient en sens opposé.

L'action combinée de l'eau et du froid joue donc, pour les pays tempérés et froids, le même rôle, mais encore plus actif que les variations thermométriques dans les climats désertiques tropicaux.

Nous allons passer en revue les différents aspects de cette action de l'eau et du froid.

A. — Action sur les roches cohérentes.

La propriété que présentent les roches cohérentes de se déliter sous l'action combinée de la gelée et de l'eau offre une très grande

importance au point de vue des matériaux de construction. L'étude de cette propriété qu'on appelle la gélivité, des méthodes qu'on emploie pour la déterminer, des conséquences pratiques que l'on doit en tirer dans les arts, tout cela nous entrainerait fort loin dans le domaine de la technologie. Voulant rester dans le côté géologique de la question, il nous suffira de dire que l'intensité de ce phénomène et sa généralité, dans les régions où se fait sentir l'action du froid, en font un des plus puissants facteurs de désagrégation des roches dures et partant un des adjuvants les plus actifs de l'action érosive des eaux courantes.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que dans les régions polaires, là où l'eau ne fait jamais défaut et où la gelée atteint une intensité extraordinaire, les phénomènes que nous étudions doivent présenter une amplitude dont nous avons peine à nous faire idée. Quelques explorateurs polaires ont noté, dans leurs récits de voyage, la rapidité avec laquelle fonctionne la désagrégation des escarpements rocheux au delà du cercle polaire (1).

B. — Action du froid et de l'eau sur les sols meubles peu inclinés.

Dans les terrains perméables et meubles, l'abondance des précipitations pluviales peut, pendant les mois froids de l'année, déterminer des accumulations notables d'eau. Si la gelée survient, cette eau se dilate et la roche meuble n'opposant aucune résistance, le sol va se gonfler vers le haut, seule direction libre. L'intensité du gonflement sera naturellement proportionnelle à l'intensité de la gelée, à la profondeur à laquelle la gelée se fera sentir et à l'abondance de l'eau. Tant que le sol meuble est gelé, sa cohérence est naturellement fort augmentée. Mais survienne le dégel. L'eau va fondre et s'écouler vers le bas, tandis que les particules solides devenues libres par la disparition du ciment et fortement écartées par le gonflement ne constitueront plus qu'un sol considérablement ameubli(2). Tout le monde sait combien, au dégel,

(1) Cf. GARWOOD, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1899, p. 683 (Spitzberg). — FEILDEN, *Ibidem*, 1878, p. 564 (Groenland occid.).

(2) C'est à des phénomènes produits par les gelées et les pluies qu'il faut attribuer le fait sur lequel repose la croyance, très répandue à la campagne, que les pierres poussent. Un cultivateur qui aura soigneusement extirpé toutes les pierres éparses sur son terrain, sera très étonné, au bout de quelque temps, de voir ce

il est pénible de circuler sur des terrains meubles où l'on enfonce avec la plus grande facilité, phénomène qui oblige à arrêter la circulation sur les routes pavées si l'on veut empêcher qu'elles soient complètement défoncées par le charroi. On sait aussi que c'est à ce moment de l'année que des pluies copieuses ou des fontes précipitées de neige ont pour résultat d'exalter l'action des eaux sauvages et de faire déborder les cours d'eau.

C'est à ce moment, où les eaux courantes sont le plus abondantes, que les sols sur lesquels elles circulent sont donc le moins capables de leur opposer de la résistance. Quoi d'étonnant donc que ce soit aussi à ce moment que le pouvoir érosif des eaux courantes soit porté à son maximum? On n'ignore pas que c'est en temps d'inondation que les eaux des cours d'eau sont le plus chargées de sédiments. Les recherches de MM. Spring et Prost sur le cours de la Meuse, en 1883, ont mis ce fait en pleine lumière, en montrant que si la Meuse, aux basses eaux de l'été, ne charrie que 1 à 2 grammes de matière solide par mètre cube, cette quantité a monté à 417 grammes à la suite d'une crue du fleuve ⁽¹⁾.

Pour d'autres fleuves, des études similaires ont montré des divergences plus profondes encore. On voit donc dans quelle énorme proportion les phénomènes que nous examinons contribuent, concurremment avec d'autres, à augmenter l'énergie du travail produit par l'eau.

Mais ce n'est pas la seule face de la question. Par un concours de circonstances, bien rare il est vrai, le froid et l'eau peuvent, en pays de plaines à sol meuble, déterminer l'apparition du phénomène si actif de l'inondation qu'elles connaissent si rarement.

terrain aussi couvert de pierres qu'auparavant. Pour lui l'explication la plus simple, c'est que de nouvelles pierres ont poussé et grandi sur ce terrain. La véritable explication est naturellement tout autre.

Dans un sol meuble contenant des pierrailles dans toute son épaisseur, sauf à la surface qui vient d'en être purgée, la gelée et l'eau déterminent pendant l'hiver un fort soulèvement. Au dégel, le sol gonflé se tasse. Les particules les plus petites, plus mobiles, comme dans tout tassement, glissent entre les interstices des cailloux et vont s'accumuler vers le bas, les cailloux restent au-dessus. Ce classement est encore accéléré par l'action des pluies du printemps, et voilà pourquoi, pendant un certain laps d'années du moins, de nouvelles provisions de pierres viennent sans cesse encombrer le terrain malgré les efforts du cultivateur.

(1) Cf. *Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XI, Mém., p. 169.

Deux fois de suite, dans notre pays, la Basse-Belgique, où les inondations sont si exceptionnelles, a vu se produire de désastreuses crues, même de ses cours d'eau les plus insignifiants. A la fin des hivers de 1890-1891 et 1891-1892, il s'est produit dans ces régions des inondations comme il ne s'en était plus produit de mémoire d'homme, et résultant des circonstances suivantes. Au commencement de l'hiver, de fortes gelées se produisant sur les sols non protégés par de la neige avaient durci ceux-ci jusqu'à une grande profondeur. Plus tard, d'épaisses couches de neige étaient venues recouvrir les terrains gelés. Lorsque le dégel survint au printemps, accéléré par des pluies chaudes, la fusion des neiges et la pluie donnèrent naissance à d'énormes volumes d'eau, qui, ne pouvant pénétrer dans le sol imperméabilisé par la gelée, affluèrent de tous côtés dans les cours d'eau et provoquèrent partout de désastreuses inondations charriant naturellement des quantités exceptionnelles de sédiments.

C. — *Action du froid et de l'eau sur les sols meubles en pente.*

Depuis longtemps on a remarqué que la couverture meuble des sols en pente descend le long de ces pentes, avec lenteur, mais d'une façon irrésistible qui l'a fait comparer par certains à un véritable glacier terreux (*earth-glacier*)⁽¹⁾.

Ce phénomène, reconnu un peu partout⁽²⁾, de même que les bouleversements superficiels des strates de roches dures dont nous parlerons tantôt, a été expliqué de diverses façons, et naturellement on n'a pas manqué de recourir à l'intervention des glaciers. Il était réservé à M. Davison de donner une explication plausible de cette descente, comme je l'ai montré jadis dans un compte rendu de son travail⁽³⁾.

(1) KERR, *Amer. Journ. of Science and Arts*, 3^e série, t. XXI.

(2) COPPINGTON, *On soil-cap motion*. (QUART. JOURN. GEOL. SOC., t. XXXVII, 1881.) — ECCLES, *On superficial curvature of Beds near the surface*. (TRANS. GEOL. SOC. OF MANCHESTER, t. VIII.) — THOMSON, *The movement of the soil-cap*. (NATURE, t. XV, 1877, p. 359.)

(3) DAVISON, *Geolog. Magazine*, juin 1889. — X. STAINIER, *Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XVI, Bull., 1889, p. 82.

Voici l'explication théorique qu'a proposée M. Davison, explication qu'il a d'ailleurs corroborée par des expériences de laboratoire :

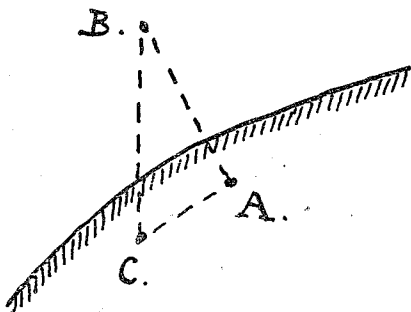


FIG. 1.

Supposons un sol en pente, meuble, et suivons une particule *A* de ce sol supposé imbibé d'eau et soumis à l'action de la gelée. Sous l'action de la dilatation de l'eau par le froid, la particule *A* va se mettre en mouvement. Comme toutes les particules voisines exécutent les mêmes mouvements et exercent les unes sur les autres des pressions qui s'équilibrent, le seul chemin qui reste libre c'est la normale à la surface, et la particule *A* va parcourir le chemin *AB*. Au dégel, les eaux, causes du phénomène, fondent et disparaissent. La particule *A*, libre, sans contact avec ses voisines et obéissant à la pesanteur, ne reprendra pas son chemin primitif, mais tombera suivant la verticale *BC*. La résultante, c'est qu'après l'opération la particule *A* aura parcouru un chemin *AC* dans le sens de la pente. Comme on peut tenir le même raisonnement pour chacune des particules du sol, on voit pourquoi celui-ci se déplace d'une pièce.

Comme le montre la figure, trois facteurs peuvent faire varier le phénomène : 1° l'intensité de la gelée, qui, en augmentant la droite *AB*, augmentera corrélativement la droite *AC*; 2° l'abondance de l'eau, qui agira dans le même sens, et 3° l'amplitude de la pente, qui, en faisant varier l'angle *ABC*, fera varier le côté *AC* opposé à cet angle.

La descente d'une couverture parfois épaisse du sol est un fait qui présente une grande importance en pratique, pour l'agriculture, pour l'exécution de travaux d'art, tranchées, constructions, etc., à flanc de coteau. C'est un phénomène très nuisible et qu'il importe de bien connaître pour pouvoir lutter contre lui avec espoir de succès. A ce

point de vue, on peut remarquer que parmi les trois facteurs du phénomène cités plus haut, il en est un, la pente, vis-à-vis duquel nous sommes, en général, impuissants; mais nous ne sommes pas sans action sur les deux autres. Par des drainages et des assainissements, nous pouvons faire disparaître l'excès d'humidité, et, en couvrant le sol d'une végétation touffue et permanente, on modère, comme on le sait, dans de très fortes proportions, l'influence de la gelée sur le sol. La présence de végétations touffues, surtout de végétations arborescentes, aux racines puissantes, aura de plus comme effet de lutter directement contre le gonflement du sol fixé solidement par les racines.

Ce déplacement du sol superficiel est beaucoup plus important et plus général qu'on ne le pense, surtout dans notre pays. Il y a déjà bien des années cependant que G. Dewalque a attiré l'attention sur ces déplacements et montré l'intérêt qu'il y aurait à les étudier ⁽¹⁾. Certes, il est souvent difficile d'apprécier ces mouvements lents sans des observations très précises, mais nous avons pu nous convaincre que dans de très nombreux cas leur étude est très aisée. Ainsi, dans la Haute-Belgique, où ces phénomènes sont surtout fréquents, il n'est pas rare de voir des couches épaisses de sols détritiques, aisément reconnaissables au point de vue de leur origine, être entraînées loin de leurs roches mères. Un cas fréquent est de voir les calcaires du Dévonien moyen, logés dans les dépressions, couverts de couches épaisses d'argile que leur couleur rouge amarante et leurs blocs de grès et de poudingue de même teinte trahissent comme provenant incontestablement des sommets voisins constitués par les strates du Dévonien inférieur (Burnotien). A ne juger que d'après les apparences superficielles, il eût été facile de se tromper sur la nature des roches sous-jacentes à ces argiles rouges, et d'aucuns s'y sont laissé prendre.

Un des incidents les plus curieux de ce déplacement du sol, c'est la progression souvent par rotation que présentent des blocs considérables de roches dures gisant à la surface du sol en mouvement. De là vient le nom, fréquemment appliqué à des pierres légendaires, de « Pierre qui-tourne ». A certains repères imperceptibles, mais que découvre la sagace observation des gens du terroir, ils ont parfaitement reconnu que ces pierres tournent. Je connais, pour ma part, deux pierres portant ce nom. L'une est un énorme cylindre d'arkose gedinnienne visible sur la pente au Sud du hameau de Boutonville (Baileux),

(1) Cf. *Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. I, 1874, Bulletin, p. 79.

renseigné d'ailleurs sur la Carte de l'état-major. L'autre est formée de grès bruxellien et gît sur la pente du terrain houiller à l'Ouest de Spy, sur le flanc Nord d'un ravin qui se jette dans l'Orneau en aval des célèbres grottes de Spy.

La descente lente de ces blocs se fait bien par rotation et son mécanisme est aisé à saisir. C'est le même que celui bien connu qui sollicite à tomber vers le Sud un mur orienté Est-Ouest. Lorsque le sol meuble se congèle, il se soulève avec le bloc qu'il supporte. Lors du dégel, la partie tournée vers le Midi dégèle plus vite, d'autant plus que le bloc protège le sol du dégel, de l'autre côté, par son ombre. La pression exercée sur le côté non encore dégagé n'étant plus contrebalancée de l'autre côté, il en résulte une poussée qui sollicite le mur à tomber ou le bloc à avancer. Si le bloc est situé sur un sol en pente, la descente du sol superficiel vient encore accélérer le phénomène. C'est de cette façon que l'on peut expliquer la progression de la pierre-qui-tourne de Spy située sur une pente orientée vers le Sud. Il n'en est pas de même de la pierre de Baileux, qui repose sur une pente orientée vers le Nord et où, par conséquent, la descente du sol peut seule expliquer la progression, l'autre phénomène qui amènerait un mouvement vers le Sud tendant plutôt à faire remonter le bloc contre la pente, si l'influence de la pente n'était pas plus énergique.

D. Action combinée du froid et de l'eau sur les roches dures en pente.

Dans nos contrées froides et humides, c'est un fait fréquent de voir les bancs de roches cohérentes qui viennent affleurer sur des terrains en pente, présenter au voisinage de la surface un repliement plus ou moins accentué, dans le sens de la pente. Attribué à la pression des glaciers dévalant le long des pentes, ce fait est dû à des causes tout autres. On pouvait déjà le soupçonner en constatant que très fréquemment, dans les vallées, le repliement se fait toujours vers l'axe de la vallée, tandis que, dans les vallées, la progression des glaciers se fait toujours parallèlement à l'axe de la vallée et aurait donc dû produire un repliement à angle droit avec celui que l'on observe. En fait, ce repliement est uniquement dû à l'action de la gelée et de l'eau. Cette action produit, sur la partie superficielle des roches, un entraînement dans le sens de la pente, comme nous l'avons vu au cas précédent, mais ici le phénomène prend une allure un peu spéciale, à cause de la

résistance à l'entraînement qu'oppose la cohérence de la roche. Cette résistance à l'entraînement n'étant pas partout la même dans la tranche superficielle, il en résulte un reploiement courbe, comme le montre le croquis ci-dessous (fig. 2).

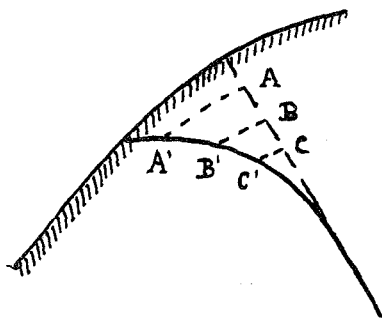


FIG. 2.

Si nous examinons trois points situés sur le même joint de stratification primitivement rectiligne, A, B et C, nous voyons qu'ils exécutent, dans le sens de la pente, des chemins AA', BB' et CC', qui sont d'autant plus longs que le point considéré est plus près de la surface. Cette différence dans le chemin parcouru est aisée à expliquer : 1° parce que l'action de la gelée se fait sentir avec une intensité d'autant moindre qu'on s'écarte de la surface; 2° parce que la fréquence de l'action de la gelée est plus grande en se rapprochant de la surface, car plus on est près de cette surface et moins la gelée doit être forte pour se faire sentir; 3° enfin la roche, par suite des influences météoriques, étant d'autant plus altérée et plus meuble qu'on approche davantage de l'affleurement, la résistance à l'entraînement opposée par la cohérence de la roche diminue d'autant en s'écartant de la roche saine de la profondeur.

La gradation dans l'action variant régulièrement avec la profondeur, il en résulte une courbe de reploiement.

Toutes les roches ne sont pas également susceptibles de présenter ces phénomènes. Il en est, par exemple les schistes, qui les présentent avec une amplitude et une fréquence telles qu'on est obligé d'en tenir compte dans la pratique. Il faut bien se garder de vouloir déterminer l'allure en profondeur de roches schisteuses par l'observation d'affleurements situés sur des pentes, à la surface ou à faible profondeur, dans de petites tranchées de chemin, par exemple. On serait souvent exposé ainsi à se tromper grossièrement et à prendre pour les vraies allures un simple reploiement de têtes de bancs.

Mais le retroussement des têtes de bancs sur les pentes n'est pas le seul phénomène qu'il y ait à considérer au point de vue de l'action du froid et de l'eau. Sur le flanc des hautes montagnes, nous avons vu précédemment que l'action seule des variations de température pouvait déjà produire d'imposantes actions de désagréation. Dans les endroits où l'eau intervient dans le phénomène, on saisira combien ces actions peuvent devenir plus puissantes si l'on réfléchit au froid intense qui caractérise les nuits et les hivers des hautes altitudes.

Aussi, c'est à l'action combinée de ces trois facteurs : variations thermométriques, gelée et eau, qu'il faut attribuer la présence des clapey dont nous avons parlé précédemment et des énormes accumulations ou talus d'éboulis que de nombreux auteurs signalent sur les flancs des montagnes et tout spécialement du centre de l'Asie, de la Perse et de la Cordillère des Andes.

M. Bonney, dans son travail précité, a trop bien exposé les caractères et les origines de ces talus d'éboulis pour qu'il soit nécessaire d'y revenir. Il est cependant un point sur lequel nous croyons opportun d'ajouter quelques explications. Après avoir montré comment se forment ces talus et comment ils se meuvent tant que la pente du sol est très forte, il hésite à trouver la cause qui met en mouvement les mêmes amas de matériaux lorsque la pente du sol devient très faible, comme c'est le cas pour les énormes talus d'éboulis de la Perse.

Il cherche à expliquer leur progression en avant en se basant sur les observations faites par M. Garwood au Spitzberg (cf. *op. cit.*). Celui-ci suppose que c'est grâce aux couches de neige qui, chaque hiver, recouvrent les amas en pente que la descente des matériaux, au loin, est rendue possible par glissement. Je pense que si cette explication peut être juste, dans certains cas, et avec une pente encore suffisante pour expliquer le glissement et, bien entendu, lorsque la surface de la neige est complètement lisse et gelée, fournissant une surface de glissement bien unie, ce glissement doit être impossible lorsque la pente est faible ou que la neige molle absorbe les éboulis au lieu de les faire glisser.

Il me semble bien plus aisé d'expliquer la progression en faisant intervenir les actions si simples et d'une application si générale qu'a développées M. Davison (voir plus haut).

C'est aussi de la même façon, me paraît-il, que l'on peut expliquer la formation et le mouvement des célèbres fleuves de pierre des Falkland, ces immenses accumulations de blocs anguleux qui remplissent les vallées de ces îles et qui sont bien propres à nous donner

une haute idée de l'ampleur de la formation de certaines brèches. La description de ces fleuves de pierre a été donnée par Wyville Thomson ⁽¹⁾. D'après sa description, les blocs anguleux de ces fleuves sont enveloppés de matière végétale, mousse ou lichen, et l'eau circule entre les interstices des blocs. Il explique la progression des fleuves par l'entraînement de la pluie et par la dilatation et la contraction des végétaux suivant qu'ils sont ou non imbibés d'eau. Si on réfléchit que la pente n'est que de 2 à 6 degrés, on se rendra compte que les facteurs invoqués sont bien incapables de produire le mouvement qu'on leur attribue. Comme les îles Falkland ont un climat froid et très humide, il me semble, encore une fois, bien plus aisé d'attribuer le mouvement à l'action de la pente, du froid et de l'eau. Précisément la forte proportion d'eau contenue entre les blocs et qu'explique le grand pouvoir absorbant des mousses et des lichens, me paraît compenser la faiblesse de la pente et permet de concevoir la possibilité de la marche en avant de ces fleuves.

Nous nous sommes étendu un peu longuement sur les phénomènes produits par l'action du froid et de l'eau sur les roches, non seulement à cause de la grande importance pratique des actions produites, mais parce que bien souvent ces actions ont été méconnues. On a souvent attribué à l'énergie des eaux courantes et qualifié d'alluvions torrentielles, des entraînements de sédiments dus en réalité à l'action des variations de température.

Nous aurions pu nous étendre davantage sur les phénomènes dus à ces variations, mais nous croyons en avoir assez dit pour montrer que, si ces phénomènes ne sont pas les plus importants de la dynamique externe du globe, ils ne sont nullement négligeables ni dépourvus d'intérêt.

Discussion.

M. A. RUTOT, à propos du chapitre du travail de M. Stainier intitulé *Action du froid et de l'eau sur les sols meubles peu inclinés*, rappelle qu'il a fait à ce sujet des observations intéressantes dont il a parlé à diverses reprises.

C'est sur les versants à pente douce des collines des Flandres,

⁽¹⁾ WYVILLE THOMSON, *Voyage of the Challenger*. (ATLANTIC, t. II, p. 245.) — Voyez aussi : RENARD, *Notice sur quelques roches des fleuves de pierre aux îles Falkland*. (BULL. ACAD. ROY. DE BELGIQUE, 1885.)

notamment, que l'on peut voir des actions de glissements superficiels entraînant des dispositions très curieuses et surtout des contournements rappelant, en miniature, les grands plissements tectoniques, surtout lorsqu'un lit de cailloux roulés de la base d'une couche quaternaire est pris dans les contournements.

Un chemin creux situé sur la pente Nord de la colline de Staden est intéressant à cet égard, et la coupe en a été donnée dans les notes de voyage accompagnant la planchette de Staden conservées au Service géologique.

M. Rutot a eu l'occasion de montrer les mêmes contournements à Erith (vallée de la Tamise), lors de l'excursion de la Société en Angleterre, en 1898, et il a expliqué de même le mélange des couches à industries de la fin du Quaternaire et des premiers temps de l'époque moderne, rencontrées par le prince Poutiatine dans son beau gisement de Bologoïe.

D'après M. Rutot, le contournement des couches superficielles se produit à la fin de l'hiver, lors du dégel.

Pendant les forts hivers, sous l'influence des gelées sans neige, le sol gèle parfois jusque 1 mètre de profondeur. Sur ce sol gelé peuvent ensuite s'accumuler des neiges.

Lors du dégel, la neige en fondant mouille le sol sous-jacent, qui se dégèle à son tour et devient très fluide.

Alors, sous son propre poids, la partie fluide se met à glisser sur la partie restée gelée et dure, et les petites résistances qui se produisent çà et là font que le glissement ne s'effectue pas de manière homogène.

Si, comme cela se produit dans la Flandre occidentale, un lit de cailloux roulés se trouve dans la couche liquéfiée, les glissements avec contournements apparaissent avec netteté, et l'on voit le lit caillouteux, primitivement à peu près parallèle au sol, prendre des allures en plis plus ou moins couchés, parfois étirés, ce qui donne naissance aux dispositions les plus bizarres.

A Staden, le phénomène prend naissance au contact d'une couche de limon sableux, avec cailloux roulés de silex à la base, recouvrant du Panisélien argileux.

Prof. HANS POHLIG. — **Bovidés fossiles de l'Italie.** (Fig. 1-4.)

Les Bovidés fossiles de l'Italie nous fournissent des renseignements d'un intérêt scientifique général, dont nous donnons ici un aperçu provisoire, et que nous ferons figurer plus tard dans une étude d'ensemble sur les Bovidés fossiles. En vue de réunir les matériaux de celle-ci, nous avons visité toutes les collections paléontologiques publiques de l'Italie, et nous les avons complétés ensuite par l'acquisition de nouvelles pièces. D'un autre côté, les résultats obtenus ont été vérifiés par des études répétées dans un grand nombre de Musées d'autres pays.

1. *Bos (primigenius) Italiae* Pohlig.

Cette race naturelle présente, avec *Bos primigenius* de notre côté des Alpes, désigné plus spécialement comme *Bos (Taurus) primigenii* (Boj.), la même relation que celle qui existe entre la race méditerranéenne récente, aux cornes très développées, et la race actuelle cisalpine, dont les cornes sont plus réduites. Nous croyons pouvoir fournir la preuve que, déjà à l'époque glaciaire et pendant les stades interglaciaires, il existait parmi les Bovidés vivant encore à l'état sauvage, une différence analogue à celle que nous pouvons encore constater aujourd'hui entre les races domestiquées de l'Europe centrale et celles des régions situées plus au Sud, et c'est sur l'importance de cette distinction que nous nous permettons d'attirer l'attention des savants.

Nos études sont basées sur des matériaux très abondants provenant, en grande partie, des couches interglaciaires du Val de Chiana, un affluent de l'Arno en amont de Florence, où l'on rencontre également *Elephas antiquus*, au voisinage d'Arezzo et dans la vallée du Tibre, aux environs de Rome. Les ossements se rencontrent dans un excellent état de conservation dans les argiles fluvio-lacustres du Val de Chiana, et consistent surtout en un grand nombre de paires de cornes encore

réunies entre elles, tandis que, dans la région de Rome, on a trouvé les crânes le plus souvent séparés des cornes, et il a fallu chercher à les classer ensemble.

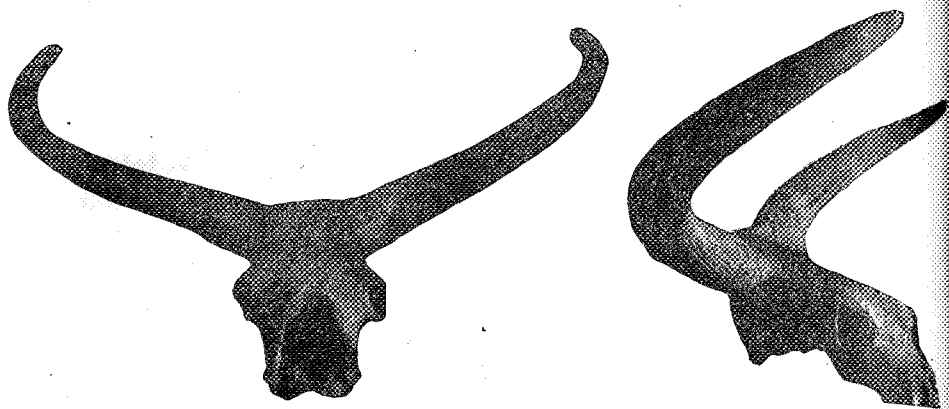


Fig. 1. — BOS PRIMIGENIUS ITALIAE.

Original venant de Rome actuellement à Bonn (vue frontale).

Les figures 1 et 1a reproduisent un crâne de la vallée du Tibre, vu de face et de côté. On peut constater que l'écartement et l'incurvation des axes osseux des cornes se présentent comme chez *Bos primigenius* de nos contrées; cependant la forme paraît plus élancée, malgré que leur périphérie maxima mesure 41 centimètres. Cela provient de la longueur considérable des cornes, qui présentent un écartement de 1^m21. On a même trouvé à Arezzo, Rome et Florence des crânes encore plus considérables, qui présentaient un écartement des cornes de 1^m30, avec une périphérie maxima de 46 centimètres, une longueur de chaque corne en ligne droite de 63 centimètres et 80 centimètres le long de la courbe externe. Les étuis cornés de ces Bovidés géants présentaient donc une courbe de beaucoup plus de 1 mètre de longueur et une capacité d'environ 5 litres. Les anciens Germains auraient crevé de jalousie s'ils avaient pu se douter que le *Pithecanthropus* interglaciaire des régions méditerranéennes avait à sa disposition une coupe aussi colossale.

Ces mesures dépassent notablement celles fournies par les crânes de Sanga et par les individus de race hongroise dont nous avons observé à Poppelsdorf un spécimen à cornes très élancées et peu courbées (périphérie maxima 30 centimètres) dont l'écartement mesurait 1^m83; c'est du reste de cette race hongroise que descend la race sud-européenne actuelle. Il convient de rappeler que pour les Bovidés d'Italie,

l'écartement mesuré n'indique pas complètement la longueur des cornes, puisque les pointes de celles-ci étaient toujours tournées vers l'intérieur. Chez *Bos primigenius*, par contre, on peut, comme le montre la figure 2, déterminer l'écartement des cornes par la distance qui sépare les pointes. De même chez les races récentes, telle la race hongroise, les cornes sont si peu recourbées que leur longueur correspond presque complètement avec la longueur de leur courbe.

Outre la courbure plus ou moins prononcée des cornes, on peut encore constater d'autres variations individuelles de l'os frontal chez *Bos Italiae* aussi bien que chez *Bos primigenius typus* de nos régions. Pour des cornes fortes et âgées, mesurant une périphérie maxima de 40 à 50 centimètres, la section de la base n'est pas circulaire, elle se présente parfois comme un ovale de 3×4 . Cette observation est faite depuis longtemps pour *Bison* et a donné lieu à la création d'une nouvelle espèce. On a constitué un troisième type de variation dans lequel les pointes sont dirigées en avant ou en arrière, et paraissent se retourner. La direction peut même présenter une certaine asymétrie pour les deux cornes d'un même individu, et des cas très caractérisés se rencontrent spécialement chez les races domestiques, grâce aux conditions particulières dans lesquelles elles se développent. Malgré que ces conditions n'aient pu exister pour les races vivant à l'état sauvage, on peut parfois constater chez elles l'asymétrie des cornes; je possède un crâne de *Bos Italiae*, de conservation parfaite, qui présente une dentition très complète et dont la pointe de la corne gauche se trouve à 10 centimètres plus bas que celle de droite.

Les variations sexuelles se manifestent chez les Bovidés, de même que chez les autres animaux à armature frontale, par le développement plus ou moins prononcé de celle-ci. C'est avec raison que Rüttimeyer a admis que chez *Bison priscus* les femelles présentaient des axes osseux des cornes plus minces (et d'après moi plus longs seulement en apparence) que les mâles aux cornes plus massives, et de nouveau on a profité de cette différence pour créer une espèce nouvelle.

Mais pour *Bos Italiae*, la différence entre les deux sexes se présente en sens contraire. Les cornes puissantes représentées par les figures 1 et 1a, donnant, mesurées en longueur, 1^m50 et présentant à peu près le même écartement, avec une périphérie maxima de près d'un demi-mètre, ne peuvent provenir que d'un sujet mâle. On a, par contre, rencontré en Italie des crânes d'animaux âgés dont les dimensions se rapprochent de celles de notre espèce cisalpine *Bos primigenius typus* ♂ présentant des cornes dont l'écartement maximum atteint à

peine 1 mètre, mais dont la périphérie mesure 40 centimètres et au delà. Ces cornes, qui, par suite de leurs proportions, paraissent moins élancées, plus massives, proviennent de sujets femelles de *Bos Italiae*. Je possède un crâne, originaire du Val de Chiana, où l'écartement des axes osseux est de 92 centimètres et la périphérie, 38 centimètres, tandis que l'usure de la dentition indique un animal âgé. La courbure se présente tout à fait comme celle des sujets mâles.

Le *Bos primigenius* cisalpin, le seul jusqu'ici mentionné dans la littérature géologique et considéré par conséquent comme type, se distingue de la race *Bos Italiae* par les caractères se rapportant aux sujets mâles : 1° les dimensions; l'écartement maximal est de 1 mètre, tandis que *Bos Italiae* atteint 1^m30; 2° la forme plus massive des cornes, indiquée par la différence de proportion entre l'écartement maximum et la plus grande périphérie maximale des axes osseux, 43 centimètres pour *Bos primigenius* cisalpin et 46 centimètres pour *Bos Italiae*; 3° la variation *Trochoceros*, où la courbure des cornes forme un cercle presque complet, constitue une exception chez notre *Bos primigenius*, tandis qu'elle est la règle chez *Bos Italiae*. Les deux races se distinguent encore plus par les longueurs maximales des axes osseux que par l'écartement des deux cornes; 4° les dimensions gigantesques du crâne correspondent chez *Bos Italiae* à celles du reste du corps, de sorte que l'aspect extérieur de l'animal des contrées méridionales différerait complètement de la race cisalpine *Bos primigenius*, même si on ne tient pas compte de la coloration et de l'abondance des poils, caractères qui devaient certainement différer, mais qu'il n'est plus possible de constater; 5° une étude plus minutieuse de la dentition fournira sans aucun doute d'autres caractères distinctifs, malgré le peu de différences que les Bovidés présentent généralement sous ce rapport. Il semble que l'épaisseur de l'émail dentaire est un peu plus considérable chez les formes méridionales comme *Bos Italiae*; 6° enfin, la différence de l'âge géologique entre les deux races constitue un caractère encore plus important que leur distribution géographique. Les espèces fossiles qui accompagnent en Italie *Bos Italiae* permettent de rattacher le gisement au dernier stade interglaciaire. Dans les argiles fluvio-lacustres du Val de Chiana, *Bos Italiae* se rencontre, comme je l'ai montré dans une monographie antérieure, avec *Cervus euryceros Italiae*, *Bison priscus*, *Cervus elaphus antiqui* et *Elephas antiquus*; dans la vallée du Tibre, à Rome, avec les trois dernières formes et, en outre, avec *Elephas antiquus Melitæ*, *Rhinoceros Etruscus Merckii*, *Equus caballus antiqui*, *Equus hemionus* et des Carnivores, tels que le Lion, la Panthère,

le Lynx, l'Hyène striée, *Ursus arctos antiqui*. Le Rhinocéros de Rome n'a pas les proportions gigantesques de celui de Taubach; on sait du reste les grandes variations présentées par cette espèce pendant le Quaternaire, indépendamment de celles qui se rapportent au sexe, de sorte qu'il est difficile de distinguer des différences d'âge géologique, et qu'il n'est pas permis, par conséquent, d'établir une distinction entre la race de *Rhinoceros Merckii* et le type *Rhinoceros Etruscus* au point de vue géologique.

Après un examen attentif, on arrive finalement à la conclusion que le *Bos primigenius typus* cisalpin est d'âge postglaciaire et qu'il appartient, ainsi que *Cervus euryceros Hiberniæ*, à la faune des tourbières. J'ai eu sous les yeux tout le matériel recueilli en Allemagne aussi bien que celui de l'étranger, et je n'ai pu constater que des gisements post-glaciaires, du moins là où les indications géologiques étaient suffisantes. C'est dans la tourbe que l'on a fait les meilleures découvertes, tels les magnifiques squelettes de Berlin au Musée de la *Landwirthschaftliche Akademie*, au Musée de Brunswick et à la collection du *Gymnasium* de Düsseldorf. D'autres fossiles ont été trouvés dans le loess post-glaciaire des vallées (Lund), dans les tufs calcaires, etc., et même dans le lit des rivières actuelles. Il m'a même été possible de reconnaître comme erronées des indications relatives à l'âge des gisements; ce fut entre autres le cas pour les cornes qui se trouvent au *Bonner Naturhistorischer Vereins Museum*. Elles représentent un des plus grands exemplaires connus de *Bos primigenius* cisalpin, avec un écartement de 1 mètre et une périphérie maximale de 43 centimètres. Le donateur de cette pièce m'a déclaré lui-même qu'elle fut recueillie, près de la Severinsthor à Cologne, dans une briqueterie creusée dans le loess post-glaciaire de la vallée. Cependant l'étiquette du Musée indique comme localité du gisement la ville de Trèves, près de laquelle est situé le célèbre gîte de loess glaciaire de Wellen.

Les indications de gisements de *Bos primigenius* cisalpin, aussi bien dans les couches glaciaires que dans celles des stades interglaciaires, semblent erronées, soit que les indications aient été inexactes, soit qu'il y ait eu confusion avec des axes osseux de cornes de *Bison*. L'appareil frontal de *Bos* se rencontre beaucoup plus rarement à l'état intact, parce que l'étroitesse de l'os frontal et la longueur des cornes rendent la fracture plus facile. C'est ainsi que dans notre pays on ne rencontre de spécimens satisfaisants que dans les tourbières. Celui de Bonn fut retrouvé intact, mais il a été cassé en deux pièces par les ouvriers.

De ce qui précède il semble résulter que *Bos primigenius typus* cisalpin représente la race la plus récente, et il faut considérer *Bos primigenius Italiae* comme la forme ancestrale; la race septentrionale constituerait le premier stade de dégénérescence, provenant d'une alimentation plus rare et de conditions climatiques mauvaises. Comme deuxième stade, nous voyons apparaître les animaux chez lesquels l'influence d'une alimentation insuffisante se combine avec celle de la difficulté des déplacements pour la recherche de pâturages (races des montagnes). Cependant nos races domestiquées à appareil frontal très développé, de même que les races actuelles du Sud de l'Europe, paraissent, du moins sous le rapport du développement des cornes, ne pas tant s'éloigner de la forme ancestrale.

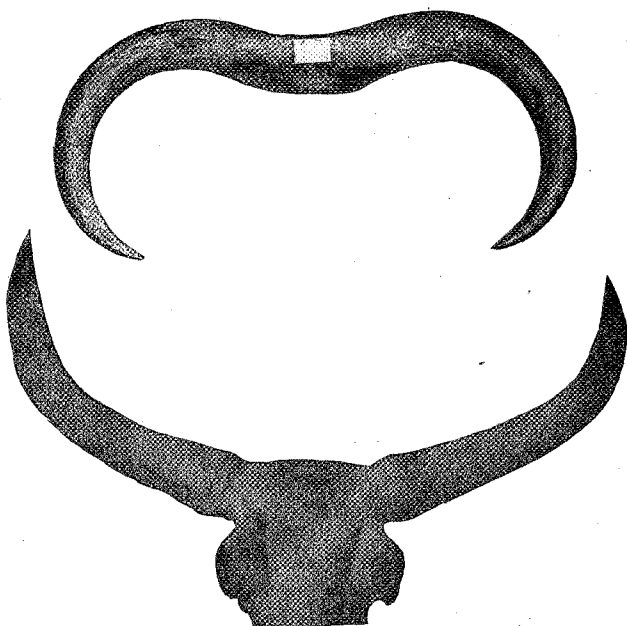


Fig. 2. — BOS (PRIMIGENIUS) SICILIAE Pohlig.

En bas *Bos primigenius typus* (frontal), Düsseldorf.
En haut *Bos Siciliae*, Hildesheim (vu d'en haut).

J'ai développé dans ma monographie (1) : « Une caverne à *Elephas* en Sicile », les conditions auxquelles fut soumise une grande partie de la faune mammifère interglaciaire dans le bassin de la Méditerranée,

(1) Abhandl. Akadem. München, II^e cl., vol. 18, sect. 1.

abandonné par la mer à cette époque. Le retour de celle-ci a provoqué l'isolement de groupes d'animaux sur des îles plus ou moins considérables. La dégénérescence survenue grâce aux conditions de vie insulaire, a varié d'après la grandeur des îles pour les différentes espèces d'animaux; elle fut due aussi à un croisement non suffisamment varié. C'est à ces mêmes conditions qu'il faut attribuer la formation des poneys insulaires du Nord de l'Europe, des races sauvages de moutons et de chèvres, propres aux îles méditerranéennes, de même que des éléphants et des rhinocéros des îles de la Sonde.

Mes recherches dans la caverne de Carini ont fait connaître plusieurs de ces races diminutives des îles méditerranéennes : *Elephas Melitæ*, *Hippopotamus Pentlandi*, *Cervus elaphus Siciliae*, *C. Euryceros Siciliae*, *Bison Siciliae*, ainsi qu'une forme naine de *Bos Italiae*, la race insulaire très intéressante de *Bos primigenius Siciliae*, Pohlig (fig. 2 B). La figure montre que celle-ci se présente vis-à-vis de *Bos Italiae* comme ce dernier vis-à-vis de *Bos primigenius* cisalpin; les axes osseux sont les plus allongés et grâces pour la race *Bos Siciliae*. L'exemplaire de Hildesheim qui figure à côté, et auquel correspond l'appareil frontal de Palerme, ne mesure que 35 1/2 centimètres de périphérie maxima, pour un écartement de 107 centimètres, alors que les mesures correspondantes pour *Bos Italiae* de Rome sont 121 et 41 centimètres; et 150 et 46 centimètres pour celui d'Arezzo, et pour celui de Bonn, 100 et 43 centimètres.

Les cornes de *Bos Siciliae* se caractérisent donc par leur peu d'épaisseur relativement à leur longueur, alors que les dimensions de l'animal, relativement à *Bos Italiae*, n'ont pas subi de réduction plus marquée que le stade Mnaidra, d'après L. Adams, de *Elephas Melitæ* par rapport à *Elephas antiquus typus*. Mais les dimensions des cornes adultes trouvées en Sicile et représentées dans la figure 2 correspondent clairement à un stade diminutif de l'espèce.

3. *Bos (Taurus) Mastodontis* Pohlig.

Le fragment de crâne représenté par la figure 3 fut acquis par Suess, pour le Musée géologique de l'Université de Vienne, et provient de la collection de l'avocat Cantamessa, de Turin, qui l'a recueilli dans les dépôts littoraux pliocènes d'Asti, avec des molaires caractéristiques de *Elephas meridionalis* qui se trouvent actuellement dans les musées de Halle et de Berlin.

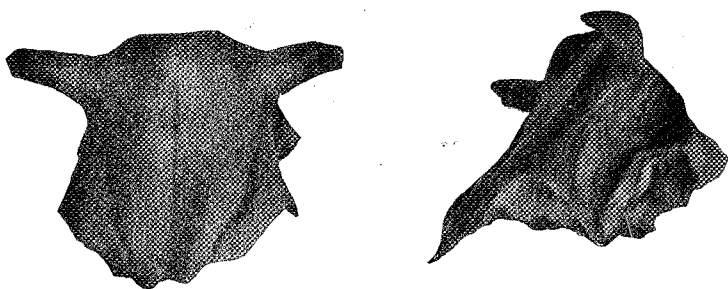


Fig. 3.

Bos (Taurus) Mastodontis, Vienne, Pliocène d'Asti (vu de front et de côté).

La grande ressemblance de ce crâne avec celui de nos races récentes à appareil frontal développé, aurait pu susciter l'idée d'une pénétration posthume dans l'argile pliocène, si l'état de conservation de la pièce n'avait complètement répondu à l'aspect si caractéristique des ossements pliocènes italiens, au triple point de vue du poids spécifique élevé, de l'aspect solide et compact, et de la coloration spéciale, propriétés qui furent d'ailleurs confirmées par l'analyse chimique. On a même retrouvé, après avoir enlevé au marteau une partie de l'os, l'argile grise pliocène d'Asti qui remplissait les petites cavités. Il ne peut donc y avoir aucun doute sur l'âge pliocène du fossile en question et de son gisement commun avec *Elephas meridionalis* et *Mastodon arvernensis*. Il est clair que les formes ancestrales qui ont donné naissance aux races géantes des derniers temps interglaciaires doivent présenter une constitution semblable aux descendants actuels de celles-ci, dégénérés par la domestication, puisque toutes les grandes formes dérivent de formes anciennes plus petites. Mais en présence du

Bos Mastodontis ⁽¹⁾ à petites cornes, on peut se demander si les deux espèces dont l'habitat se trouve séparé par les Alpes, ne descendent pas également de l'espèce pliocène comme l'espèce récente. Il n'en est pas moins intéressant de constater que la race ancestrale se rencontre avec la race actuelle pour ce qui regarde la disposition de l'appareil frontal. La découverte des fossiles d'Asti détruit l'hypothèse de Dürst, qui fait dériver *Bos primigenius* de formes du Pliocène indien : *Bos planifrons*; on pourrait cependant admettre *Bos Mastodontis* comme l'ancêtre commun, duquel proviendrait également *Bos planifrons* du Tertiaire de l'Inde. Comme point de départ des races *Brachyceroïdes*, il me semble qu'il faut s'adresser à *Leptobos* ⁽¹⁾.

4. *Bison (priscus) Siciliae* Pohlig.

Dans le petit livre : *L'époque glaciaire et la Préhistoire* ⁽²⁾, j'ai insisté sur l'extension considérable, tant au point de vue géologique que géographique, de *Bison priscus*, extension qui ne fut atteinte par aucun autre mammifère, et qui contraste tout spécialement avec la distribution beaucoup plus réduite des autres espèces de Bovidés. Ce qui nous surprend, c'est de constater combien *Bison priscus* présente peu de variation, et combien peu il a produit de variétés malgré sa grande extension dans le temps et dans l'espace. Il est vrai que les fabriques d'espèces zoologiques en Amérique nous en offrent des cartes d'échantillons variés; rien que pour les États-Unis et Alaska, on nous cite : *B. Alleni*, *B. antiquus*, *B. latifrons*, *B. ferox*, *B. crassicornis*, *B. occidentalis*; ce sont là, non des espèces, ni même des variétés, mais des exemples de différences individuelles se rapportant surtout à l'âge ou au sexe, représentées en outre par des crânes dont les cornes sont parfois conservées grâce à l'état de congélation du sol où on les a trouvées.

De même les Bisons méridionaux des différentes couches du Sud de l'Europe, qui sont très fréquents dans les musées de l'Italie, ne peuvent se différencier entre eux. Il faut toutefois faire exception pour les

(1) La firme Dr Krantz de Bonn expose des modèles en gypse de *Bos Mastodontis* sous le nom de *Bos brachyceroïdes* (Pohlig); et aussi des reproductions de *Bison priscus Siciliae* (Pohlig).

(2) *Eiszeit und Urgeschichte*, 2^{te} Aufl. Leipzig. Quelle und Meyer, 1914.

ossiles que nous appelons méditerranéens insulaires. Je les ai réunis avec les deux races dégénérées *Bison priscus Europae* et *Bison priscus Americae* sous le nom de *Bison priscus Siciliae*, et elles constituent les seules variétés de *Bison* justifiées par des caractères spéciaux.

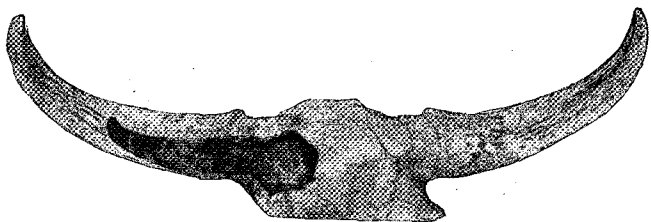


Fig. 4. — BISON (PRISCUS) SICILIAE Pohlig, du Val de Chiana.
Dessiné à gauche sur *Bison Siciliae* (Bonn), tous deux à la même échelle.

La figure 4 représente un *Bison priscus* du Val de Chiana qui se trouve en ma possession. Sur la corne gauche, de dimension moyenne, j'ai figuré un axe osseux d'un vieux *Bison Siciliae*, que j'ai moi-même extrait du sol. On peut constater que la race insulaire présente une largeur de corne des deux tiers de celle de la corne de la race continentale, de sorte que la réduction est relativement plus considérable que celle de *Bos Siciliae*.

Discussion.

D^r C. VAN DE WIELE. — On ne peut que se rallier à ce que dit M. Pohlig au sujet de la formation des races naines insulaires. Il se peut même que la race naine *Bos Taurus Mastodontis* du Musée de Vienne, recueillie dans le Pliocène d'Asti, fut une race insulaire, puisqu'elle a été trouvée dans une formation littorale. Mais il y a eu des races naines non insulaires, et l'auteur semble l'admettre, puisqu'il parle des races de montagne et des races de tourbières (*Terpen Vich*) de Nehring. C'est ainsi qu'on rencontre au Musée de Bruxelles des formes naines non seulement de *Bos primigenius*, mais aussi, soit dit en passant, une forme naine d'un *Elephas* indiqué comme *antiquus*, qui a été recueilli dans le Quaternaire préglaciaire près d'Anvers, avec *Rhinoceros Merckii*, et qu'il n'y a pas lieu de considérer comme insulaire. Quant aux spécimens de *Bos primigenius*, il y en a de différentes tailles. Les uns répondent aux dimensions des spécimens de

Hildesheim et de Düsseldorf qui se trouvent reproduits dans le mémoire ; d'autres sont des formes naines, mais qu'il n'y a pas lieu de rattacher aux formes naines de la Sicile, d'abord parce qu'elles ne sont pas insulaires, ayant été trouvées en partie dans les cavernes de la province de Namur, ce qui permet de douter de l'âge exclusivement post-glaciaire que M. Pohlig attribue au *Bos primigenius* cisalpin. Les conclusions de M. Dupont, qui figurent à côté des spécimens, sont : « que deux races d'Urus distinctes seulement par la taille ont existé en Belgique pendant l'ère quaternaire jusqu'à ce que l'homme les eût fait disparaître ». Il ne s'agit pas non plus dans ce cas de bœufs de tourbières, races déjà domestiquées, qui ont été signalées par Nehring. Du reste, d'autres exemplaires de formes naines se rencontrent dans d'autres parties de l'Europe, tel celui signalé par le Prof^r Adamets, à Krzeszowice près de Cracovie, et ceux qui existent au Musée de Stuttgart, dont M. V. d. Malsburg donne la photographie avec ceux du Musée de Bruxelles dans le *Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie*, mai 1911.

Comme conclusion, nous ajouterons qu'il nous semble que l'étude des Bovidés fossiles ferait des progrès plus rapides si chaque gisement était étudié avec soin, de façon à donner des renseignements aussi exacts que possible sur l'âge des couches quaternaires dans lesquelles on a trouvé les fossiles, et nous devons à ce sujet citer comme exemple les fossiles du Musée de Bruxelles, où les plus récents d'entre eux sont accompagnés d'une planche avec section explicative du gisement du fossile, et qui fixe ainsi d'une façon définitive la situation et l'âge de celui-ci.

M. RUTOT croit d'abord utile de faire remarquer l'abus que l'on fait souvent des termes « préglaciaire » et « interglaciaire » sans autre désignation, comme s'il n'existait en réalité qu'un seul interglaciaire, alors qu'il y en a trois.

Le plus souvent, l'interglaciaire des auteurs allemands est le deuxième, c'est-à-dire l'interglaciaire Mindel-Riss et le préglaciaire est l'interglaciaire Guenz-Mindel.

Pour ce qui concerne la formation insulaire des formes naines, sans mettre l'idée en doute, M. Rutot croit qu'elle ne suffit pas à expliquer tous les cas.

C'est ainsi que, en Belgique, pendant le Quaternaire et sans qu'on puisse faire intervenir des îles, il a existé, vivant côte à côte, des races de chevaux et de bœufs, les unes naines, les autres de taille normale,

dans lesquelles il serait difficile de distinguer des espèces différentes.

Enfin, quant au petit Éléphant du Musée d'Histoire naturelle de Bruxelles, déterminé *Elephas antiquus*, il ne paraît pas du tout certain qu'il constitue une forme naine de l'énorme *Elephas antiquus* français, attendu que M. le Dr Pohlig lui-même le détermine comme *Elephas trogontheri*. Le petit Éléphant d'Hoboken, trouvé dans le Quaternaire inférieur ou Moséen (Interglaciaire Mindel-Riss), a simplement des dents qui ressemblent à celles de l'*Elephas antiquus*, mais là s'arrête, paraît-il, la ressemblance.

M. Rutot ajoute que toutes ces questions de fine détermination des animaux quaternaires de la Belgique n'ont pas encore été poussées au point désirable.

Une bonne revision, faite par un spécialiste, serait d'une grande utilité.

La séance est levée à 10 h. 40.
