

SÉANCE MENSUELLE DU 21 FÉVRIER 1905.

Présidence de M. Ad. Kemna, président.

La séance est ouverte à 8 heures 35. (41 membres présents.)

Correspondance :

MM. de Busschere et Lameere remercient, le premier de sa nomination de membre du Comité de vérification des comptes, le second de son admission en qualité de membre effectif de la Société.

Le Comité d'organisation du Congrès international des Mines, de la Métallurgie, de la Mécanique et de la Géologie appliquées, qui se tiendra à Liège en 1905, a fait parvenir l'ordre du jour provisoire de la Section de Géologie appliquée, que nous reproduisons ci-dessous :

1. La répartition du terrain houiller en Belgique et ses relations avec les gisements voisins. — Rapport par M. MAX LOHEST, professeur de géologie à l'Université de Liège.
2. La tectonique du bassin houiller du Nord de la France, par CHARLES BARROIS, professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
3. État actuel de nos connaissances sur la structure du bassin houiller de Charleroi et, notamment, du lambeau de poussée de la Tombe, par J. SNEYSTERS, ingénieur en chef directeur des mines, à Charleroi.
4. La tectonique du bassin houiller de Liège, par AD. FIRKET, inspecteur général des mines à Liège, et O. LENOUBLE, ingénieur principal au Corps des mines à Liège.
5. La limite Sud du bassin houiller de Liège, par P. FOURMARIER, ingénieur-géologue, assistant à l'Université de Liège.
6. Ueber die Flözstörungen unter Berücksichtigung jener bei Aachen, par M. HANS HÖFER, professeur de géologie à l'École des mines de Leoben.
7. Conditions de gisement de la houille en Campine, dans le Limbourg néerlandais et dans la région allemande avoisinante, par M. HENRI FORIR, ingénieur, répétiteur du cours de géologie à l'Université de Liège.
8. Le prolongement du bassin de Sarrebrück en France, par M. FRANÇOIS VILLAIN, ingénieur au Corps des mines à Nancy.
9. Le nouveau bassin houiller de la Lorraine française, par M. FRANCIS LAUR, ingénieur civil des mines, administrateur délégué de la Société anonyme des Publications scientifiques et industrielles, à Paris.

10. Les terrains traversés par la galerie de la mer, par M. H. DOMAGE, directeur de la Société Nouvelle de Charbonnages des Bouches-du-Rhône.

11. Les applications de la Paléontologie à la Géologie appliquée. — Rapport par M. A. RENIER, ingénieur-géologue, ingénieur au Corps des mines, à Mons.

12. La genèse de la houille, par M. H. POTONIE, géologue à Berlin.

13. La faune siluro-cambrienne des terrains qui recouvrent le bord méridional des bassins houillers du Pas-de-Calais, par M. CHARLES BARROIS, professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

14. Les gîtes de phosphate de chaux en Hesbaye, par M. MAX LOHEST, professeur de géologie à l'Université de Liège. (Communication préparatoire à l'excursion en Hesbaye.)

15. Les bauxites dans le monde, par M. FRANCIS LAUR, ingénieur civil, administrateur délégué de la Société anonyme des Publications scientifiques et industrielles, à Paris.

16. Recherches sur l'influence du relief et de la structure du sol sur les éléments du magnétisme, par M. DEHALU, répétiteur à l'Université de Liège.

17. Les gîtes métallifères de la Belgique. — Rapport par M. GEORGES LESPINEUX, ingénieur-géologue, à Huy.

18. Les gisements métallifères de la région de Moresnet, par M. CHARLES TIMMERMANS, directeur des établissements de la Vieille-Montagne, à Calamine (Moresnet).

19. Notes sur la genèse des gîtes métallifères et des roches éruptives, par M. PAUL-F. CHALON, ingénieur-conseil, à Paris.

20. Les échanges d'eau entre le sol et l'atmosphère. La circulation de l'eau dans le sol. Exposé de nos connaissances actuelles et des recherches à entreprendre. — Rapport par M. RENÉ D'ANDRIMONT, ingénieur-géologue, à Liège.

21. Quelques observations et recherches concernant les eaux souterraines de la Hollande, par M. EUC. DUBOIS, professeur de géologie et de paléontologie à l'Université d'Amsterdam.

22. Les nappes aquifères du Quaternaire de l'Allemagne et leur exploration scientifique et pratique, par M. K. KEILHACK, géologue en chef et professeur à l'École des mines, à Berlin.

23. Étude expérimentale sur l'alimentation des nappes aquifères surmontées par des terrains perméables en petit, par M. RENÉ D'ANDRIMONT, ingénieur-géologue, à Liège.

M. le *Secrétaire général* fait part à l'assemblée de la nomination de M. E.-A. Martel en qualité de rédacteur en chef du journal *La Nature*. M. Martel paraît assez disposé à accepter de nos collègues pour cette revue scientifique des articles traitant de sujets nouveaux ou intéressants, pouvant, au besoin, être accompagnés de clichés.

MM. Cossmann et G. Pissarro viennent de faire paraître la première livraison de *l'Iconographie complète des coquilles fossiles de l'Éocène des environs de Paris*. Cette livraison, de 16 planches, ou représentation de 450 espèces par 1064 figures, se vend 20 francs; les autres seront mises en vente successivement à raison de 1 franc par planche. L'ouvrage complet comprendra 5 fascicules. Pour tous renseignements, s'adresser à M. G. Pissarro, 85, avenue de Wagram, à Paris (XVII).

La Société a reçu un prospectus annonçant la mise en vente du magnifique ouvrage de M. A. Lacroix sur *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Des instances sont faites pour obtenir un exemplaire de cet ouvrage pour la bibliothèque de la Société.

Nomination d'un membre du Comité de vérification des comptes pour 1905.

Est élu à l'unanimité, M. H. LEBON, avocat, à Bruxelles.

Dons et envois reçus : 1° Périodiques nouveaux :

4572. GÖTTA. *Petermann's Mittheilungen aus Justus Perthes Geographischer Anstalt*, 1905.
4573. LONDRES. *Mineralogical Society* (The Mineralogical Magazine and Journal), 1895 à 1904.
4574. ROME. *Società geografica italiana* (Bollettino), 1897 à 1904.

2° De la part des auteurs :

4575. Agamennone, G. *L'attività del R. Osservatorio geodinamico di Rocca di Papa durante il passato anno 1902*. Leipzig, 1904. Extrait in-8° de 7 pages.
4576. Bleicher, G. *La vallée de l'Ingrassin et ses débouchés dans la vallée de la Meuse*. Paris, 1901. Extrait in-8° de 10 pages.
4577. Bleicher, G., et Beaupré, J. *Note sur l'exploitation du minerai de fer fort et oolithique en Lorraine, dans l'antiquité*. Paris, 1901. Extrait in-8° de 8 pages.
4578. Choffat, P. *Le Crétacique dans l'Arrabida et dans la contrée d'Ericéira*. (51 pages.)

- Priem, F. *Description de Coelodus anomalus n. sp.* (3 pages).
Lisbonne, 1904. Extrait in-8° (joint au précédent).
4579. de Lapparent, A. *Sur de nouvelles trouvailles géologiques au Soudan.*
Paris, 1904. Extrait in-4° de 4 pages.
4580. Grand'Eury. *Sur les graines des Névroptéridées.* Paris, 1904. Extrait
in-4° de 4 pages.
4581. Johnson, W.-D. *The profile of Maturity in Alpine glacial Erosion.*
(9 pages.)
- Gilbert, G.-K. *Systematic asymmetry of crest lines in the high Sierra of
California.* (10 pages.) Chicago, 1904. Extraits in-8°.
4582. Mojsisovics, Ed.-v. *Mitteilungen der Erdbeben-Kommission der Kai-
serlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Neue Folge.
No XXV. Allgemeiner Bericht und Chronik der im Jahre 1903
im Beobachtungsgebiete eingetretenen Erdbeben.* Vienne, 1904.
Extrait in-8° de 161 pages.
4583. Rivière, E. *Sur l'âge des squelettes humains des grottes des Baoussé-
Roussé en Italie, dites « Grottes de Menton ».* Paris, 1892. Extrait
in-8° de 12 pages.
4584. Rivière, E. *Nouvelles recherches anthropologiques et paléontologiques
dans la Dordogne.* Paris, 1894. Extrait in-8° de 4 pages.
4585. Rivière, E. *Sur plusieurs grottes quaternaires de la Dordogne et sur
quelques monuments mégalithiques de l'Orne et de la Manche.*
Paris, 1894. Extrait in-4° de 3 pages.
4586. Rivière, E. *Nouvelles recherches à Cro-Magnon.* Paris, 1897. Extrait
in-4° de 8 pages.
4587. Rivière, E. *La grotte de la Mouthe.* Paris, 1897. Extrait in-8° de
16 pages.
4588. Rivière, E. *Les gravures sur roche de la grotte de la Mouthe (Dordogne).*
Paris, 1897. Extrait in-4° de 4 pages.
4589. Rivière, E. *La lampe en grès de la grotte de la Mouthe (Dordogne).*
Paris, 1899. Extrait in-8° de 12 pages.
4590. Rivière, E. *L'abri sous roche de Morsodou, ou la Croze de Tayac
(Dordogne).* Paris, 1899. Extrait in-8° de 5 pages.
4591. Rivière, E. *La station préhistorique de la côte Sainte-Marie (Meurthe-
et-Moselle).* Paris, 1901. Extrait in-8° de 3 pages.
4592. Rivière, E. *Le polissoir de Saint-Cy-du-Bailleul et le polissoir de la
Brélaudière.* Paris, 1902. Extrait in-8° de 4 pages.
4593. Rivière, E. *Les grottes de Baoussé-Roussé.* Paris, 1902. Extrait in-8°
de 4 pages.
4594. Rivière, E. *Châtelaines en cuivre du XVIII^e siècle et bagues en plomb
du XIV^e siècle avec cœur au centre.* Paris. Extrait in-8° de 3 pages.

4595. Rivière, E. *Fossilisation et analyse chimique des os*. Paris, 1903. Extrait in-8° de 6 pages.
4596. Rivière, E. *Les haches polies des environs de Grasse (Alpes-Maritimes)*. Paris, 1903. Extrait in-8° de 2 pages.
4597. Rivière, E. *Les parures en coquillages*. Paris, 1903. Extrait in-8° de 3 pages.
4598. Rivière, E. *Découverte d'une nécropole gallo-romaine à Paris (première et deuxième note)*. Paris, 1903. Extrait in-8° de 17 pages.
4599. Rivière, E. *La lampe en pierre de Saint-Julien-Maumont (Corrèze)*. Paris, 1903. Extrait in-8° de 5 pages.
4600. Rivière, E. *Découverte d'une nécropole gallo-romaine à Paris (nouvelle note)*. Paris, 1903. Extrait in-8° de 21 pages et 27 figures.
4601. Rivière, E. *La carie dentaire aux temps préhistoriques et la grotte de l'Albaéra (Alpes-Maritimes)* (3 pages).
Les pierres à cupules (2 pages).
Les pierres dites à empreintes de pieds. Le Pas de Sainte-Geneviève et le Pas de Saint-Jean (3 pages). Paris, 1904. Extraits in-8°.
4602. Rivière, E. *Conservation des ossements humains et des os d'animaux dans les gisements préhistoriques*. Paris, 1904. Extrait in-8° de 4 pages.
4603. Rivière, E. *Les superpositions d'époques dans les mêmes lieux*. Paris, 1904. Extrait in-8° de 3 pages.
4604. Rivière, E. *Quelques observations sur les Menhirs en général* (2 pages).
Les Menhirs de la Corrèze (2 pages). Paris, 1904. Extraits in-8°.
4605. Rivière, E. *Bracelets, parures, fétiches, monnaies d'échange*. Paris, 1904. Extrait in-8° de 7 pages.
4606. Rivière, E. *La flore quaternaire des cavernes*. Paris, 1904. Extrait in-8° de 5 pages.
4607. Rudler, F.-W. *A Handbook to a collection of the Minerals of the British Islands, mostly selected from the Ludlam collection in the Museum of practical geology, Jermyn Street, London S. W.* Londres, 1904. Volume in-8° de 241 pages.
4608. Félix, Jules (Dr). *La thérapie hydro-minérale et les stations balnéaires de la Belgique*, 2^e édition. Bruxelles, 1904. Volume in-12 de 102 pages.
4609. Jonger, H.-G. *Bijdragen tot de kennis der sedimentaire zwerfsteen in Nederland. — I. De Hondsrug in de provincie Groningen*. Groningen, 1904. Volume in-8° de 91 pages.
4610. Jonger, H.-G. *Zwerfsteen van den ouderdom der oosbaltische zone G.* Groningen, 1905. Extrait in-8° de 18 pages.

Présentation et élection de nouveaux membres effectifs.

Sont élus :

MM. G. COSYNS, docteur en sciences naturelles, 260, rue Royale
Sainte-Marie, à Bruxelles ;

ADOLPHE VAN DER BECKE, 24, rue de la Pépinière, à Anvers.

Communications.

La parole est donnée à M. L. DOLLO, qui, aidé de figures au tableau noir et dans un exposé clair et méthodique, entretient l'Assemblée de son étude sur **Un nouvel opercule tympanique de « Plioplatecarpus »**.

L'Assemblée vote l'impression du travail aux *Mémoires*, avec la planche qui l'accompagne.

M. le *Président* remercie vivement M. Dollo de son intéressante communication et exprime le vœu de lui voir présenter encore une série de travaux de l'espèce, qui seront toujours écoutés avec le plus grand plaisir et qui feront grandement honneur à nos publications.

M. René d'Andrimont fait ensuite l'exposé d'un travail consacré à l'hydrologie du littoral belge et hollandais :

L'allure des nappes aquifères contenues dans les terrains perméables en petit, baignés par la mer. — Résultats des recherches faites en Hollande démontrant l'exactitude de la thèse soutenue par l'auteur en ce qui concerne le littoral belge, par RENE D'ANDRIMONT, Ingénieur-géologue, Ingénieur des Mines.

Nous avons été parmi les premiers qui s'occupèrent d'étudier rationnellement les nappes aquifères contenues dans les terrains perméables en petit avoisinant la mer, et lors de la publication de notre premier mémoire à ce sujet (1), nous n'avions pour toute base que la formule préconisée en 1887 par un Hollandais, le capitaine Badon Ghijben, et reprise dans la suite par M. Herzberg, qui avait reconnu son exactitude en ce qui concerne une nappe d'eau douce contenue dans le sous-sol de l'île de Nordeney.

(1) *Note sur l'hydrologie du littoral belge* (communication faite le 25 mai 1902 et parue la même année dans les ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE, t. XXIX, *Mém.*, p. 129).

Nous tenons donc à revendiquer la priorité de toutes les déductions et applications tirées de cette conception extrêmement simple d'une nappe d'eau douce flottant sur l'eau de mer plus dense.

Nous avons étudié complètement les relations existant entre les nappes d'eau du continent et les eaux de la mer, et nous avons communiqué à la Société géologique de Belgique et à l'Association des ingénieurs sortis de l'École de Liège les développements successifs que nous avons donnés à ce sujet en ce qui concerne le littoral belge (1). Enfin, dans un dernier travail paru en 1904, nous avons fait connaître les premières recherches expérimentales entreprises en Hollande par M. Eugène Dubois et qui confirmaient déjà en partie notre manière de voir (2). Nous avons, dès le début, trouvé un contradicteur en notre honorable collègue O. van Ertborn, lequel n'admit en aucun point nos idées et communiqua deux notices à la Société belge de Géologie (3).

Notre dernier travail, publié en 1904, basé sur les observations de M. Dubois, en Hollande, réfutait la plupart des arguments présentés par M. van Ertborn pour combattre notre thèse.

Néanmoins, notre honorable contradicteur, dans une note bibliographique parue en novembre 1904 (4) au sujet d'un très intéressant travail de M. Penninck, d'Amsterdam, et sur lequel nous reviendrons dans la suite, tout en reconnaissant le bien fondé de la plupart des points de la thèse que nous avons toujours soutenue, met encore en doute, cependant, des faits dont nous avons maintes fois fait ressortir l'évidence.

La manière de combattre nos idées est d'autant plus curieuse qu'elle invoque certaines constatations expérimentales faites par M. Penninck en Hollande, alors que, rationnellement interprétées, ces dernières démontrent d'une façon absolue l'exactitude de toutes les conclusions auxquelles nous avaient conduit nos études.

(1) *Contribution à l'étude de l'hydrologie du littoral belge* (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE, t. XXX, *Mém.*, p. 3). — *Étude hydrologique du littoral belge envisagée au point de vue de l'alimentation en eau potable* (REVUE UNIVERSELLE DES MINES, 4^e sér., t. II, 1903).

(2) *Note complémentaire à l'étude hydrologique du littoral belge* (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE, t. XXXI, 1904, *Mém.*, p. 167.)

(3) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVI, PR.-VERB., p. 517, et XVII, *MÉM.*, p. 297.

(4) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVIII, PR. VERB., p. 217.

Nous croyons donc très utile de résumer en quelques mots notre manière de voir et les objections qui nous ont été faites.

Nous parlerons ensuite des travaux et des observations sur le terrain entrepris en Hollande par MM. Eugène Dubois et I.-M.-K. Penninck, et nous montrerons comment ils confirment entièrement les conclusions que nous avons été amené à formuler.

* * *

L'argile ypresienne constitue la première assise imperméable que l'on rencontre dans le sous-sol du littoral belge. Tous les terrains qui la surmontent sont plus ou moins perméables. L'eau peut circuler librement d'une assise à l'autre. M. Dubois a, d'ailleurs, étudié en Hollande des terrains qui peuvent être assimilés, sous le rapport de la perméabilité, à ceux du sous-sol de nos Flandres. Les nombreux faits qu'il a observés démontrent (voir notre mémoire, n° 4) qu'une pression se transmet presque instantanément depuis la partie supérieure de ces nappes aquifères libres jusqu'à une profondeur de 54 mètres. Nous devons donc admettre que les terrains perméables qui constituent le fond de la mer contiennent de l'eau saumâtre, au moins jusqu'à la ligne du rivage à marée basse.

Mais quelle est la nature des eaux du sous-sol lorsque l'on s'avance vers l'intérieur des terres? La figure 1 ci-après montre clairement notre manière de voir à ce sujet. Les flèches indiquent la direction dans laquelle s'écoulent les eaux et leurs dimensions donnent une idée des vitesses relatives.

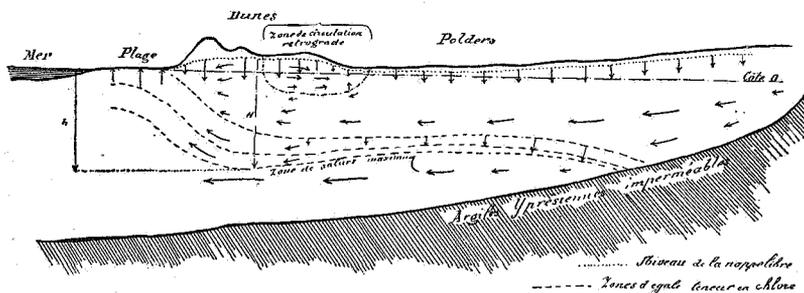


FIG. 1.

S'il ne s'infiltrait pas dans le sol de l'eau douce provenant des précipitations atmosphériques, l'eau saumâtre incluse dans le sol lors du dépôt des terrains plus récents que l'Ypresien s'y serait maintenue.

Cependant, au fur et à mesure du retrait de la mer, il est tombé de

l'eau douce à la surface du sol, et celle-ci, moins dense, a flotté sur l'eau de mer, exhaussant par le fait même le niveau de la nappe aquifère douce. La théorie des vases communicants indique qu'il faut, en effet, une épaisseur H d'eau douce, moins dense, pour faire équilibre à une épaisseur h d'eau de mer plus dense.

Peu à peu l'eau douce s'est accumulée et a refoulé l'eau de mer jusqu'à ce que l'équilibre plus ou moins stable, que nous constatons de nos jours et qui est représenté par la figure, se fût établi.

En chaque point voisin du littoral, la profondeur à laquelle l'on rencontre de l'eau salée est proportionnelle à la hauteur de la nappe d'eau douce au-dessus du niveau moyen de la mer.

Telle est la loi dans sa plus simple expression, au point de vue statique seul. La surface de séparation théorique entre les deux liquides de densité différente affecte l'allure que nous avons représentée sur la figure par la courbe inférieure.

En réalité cependant, la limite entre les eaux saumâtres et les eaux douces n'est pas aussi nette et il existe une zone de transition, dont l'épaisseur varie avec les circonstances. C'est ici que le problème se complique, car nous avons à tenir compte de la diffusion et de la circulation en divers sens des masses d'eau douce et d'eau salée.

La diffusion aura pour effet de saler les couches d'eau douce immédiatement en contact avec les eaux saumâtres sous-jacentes, et l'on serait, à première vue, tenté de croire que ce fait aura pour effet de faire remonter la zone de *salure maximum*. Il n'en est rien cependant, car il est aisé de comprendre que le liquide superposé, gagnant en densité la zone de *salure maximum*, sera refoulé plus profondément et que, d'autre part, la différence de niveau entre la nappe douce et le niveau moyen de la mer tendra à décroître. L'eau salée rongera en quelque sorte l'eau douce qui la surmonte et se substituerait ainsi à l'eau douce si celle-ci n'était sans cesse renouvelée.

Nous verrons dans la suite combien est juste cette conception, car elle explique la perte d'eau « mystérieuse » observée par M. Penninck dans les dunes hollandaises.

Voyons maintenant si les eaux douces et salées sont animées d'un mouvement de circulation et dans quel sens.

L'eau saumâtre sous-jacente doit avoir un lent mouvement de circulation vers la mer, car il n'existe pas d'autre direction pour éliminer l'eau « rongée ».

Les eaux de la zone de transition et même celles de toute une partie de la nappe d'eau douce qui les surmontent, doivent également être en

mouvement vers la mer, car l'eau qui s'infiltré dans le sol sur toute une zone littorale de 10 à 15 kilomètres de largeur ne peut trouver à s'écouler que souterrainement vers la mer, et l'absorption de l'eau douce par l'eau saumâtre se fera durant tout le trajet. Le mouvement étant de plus en plus lent, au fur et à mesure que l'on se rapproche du rivage de la mer, il est clair que la zone de diffusion aura une épaisseur maximum au voisinage immédiat de la mer.

Il est maintenant facile de comprendre comment toute cette masse d'eau continentale peut être absorbée par la mer, sans que nous puissions l'observer directement, et les sources d'eau plus ou moins saumâtres que nous verrons sourdre le long du rivage ne donneront en aucune manière une mesure exacte de toute l'eau continentale ainsi absorbée.

Au voisinage de la mer, l'eau de la nappe libre aura un mouvement ascensionnel, parce que la plage constitue le point le plus bas du pays et qu'il s'y produit un appel d'eau. De toutes ces considérations, nous avons déduit que la nappe d'eau douce des dunes belges offrait des ressources d'eau potable beaucoup plus considérables qu'on ne l'avait cru jusque-là, car :

1° Elle est dotée d'une réserve d'eau douce accumulée dans le sous-sol des dunes mêmes par le fait de la différence de densité entre l'eau douce et l'eau salée.

Cette réserve pourrait permettre pendant un temps assez considérable de capter plus d'eau qu'il ne s'en infiltre annuellement dans les dunes elles-mêmes.

2° Au fur et à mesure que cette réserve s'épuisera, l'affluence d'eau venant de l'intérieur du pays deviendra plus considérable et suppléera à celle-ci. Cette seconde conclusion s'impose, car le niveau de la nappe continentale est supérieur au niveau moyen de la mer.

Quant à la qualité de l'eau dunale, nous n'avons jamais pensé qu'elle pût être sujette à caution, alors même qu'une captation continue y attirerait de l'eau du continent. Nous avons, en effet, toujours pensé qu'une circulation à travers une épaisseur de 20 à 30 mètres de sable pur des dunes devait suffire pour rendre potable une eau quelque mauvaise qu'elle soit.

Telle est, en résumé, la thèse que nous avons toujours soutenue.

Nous en avons un peu développé certains points, à cause de l'obstination que nos contradicteurs ont mise à ne pas vouloir comprendre l'exposé que nous en avons fait précédemment.

Nous y ajoutons encore quelques détails, parce qu'ils montreront à

quel point les observations faites en Hollande confirment à tous égards nos idées :

1° La nappe d'eau douce montera et descendra avec les marées. Ce mouvement sera d'autant moins sensible qu'on s'éloignera du rivage ;

2° Si l'on épuise une quantité d'eau suffisante pour qu'il se forme dans la nappe une dépression appréciable, le cube d'eau rongé par l'eau de mer sera momentanément diminué en cet endroit, la diffusion se fera sur une épaisseur plus considérable et il se formera une protubérance dans la surface précédemment unie de l'eau saumâtre sous-jacente ;

3° Nous avons dit dans notre quatrième communication sur l'hydrologie du littoral belge, que la direction dans laquelle s'écoulait une nappe libre ne dépendait pas uniquement de sa forme extérieure et que, par conséquent, l'eau de la partie superficielle d'une nappe pouvait s'écouler, en certains endroits, dans un sens opposé à celui de l'écoulement général.

*
* * *

Nous reprendrons maintenant les diverses objections qui ont été présentées par M. van Ertborn à la suite de nos travaux et nous montrerons jusqu'à quel point les observations faites en Hollande nous ont donné raison.

I. — M. van Ertborn a prétendu que l'eau douce ne pouvait flotter sur l'eau salée. Il a été jusqu'à nier les résultats d'un calcul basé sur la théorie des vases communicants. Les calculs auxquels il s'est livré l'ont conduit à une différence insignifiante, 1^m087, entre le niveau de l'eau douce du continent et le niveau moyen de la mer (1).

Ce calcul n'est exact qu'à condition de méconnaître la loi de la pesanteur ! Il nous a suffi de quelques mots pour réfuter ces erreurs dans notre précédent travail (n° 4).

II. — Nous avons toujours prétendu que si l'on venait à rompre l'équilibre hydrostatique, en pompant de l'eau dans les dunes, un nouvel équilibre ne tarderait pas à s'établir et que, par conséquent, l'eau d'une nappe libre reposant sur une base mobile pouvait remonter par ce fait. M. van Ertborn a nié la possibilité d'un pareil phénomène

(1) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVII, 1903, MÉM., p. 299.

et il a même cru que le caractère fondamental de toute nappe libre est de ne pouvoir remonter (1).

III. — M. van Ertborn a prétendu que le cube d'eau que pourraient fournir les dunes serait tout au plus suffisant pour alimenter de toutes petites stations balnéaires.

A son avis, il manque à la nappe des dunes un bassin compensateur (2).

M. van Ertborn ne croit pas que l'eau du sous-sol de la zone littorale puisse s'écouler souterrainement vers la mer en passant par les dunes (3).

Il partage en ce point les idées de M. Penninck. Les observations de ce dernier démontrent, en effet, qu'en Hollande il existe, en profondeur, un courant d'eau saumâtre s'écoulant de la mer vers l'ancienne mer de Harlem.

M. van Ertborn en déduit qu'en Belgique il en est de même et que pas une goutte d'eau venant de l'intérieur des terres ne s'écoule souterrainement vers la mer. Nous montrerons dans la suite que le fait de l'écoulement des eaux vers la dépression que constitue la mer de Harlem démontre précisément la possibilité de l'écoulement, dans des conditions identiques, des eaux du continent vers le point le plus bas, qui se trouve être, en Belgique, la mer du Nord.

IV. — Nous avons estimé, au minimum, à 4 mètres cubes par hectare et par jour le cube d'eau absorbé par le sol sableux des dunes. Nous nous basions, pour cette estimation, sur ce fait que la perméabilité du sable des dunes était en tout cas supérieure à la perméabilité du limon hesbayan, lequel permet de compter sur un rendement de 4 mètres cubes par hectare et par jour. Quant à M. van Ertborn, il estimait le rendement de la nappe des dunes à 2 ou 3 mètres cubes (4).

V. — M. van Ertborn croit que si l'on établissait une prise d'eau quelque peu importante dans les dunes, l'eau mauvaise des polders s'y infiltrerait et contaminerait la nappe des dunes.

(1) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVII, 1903, MÉM., p. 312.

(2) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVII, 1903, MÉM., pp. 300-301.

(3) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XIX, 1904, MÉM., pp. 218-219.

(4) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVI, 1902, PR.-VERB., p. 521.

Telles sont, résumées, les objections qui ont été présentées à la thèse que nous avons toujours soutenue.

* * *

Nous allons voir maintenant comment les observations faites en Hollande nous ont donné raison. Nous répondrons, dans l'ordre établi plus haut, aux objections que l'on nous a faites.

I. — M. Penninck, dans l'important travail qu'il vient de publier à ce sujet (1), démontre, par une série d'observations très complètes et d'une façon indiscutable, que la théorie de l'eau douce flottant sur l'eau de mer est vraie.

Les chiffres donnés par la formule correspondent presque partout à la réalité. M. van Ertborn lui-même reconnaît que la théorie de l'eau mobile est vraie (2).

Comme nous l'avions toujours prédit, il existe une zone de transition, épaisse de 10 à 20 mètres, contenant des eaux mélangées saumâtres.

II. — Les observations faites le long du littoral hollandais par MM. E. Dubois (3) et Penninck montrent que la nappe libre est animée d'un mouvement ascensionnel dans les polders bas. Il se produit de même un mouvement ascensionnel de la nappe des dunes lorsque l'on y fait un appel d'eau. On voit par là à quel point M. van Ertborn faisait erreur en posant comme principe fondamental que l'eau d'une nappe libre ne pouvait remonter.

Dans son dernier travail, en 1904, M. van Ertborn admet, enfin, ce mouvement ascensionnel.

Chose étonnante, il annonce même comme une découverte de M. Penninck ce phénomène dont nous avons déjà parlé dans notre travail paru en 1902.

III. — Le fait que l'eau de la nappe libre des dunes remonte lorsque l'on y établit une prise d'eau assez importante, permet de compter sur le bassin compensateur dont nous avons révélé l'existence et dont M. van Ertborn n'a jamais voulu entendre parler.

(1) De « Prise d'eau » der Amsterdamsche duinwaterleiding (Institut royal des Ingénieurs). La Haye, 1904.

(2) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVIII, 1904, PR.-VERB., p. 221.

(3) E. DUBOIS, *Étude sur les eaux souterraines des Pays-Bas. L'eau douce du sous-sol des Dunes et des Polders* (ARCHIVES DU MUSÉE TEYLER, 1904).

Nous avons soutenu de plus que toute une zone littorale de 15 à 20 kilomètres de largeur servait, en Belgique, de bassin compensateur, et nous avons donné les arguments suivants à l'appui de notre manière de voir :

- 1° Absence presque complète de sources d'exutoires superficiels;
- 2° L'argile ypresienne est la base imperméable de la nappe libre des polders et des dunes; elle penche régulièrement vers la mer;
- 3° La mer du Nord et la plage étant les régions les plus basses, et le niveau de la nappe aquifère des polders étant supérieur au niveau moyen de la mer, l'eau doit s'écouler vers cette dépression.

Nous en avons conclu que les eaux qui s'infiltraient dans le sol de toute la zone littorale s'écoulaient souterrainement vers la mer et que, par conséquent, toute cette zone pouvait servir de bassin compensateur dans le cas où l'on établirait une captation dans les dunes.

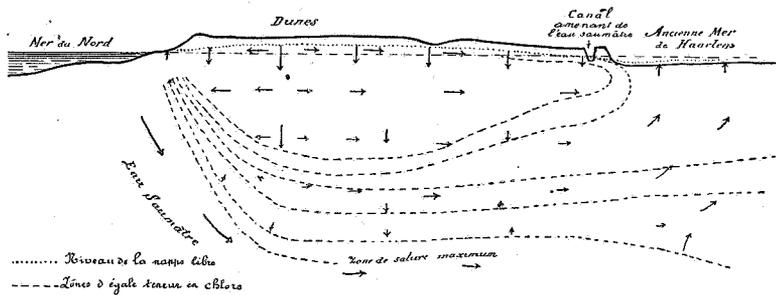


FIG. 2.

M. Penninck démontre d'une façon indiscutable qu'en Hollande également les eaux de la nappe libre se dirigent vers le point le plus bas de la région, l'ancienne mer de Harlem, qui se trouve en dessous du niveau moyen de la mer. Cette dépression joue donc exactement le même rôle que celui que nous avons prévu pour la dépression fournie par la plage et la mer du Nord en Belgique; au surplus, pour mieux faire comprendre les mouvements qui affectent ces différentes parties de la nappe libre en Hollande, nous reproduisons ci-dessus, dans les grandes lignes, la coupe établie par M. Penninck; cette coupe est basée sur les observations des niveaux de l'eau dans les puits profonds et superficiels, et sur la teneur en chlore des différentes parties de la nappe.

Si nous comparons cette figure 2 à celle que nous avons donnée plus haut pour la Belgique, nous remarquerons de même :

- 1° Que les zones d'égalité teneurs en chlore s'écartent l'une de l'autre au fur et à mesure que l'on se rapproche de la dépression à laquelle l'eau aboutit.

L'absorption lente de l'eau douce par l'eau salée produit une perte d'eau douce, qualifiée de mystérieuse par Penninck ; cette perte se produit de la même manière en Belgique. Comme nous l'avons toujours dit, elle est nécessaire, car si elle était supprimée par suite d'une captation plus intense, la diffusion l'emporterait et gagnerait les couches supérieures, comme cela se produit dans la mer de Harlem ;

2° La couche d'eau douce et l'eau salée sous-jacente sont animées également d'un mouvement vers la mer de Harlem.

On voit donc que si l'on avait appliqué à la Hollande la théorie que nous avons donnée pour la Belgique, on aurait parfaitement pu prévoir ce que M. Penninck y a trouvé. Cette constatation démontre d'une façon absolue la justesse de nos vues en ce qui concerne le littoral belge.

IV. — M. Penninck a trouvé dans les dunes un rendement de 8 à 10 mètres cubes par hectare et par jour en moyenne. M. van Erthorn avait trouvé exagéré le chiffre de 4 mètres cubes que nous donnions comme un minimum.

V. — M. van Erthorn croit, enfin, qu'il y aurait danger à attirer dans les dunes l'eau impropre à la consommation qui est contenue dans les polders. Nous nous sommes efforcé, mais en vain, à lui démontrer que cette eau circule, avant d'arriver à l'endroit de la captation, au travers d'une couche de sable des dunes suffisamment épaisse pour la purifier complètement.

VI. — Pour terminer la série des arguments de M. van Erthorn, nous dirons que celui-ci ne croit pas que l'équilibre se soit établi entre l'eau douce et l'eau de mer selon le processus que nous avons indiqué plus haut. Il croit, au contraire, que les eaux douces contenues dans le sous-sol en contre-bas de la mer sont des eaux fossiles, qui ont imprégné les couches avant leur affaissement et sont descendues avec elles à ce niveau à première vue *insolite*. Il appuie son argumentation sur les conditions géologiques suivantes : *Le sol s'est affaissé au fur et à mesure que la sédimentation lui faisait compensation pour le maintenir au-dessus de la mer*. Nous avouons que nous ne comprenons pas comment une formation sédimentaire marine ait pu se produire au-dessus du niveau de la mer !

*
* * *

En résumé, nous ne voyons pas pourquoi le sous-sol des dunes belges ne donnerait pas autant d'eau que les dunes hollandaises, et l'on sait que celles-ci alimentent les 500,000 habitants de la ville d'Amsterdam.

Nous avons montré que la nappe d'eau douce du littoral belge est tout aussi étendue qu'en Hollande.

La surface recouverte par les dunes ne change en rien l'étendue de la nappe ni la vitesse des eaux du sous-sol. Il suffit que cette superficie des dunes soit assez étendue pour qu'on puisse y établir une prise d'eau. Le point important est de savoir si l'eau captée peut se renouveler.

Sans vouloir chercher à apprécier la vitesse de la circulation de l'eau dans les dunes, nous pouvons cependant affirmer à ce point de vue que le littoral belge se trouve dans des conditions plus favorables que le littoral hollandais :

1° Le sol est de plusieurs mètres plus élevé que le niveau moyen de la mer ;

2° Il ne s'y trouve guère de dépression analogue à l'ancienne mer de Harlem et constituant, comme elle, une zone où l'eau saumâtre peut faire irruption et diminuer ainsi le cercle d'eau douce disponible ;

3° La base imperméable se trouve à une beaucoup moins grande profondeur et elle penche vers la mer.

* *

Nous citerons encore quelques observations de M. Penninck qui confirment nos idées jusque dans les moindres détails.

M. Penninck a trouvé que le niveau de la nappe d'eau douce oscillait avec les marées. Conformément à nos prévisions, cette oscillation est maximum au voisinage de la mer et se fait sentir jusqu'à une distance de 1 550 mètres du rivage.

Lorsque l'on établit un pompage intense au voisinage du littoral hollandais, la proportion en chlore dans l'eau augmente en cet endroit. Comme nous l'avons prévu, il se forme une protubérance dans la surface précédemment unie de l'eau saumâtre sous-jacente. Ainsi que nous l'avons dit depuis longtemps déjà, il ne faut donc pas exagérer l'intensité du pompage si l'on veut éviter l'invasion de l'eau saumâtre.

Les observations que M. Penninck a faites en repérant le niveau de l'eau dans les puits profonds et les puits superficiels démontrent un phénomène dont nous avons prévu l'existence :

L'eau de la partie supérieure d'une nappe libre peut, en certains endroits, s'écouler dans un sens opposé à l'écoulement général des parties profondes.

* *

Nous sommes convaincu que c'est avec la meilleure foi du monde que M. van Ertborn a combattu notre thèse sur l'allure des nappes

aquifères dans les terrains perméables en petit baignés par la mer. Nous n'aurions certes pas prolongé ce débat si notre honorable contradicteur n'avait pas eu l'idée malheureuse de nous opposer, dans un article bibliographique (1), certaines observations de M. Penninck, alors que celles-ci nous donnent entièrement raison.

Nous sommes donc extrêmement reconnaissant à notre honorable contradicteur de nous avoir fourni l'occasion de publier un travail qui démontre, par des observations détaillées sur le terrain, l'exactitude de notre thèse jusque dans ses plus petits détails.

M. *Van den Broeck*, relevant cette affirmation de M. d'Andrimont que la minime largeur des dunes en Belgique, comparée aux dimensions qu'elles atteignent en Hollande, n'a pas d'importance pour le débit du réservoir qu'elles constituent, fait observer qu'en Belgique les dunes sont très généralement bordées par le manteau *imperméable* de l'argile des polders. Celui-ci réduit donc fortement les dimensions des zones d'infiltration et par conséquent d'alimentation des réserves aquifères sous-jacentes aux dunes.

Nos dunes belges, si peu développées, du moins dans la partie moyenne ou centrale de notre littoral, ne lui semblent donc pas pouvoir constituer un réservoir analogue à celui qui est tout indiqué en Hollande, où les dunes prennent un développement considérable.

M. *Rutot* observe que le facteur d'imperméabilité fourni par la présence de l'argile des polders, dont parlait tout à l'heure M. Van den Broeck et qui enserme nos dunes, est compensé dans une certaine mesure par la discontinuité de ce dépôt moderne. Rien n'est plus facile que de s'en assurer par la simple lecture de la Carte géologique au 40000^e, dont les sondages, tous repérés sur la Carte, fournissent les indications nécessaires pour constater, à la simple lecture, l'absence ou la présence de l'argile poldérienne, qui ne constitue nullement un manteau continu, manteau dont les nombreux trous favorisent donc l'infiltration des eaux superficielles dans le sens préconisé par M. d'Andrimont.

En l'absence de M. le baron van Ertborn, M. *Van den Broeck* donne lecture d'une analyse, présentée par son collègue, du travail de M. le professeur E. Dubois sur les *eaux souterraines des Pays-Bas*.

(1) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrolog.*, t. XVIII, 1904, PR.-VERB., pp. 217-225.

EUG. DUBOIS. — **Études sur les eaux souterraines des Pays-Bas. L'eau douce du sous-sol des Dunes et des Polders.** [*Archives du Musée Teyler*, Harlem, sér. II, t. IX, première partie (1).]

Notre confrère et ami M. le professeur Eug. Dubois a bien voulu nous offrir un exemplaire de ses *Études sur les eaux souterraines des Pays-Bas*. Nous lui en sommes d'autant plus reconnaissant que ce travail renferme des données des plus intéressantes sur le cheminement souterrain des eaux. On se figurerait que les deux provinces de Nord- et Sud-Hollande, habitées par les deux cinquièmes de la population des Pays-Bas et qui renferment les trois plus grandes villes du royaume, devraient, par suite de leur situation au niveau de la mer, être fort mal dotées d'eau potable, comme le fait très judicieusement remarquer l'auteur.

Il n'en est heureusement pas ainsi, quoiqu'en sous-sol, sauf quelques couches de tourbe et d'argile sableuse, le sable qui pourrait s'imbiber de l'eau de mer eût plusieurs centaines de mètres de puissance.

Par suite des différences de densité, l'eau douce se trouve *superposée* aux eaux salées dans les sables à grain fin.

Ce fut M. Badon Ghyben, capitaine du génie, qui, en 1887, émit le premier l'idée que les eaux météoriques, s'accumulant dans les dunes au-dessus de la cote 0, devaient, par l'effet de la surcharge, refouler les eaux salées, en conséquence de la différence de densité; l'eau douce devrait nager sur l'eau salée de telle manière qu'il y aurait équilibre quand les $\frac{41}{42}$ de la première se seraient enfoncées au-dessous du niveau de la mer. De nombreux puits tubés, profonds de 30, 40 et même de 100 mètres, forés sur les limites orientales des dunes et dans les dunes mêmes, ont permis de confirmer le fait.

La théorie de M. Badon Ghyben, attribuée à tort à M. Herzberg, n'est cependant pas applicable, dans toute sa rigueur, à la Hollande. En effet, on trouve dans des Polders, situés à 1^m50 sous le zéro d'Amsterdam, des eaux douces jusqu'à 50 mètres de profondeur. D'autres Polders, mis à sec depuis plus de trois siècles et profonds de 4 mètres

(1) Ce résumé, destiné à paraître au *Bulletin bibliographique*, a été admis à figurer au Procès-Verbal de la séance par suite de la discussion à laquelle ont donné lieu les matières traitées dans le mémoire ici analysé.

sous le zéro d'Amsterdam, ont néanmoins, à de certains endroits, de l'eau assez douce à 50 mètres de profondeur. Il en est de même dans le Polder du Lac de Harlem, mis à sec depuis une cinquantaine d'années et qui est situé à la cote — 4. En ces zones, la théorie de Badon Ghyben devrait faire monter les eaux salées au sol et tel n'est pas le cas.

Dans les îles de la Frise orientale, telles que Norderney, très peu larges, simples amas de sable, le problème est des plus simples; il est beaucoup plus compliqué dans les Pays-Bas, où la constitution géologique du sol n'est pas la même. Presque partout, dans les Polders, on trouve des alternances de couches argileuses et tourbeuses qui rendent le sol bien moins perméable qu'à la même profondeur à Norderney.

Ces couches, peu perméables et assez continues, ont une puissance d'une vingtaine de mètres; plus bas se trouvent des sables grossiers, des graviers et des cailloux, alternant avec des bancs argileux discontinus. Les dépôts à gros éléments facilitent l'écoulement souterrain des eaux des polders et autres terrains élevés vers les polders situés à un niveau bien inférieur.

Depuis le commencement du Pliocène, les Pays-Bas occupent une zone d'affaissement, que le Rhin d'alors et ses affluents, l'action glaciaire ensuite, n'ont cessé de combler, en y accumulant une immense quantité de sédiments.

L'Amstelien, Pliocène supérieur marin, ne fut atteint par la sonde, dans le sous-sol d'Amsterdam, qu'à la cote — 200 et ne fut pas percé à la cote — 335.

L'auteur passe ensuite à un exposé géologique du sous-sol des Pays-Bas, qui présente le plus grand intérêt scientifique. La partie supérieure des dépôts quaternaires est bien connue par un grand nombre de sondages. Ces dépôts sont constitués par les éléments grossiers dont nous avons parlé, alternant irrégulièrement avec des couches plus ou moins argileuses. La sonde y rencontre souvent des cailloux dont le poids peut atteindre plusieurs kilogrammes. Ces blocs, quelquefois d'origine scandinave, révèlent l'action glaciaire; on les trouve à partir de la cote — 30.

A Wijk-aan-Zee, on trouve de ces dépôts morainiques de — 51 à — 55, de — 47 à — 59 et à la cote — 100. Il est important d'établir que la couche supérieure caillouteuse marque la dernière phase glaciaire de cette époque. D'après M. le Dr Lorié, les dépôts glaciaires ne se rencontreraient que beaucoup plus bas, et le Quaternaire supérieur aurait un facies sableux inférieur d'origine fluviale. Le facies marin supérieur,

désigné par M. Harting sous le nom d'*Eemien*, de la vallée de la petite rivière Eem, où se trouve le gisement type, est l'équivalent du *Flandrien* belge. Il est caractérisé par une faune assez abondante, où les *Cardium* et les *Ostrea* dominent. Cette faune, par certaines espèces, a plus de rapport avec celle des mers anglaises actuelles qu'avec celle des côtes néerlandaises.

C'est le terme supérieur des dépôts quaternaires. Ceux d'âge moderne sont dénommés *Alluvium* par M. Lorié.

D'après M. Lorié, la partie inférieure, graveleuse, des sables serait d'origine fluviatile; cette opinion est basée sur l'absence de coquilles marines. M. E. Dubois ne la partage pas. Le premier considère encore le *Diluvium sableux* comme d'âge postglaciaire et le *Diluvium graveleux* seul serait d'origine glaciaire. De nombreux sondages démontrent que le premier contient des cailloux qu'aucun courant ne pourrait charrier à d'aussi grandes distances sans le concours de glaçons, c'est-à-dire des glaces de fond descendant à la débâcle.

Le sable graveleux supérieur, contenant des cailloux, couvre une grande étendue, mais sa puissance ne dépasse pas 10 mètres. Les faits constatés ne peuvent s'expliquer que par un dégel rapide à la fin d'une période glaciaire, les eaux entraînant le sable, les glaçons et cailloux et les vestiges d'une faune coquillière non arctique et les réunissant dans la même couche. L'*Eemien* ne peut être considéré comme postglaciaire, car il comprend, en certains endroits, des argiles à blocs, contenant beaucoup de cailloux scandinaves portant encore les stries glaciaires. L'auteur a pu suivre le gisement sur une quinzaine de kilomètres.

M. Eug. Dubois s'occupe ensuite de l'assise supérieure postglaciaire, à éléments fins; il démontre, par les coupes de nombreux sondages, que les couches d'argile sableuse, de sable argileux et de sables sont discontinues. La mer avait envahi la région bien avant la sédimentation de l'*Eemien*. On trouve des coquilles marines bien plus profondément dans le sol: à Amsterdam jusqu'à 41 mètres, à Alkmaar jusqu'à 65 mètres et à Almeer jusqu'à 83 mètres, etc.

La question de la pluralité des phases glaciaires n'est ici, au point de vue de l'hydrologie, que d'une importance secondaire; l'irrégularité des dépôts n'en serait pas moindre et, de plus, les sédiments interglaciaires auraient certainement été fortement remaniés par le glacier suivant.

A Amsterdam, à 46 mètres, à Sloten, à 33 et 52 mètres, et en d'autres points, à des profondeurs variables, on a trouvé des couches

de tourbe durcie ou de terre noirâtre avec débris de végétaux ; ces dépôts peu étendus, à des profondeurs diverses, indiqueraient peut-être des phases interglaciaires.

Au point de vue hydrologique, il serait intéressant de connaître le *pendage* de l'Eemien ; d'après M. Lorié, celui-ci serait Ouest et Nord ; mais cette opinion n'est basée sur aucune ligne stadiographique bien marquée. M. Dubois préfère la fixer au banc inférieur de tourbe. Celui-ci se trouve partout en Nord-Hollande entre les cotes — 17 et — 20. Ce lit de tourbe comprimé comprend *Pinus sylvestris* et autres espèces de sol élevé, de manière qu'on peut le considérer comme ayant formé une haute tourbière.

Ce lit tourbeux nous fait connaître une époque pendant laquelle le sol occupait certainement un niveau plus élevé d'une cinquantaine de mètres qu'aujourd'hui ; ce fait, dans l'opinion de l'auteur de ce rapport, est des plus importants au point de vue de l'hydrographie souterraine. En effet, le sol a pu s'imprégner complètement d'eau douce pendant cette époque et descendre ensuite en contre-bas du niveau de la mer, entraînant dans ses pores une prodigieuse quantité d'eau douce. La pression par différence de densité étant absolument trop faible pour refouler l'eau douce et vaincre les résistances de frottement, celle-ci est restée dans le sol.

Le lit de tourbe inférieur se trouve irrégulièrement vers les cotes — 18 et — 20 en Nord-Hollande ; il est donc à peu près horizontal dans cette région ; une seconde couche analogue se trouve entre les cotes — 11 et — 15 et la tourbe moderne beaucoup moins comprimée près de la surface dans beaucoup de polders.

L'auteur passe ensuite à l'examen de la perméabilité de ces couches diverses et au pourcentage d'eau qu'elles peuvent contenir.

Les sables grossiers contiennent 56 % d'eau, les sables moyens, comme ceux des dunes, 55 à 40 %, et les sables fins, 42 %. Les argiles susceptibles de se dilater, 50 %, soit la moitié de leur volume, et dans la tourbe le volume d'eau dépasse de beaucoup la matière solide. Toutefois, lorsque les argiles et les tourbes sont comprimées, leur pouvoir absorbant diminue rapidement.

L'auteur se propose de publier dans un autre mémoire le résultat de ses recherches et de ses expériences sur les vitesses des eaux souterraines.

M. Dubois traite ensuite la direction du mouvement et l'origine de l'eau souterraine en Hollande. On a attribué cette origine aux causes

les plus invraisemblables. Les uns ont mis en avant le courant souterrain des anciennes rivières géologiques, d'autres supposaient de puissants courants artésiens, d'autres enfin l'attribuaient à la condensation de la vapeur d'eau dans les pores des dépôts sableux asséchés. Cette dernière hypothèse fut combattue victorieusement par le célèbre météorologiste M. Hahn, de Vienne, qui fit voir que dans la saison la plus favorable il devrait, par jour et par mètre carré de surface, passer 1 000 mètres cubes d'air dans le sable pour atteindre la quantité d'eau pluviale qui tombe pendant une année. On perdait tout à fait de vue les eaux météoriques, dont la déperdition par ruissellement est presque nulle en pays plat.

Quant à la direction, il est évident que les eaux doivent se diriger des points les plus élevés vers les plus bas. Il est prouvé qu'il en est de même dans la profondeur qu'à la surface. Dans les Pays-Bas, où les pendages sont presque nuls, ce mouvement de translation est extrêmement lent. Nous pouvons facilement nous en former une idée. Tout le monde connaît la perméabilité du sable bruxellien, surtout celle de sa base. Son pendage kilométrique est de 5 mètres. Ce sable est limité à l'Ouest par la vallée de la Senne. Si l'eau circulait avec facilité, le sable devrait être complètement asséché; il n'en est point ainsi. Au faite de la pente rapide de la rive droite, à l'endroit bien connu sous le nom de *Ma Campagne*, la nappe aquifère a encore 9 mètres d'épaisseur. Les sources qui sourdent au contact de l'Ypresien sont bien modestes. Ces faits témoignent de la lenteur de la translation des eaux; même dans les conditions les plus favorables, il nous font voir combien doit être lente la translation latérale de la nappe aquifère dans les plaines horizontales.

En Hollande, on constate que le niveau piézométrique des puits tubés profonds s'équilibre en contre-bas de celui des puits peu profonds, situés tout à côté. Cette différence peut atteindre 2 mètres. Ce fait indique que les sables grossiers sont la voie principale du cheminement horizontal de l'eau. On constate aussi dans cette région que la surface de la nappe aquifère suit les reliefs du sol, mais atténués toutefois, sur une bien moindre échelle que dans les régions plus accidentées.

Le courant souterrain se fait de la région dunale vers les polders élevés voisins des dunes et de là vers les polders situés aux cotes les plus basses. L'assèchement du lac de Harlem a modifié le régime hydrographique souterrain dans toute la zone; ce qui s'explique par l'abaissement du plan d'eau, qui fut de 5 mètres environ.

L'auteur s'occupe ensuite du niveau de la nappe phréatique et des causes qui peuvent l'influencer. La principale est certainement celle des pluies continues, qui augmentent les réserves. Il en est d'autres secondaires et plutôt apparentes, telles que la pression barométrique, le poids de la croûte superficielle sèche ou humide; on a constaté des marées souterraines, qui sont causées par l'action hydrostatique des hautes eaux, le niveau dans les puits tubés suivant de loin et attardé les marées sur la côte.

Page 60 de son mémoire, l'auteur fait remarquer qu'à 11 mètres de profondeur, en dessous du lit de tourbe durcie, commence une nappe d'eau douce dans le Rieker polder, alors que celle des couches superficielles est saumâtre pendant toute l'année. Il est presque porté à croire que la première est une relique des temps passés; nous avons déjà fait connaître notre avis à ce sujet; nous le croyons fermement et nous ajoutons que les eaux douces s'emmagasinèrent dans ces couches alors qu'elles occupaient un niveau bien supérieur à leur niveau actuel. Les tertiaires supérieurs démontrent à l'évidence, et la tourbe moderne également, que le sol s'est affaissé.

Si le lac Flevo s'est transformé en golfe de Zuiderzee au XIII^e siècle, c'est que l'affaissement se continuait et que les flots marins enlevèrent la tourbe supérieure et envahirent la dépression ainsi formée.

Rien ne contredit de nos jours la continuation de ce mouvement descendant très lent. L'idée de l'eau fossile avait été émise par M. H.-E. De Bruyn. Toutefois, l'auteur ne partage point l'avis de ce dernier; son opinion est basée sur l'influence que pourrait avoir le filtrage de l'eau à travers la couche argilo-sableuse, sur sa contenance en sels en dissolution. Des expériences très complètes devraient être faites avant de pouvoir émettre une opinion à ce sujet. Tout ce que nous savons par expérience, c'est que plus les eaux artésiennes ont filtré loin en Belgique, plus elles sont bicarbonatées-sodiques, et ces mêmes sels se retrouvent à tous les niveaux aquifères, même lorsqu'ils sont séparés par plus de 100 mètres d'argile plastique. Tout le monde connaît le sable vert landenien *L1d*, si fin et si exceptionnellement fluide; à 200 mètres, il contient 5 grammes de sels en dissolution. Il résulte des pendages de la base de l'Ypresien que pour arriver à cette profondeur, l'eau a fait un parcours d'au moins 50 kilomètres. Jamais nous n'avons ouï dire qu'aux affleurements l'eau de la nappe phréatique landenienne soit minéralisée; il en est de même pour celle du Ledien et du Laekenien qui, aux affleurements, contient du carbonate de chaux provenant des sables calcaireux d'âge éocène moyen.

L'auteur consacre ensuite un chapitre à quelques substances dissoutes dans les eaux souterraines dans les terres basses des Pays-Bas.

Outre le sel marin, on y trouve le bicarbonate de fer, comme à la Wilhelminabron, dans le Haarlemmermeer polder. La décomposition lente de la tourbe est l'origine de l'ammoniaque, qu'on rencontre souvent en quantités assez considérables dans les eaux souterraines de cette contrée. Cette ammoniaque, comme le savait déjà Liebig, est fortement diminuée par le filtrage à travers une couche argileuse. Le bicarbonate de soude en quantités notables n'est pas rare. La tourbe donne aussi naissance au méthane et à l'acide carbonique actif dissolvant de la chaux et du fer. On recueille même le méthane (gaz des marais) pour l'usage domestique. Enfin l'eau de la nappe inférieure peut contenir abondamment de l'hydrogène sulfuré.

Dans un chapitre suivant, l'auteur estime ensuite la quantité d'eau douce que peuvent contenir ces énormes couches de sable; elle se chiffre par des milliards de mètres cubes; il la compare à celles qui remplissent certains lacs de la Suisse. Le captage de ces eaux aux différents niveaux peut se faire, près de la surface, par les diverses espèces de drains horizontaux, et en profondeur, par les drains verticaux ou puits filtrants.

Au sujet de ces derniers, l'auteur se livre à une étude complète de ceux de la Papeterie de Velsen. Cette étude, quoique circonscrite à cette usine, implique celle de toute cette région. Des expériences de laboratoire ont appris que l'eau circule dix fois plus rapidement dans les sables graveleux quaternaires que dans les sables fins superficiels d'âge moderne.

La quantité puisée par la Papeterie est très considérable et s'élève à environ un million de mètres cubes par an. La quantité de chlore est restée minime, quoique le pompage soit intensif et dure déjà depuis plusieurs années.

Tel est le résumé du remarquable mémoire publié par M. le professeur Dubois dans les *Archives du Musée Teyler*, et comprenant 96 pages grand in-8°. Espérons qu'il nous donnera bientôt la suite de ses expériences et de ses observations.

M. le Secrétaire général donne ensuite lecture de la Note suivante que comptait communiquer M. van Ertborn s'il avait pu assister à la séance :

Note additionnelle par O. van Ertborn.

Nous nous permettrons d'ajouter quelques mots au résumé bien incomplet que nous venons de faire du mémoire si intéressant de M. le professeur Eug. Dubois. Nous nous demandons si l'on peut en tirer quelque profit pour l'alimentation en eau potable de la *plaine maritime belge*.

Nous ne le croyons pas. L'*Enquête sur les eaux alimentaires* (1), *Rapport de M. l'ingénieur J.-B. André*, a démontré à l'évidence que dans toute cette zone les eaux sont de la plus mauvaise qualité et que l'on y supplée en captant les eaux pluviales dans les citernes et que, même dans les centres importants, il y a des citernes publiques à l'instar de celles qui alimentent encore de nos jours Jérusalem.

La question dont nous parlons a déjà été traitée dans les publications des sociétés scientifiques qui, en Belgique, s'occupent d'hydrologie, sans indiquer un remède radical au mal. On a même parlé souvent à côté de la question, nous en convenons; il s'est même agi de la salure des eaux artésiennes (2), de l'eau douce flottant sur l'eau de mer par suite de différence de densité, etc., etc.

La région dunale, d'une étendue très limitée en Belgique, dépourvue de tout bassin compensateur, peut suffire tout au plus à l'alimentation limitée d'une ou deux stations balnéaires; toute la population de la plaine resterait dépourvue d'eau potable.

Dans cette plaine basse, les tourbes, les sables tourbeux, les fumures contaminent la nappe phréatique, très voisine de la surface. Les eaux météoriques tombant sur les terrains cultivés entraînent avec elles les nitrites, les nitrates, l'ammoniaque; nous l'avons constaté bien souvent. On ne peut songer à une épuration générale. En ce point, le mal est irrémédiable.

Inutile de parler de la *couche graveleuse d'origine glaciaire*, très aquifère dans les provinces de Nord- et Sud-Hollande : elle n'existe pas en Belgique.

(1) Ministère de l'Agriculture. Pour le résumé, voir *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XVII, 1903, MÉM., pp. 297 à 315.

(2) On attribuait la salure des eaux artésiennes des puits d'Ostende à un affleurement des couches perméables dans le Pas-de-Calais et la *métamorphose* des sels à leur filtration à travers le sol. La quantité ne s'élève pas à 3 grammes, tout au plus, par litre, tandis que la nappe artésienne, rencontrée à 304 mètres par le sondage houiller de Santhoven, en contient 12 grammes. A ce niveau se trouvent les sables de l'Éocène moyen, auxquels on ne connaît certainement aucun affleurement sous-marin. La salure a donc une autre origine. (Les *Annales* indiquent une source vers 500 mètres en ce même point.)

Notre confrère M. Putzeys a proposé, à la séance de la Société du 15 mars 1904, de capter les eaux du *Diestien dunal* à Moll. Ces sables très purs occupant une région peu habitée, il est facile de se prémunir contre toute contamination. En cette zone peut se trouver la solution du problème. Nous ne pouvons nous rallier à l'opinion de M. Rutot, qui propose de drainer la région située entre Oostmalle et Ryckevorsel. En ces points affleurent des sables d'âge plus récent que ceux de Moll, car ils reposent sur le Poederlien et ils sont recouverts à Ryckevorsel même par les argiles de la Campine, à *Cervus Falconeri*. Ils sont donc d'âge pliocène supérieur.

Ces sables, d'origine fluviale, contiennent beaucoup de bois flotté et de dépôts tourbeux, qui rendent les eaux *puantes* (1).

On ne saurait donc hésiter entre la région de Moll et celle-ci. Toutefois il y aura lieu de relever soigneusement la surface occupée par le Diestien dunal et de constater sa puissance partout; car le sable glauconifère diestien est fort à craindre: souvent altéré, les eaux qu'il contient sont fréquemment ferrugineuses. S'il y a beaucoup d'eau en sous-sol campinois, le dicton n'en reste pas moins vrai: *plus il y en a, plus elle est mauvaise*, et à ce sujet nous avons entendu bien des plaintes. Les sondages n'ont guère donné de bons résultats, et tout le monde ne peut recourir à la nappe artésienne du Bruxellien. Comme conclusion, nous appuierons l'idée émise par M. Putzeys et nous espérons que l'exploration de la région de Moll donnera de bons résultats.

A la suite des communications qui précèdent, M. d'Andrimont relève divers points de l'analyse des travaux de M. Dubois par M. van Ertborn, et il a envoyé pour le Procès-Verbal la rédaction suivante de ses observations:

Quelques remarques formulées par M. René d'Andrimont à la suite de l'article bibliographique de M. van Ertborn sur le travail de M. E. Dubois intitulé: ÉTUDES SUR LES EAUX SOUTERRAINES DES PAYS-BAS. — L'EAU DOUCE DU SOUS-SOL DES DUNES ET DES POLDERS.

Je ferai remarquer que M. Dubois avait déjà publié le résultat de ses observations dans un travail paru en 1903 (2). Je me suis même basé

(1) Voir E. DELVAUX, *Puits artésien de l'établissement colonial de Merxplas* (Soc. GÉOL. DE BELGIQUE, t. XVIII, p. 113, *Mém.*).

(2) *Feiten ter opsporing van de bewegensrichting en de oorsprong van het grondwater onzer zeeprovincien.* (VERSLAG VAN DE GEWONE VERGADERING DER WIS- EN NATUURKUNDIGE AFDEELING van 27 Juni 1903.)

sur les observations de M. Dubois pour réfuter une partie des objections faites par M. van Ertborn à la thèse que j'avais émise dès l'année 1902, alors que nous ne connaissions que la seule formule de MM. Badon Ghyben-Herzberg.

A la suite de cette première communication (25 mai 1902), de nombreuses recherches ont été faites en Hollande. Les résultats de celles-ci ont été portés à la connaissance du public par MM. Dubois, Penninck, Ribbius et d'autres encore. Ils confirment jusque dans ses moindres détails la thèse que j'ai soutenue.

Je crois utile de relever également quelques considérations personnelles de M. van Ertborn que je ne puis admettre.

M. van Ertborn croit fermement que les eaux douces contenues en contre-bas de la mer pourraient être des eaux fossiles, reliques des temps passés, qui se sont enfoncées avec les couches perméables qui les contenaient. J'objecterai à cette manière de voir :

1° Que les terrains dont parle M. van Ertborn sont des sédiments marins ; comme ils sont actuellement saturés d'eau douce, celle-ci ne peut que s'être substituée à l'eau saumâtre contemporaine de la formation de ces couches. Il n'y a donc guère moyen de considérer ces eaux comme fossiles ;

2° Que M. Penninck, dans le travail que M. van Ertborn a lui-même analysé dernièrement dans le *Bulletin* de la Société, démontre, par des observations concluantes des niveaux piézométriques à diverses profondeurs, que les eaux douces et même les eaux saumâtres sous-jacentes circulent avec une vitesse appréciable. Par conséquent, elles ne peuvent être des eaux fossiles stagnantes.

Dans la note additionnelle dont il vient d'être donné lecture, M. van Ertborn persiste à ne pas vouloir admettre que la zone dunale de nos côtes puisse fournir aux habitants une eau saine et abondante.

Les observations faites en Hollande confirment la thèse que j'ai soutenue en ce qui concerne l'abondance des eaux du sous-sol des dunes et l'existence d'un bassin compensateur. Je me demande donc ce qu'il faudrait de plus à M. van Ertborn et je désespère de pouvoir jamais le ramener à mes idées.

En ce qui concerne la bonne qualité de l'eau que M. van Ertborn met encore en doute, je demande à M. Vande Castele, qui dirige avec tant de compétence la prise d'eau de Heyst, s'il ne pourrait communiquer quelques résultats d'analyses à la Société.

M. Vande Castele, de Blankenberghe, signale que depuis 1904 il a

fait dans les dunes domaniales situées entre Wenduïne et Ostende de nombreux sondages pour déterminer la composition du sous-sol des dunes, la puissance des couches de sable aquifère qui y règnent et la qualité des eaux que ces sables retiennent.

Les sondages de Wenduïne accusent la présence de l'*alp2* (*argile des polders supérieure*) sous forme d'un banc ayant 1^m30 d'épaisseur au droit de l'Hospice maritime, pour se réduire à 0^m20 à 1 kilomètre vers l'Ouest. Du côté du Coq-sur-Mer, le banc d'argile n'a pas été retrouvé, quoique le sondage eût plus de 25 mètres de profondeur.

Il a constaté aussi qu'à Wenduïne la face supérieure de l'*alp2* est à la cote + 2^m38; elle s'incline vers l'Ouest à 1 kilomètre de là jusqu'à la cote — 0^m24. Vers Ostende, *alp2* reparait, mais à des niveaux différents. Dans les sondages effectués dans les dunes situées entre Heyst et Knocke, *alp2* n'a pas été rencontré.

On peut donc dire avec raison que la formation du banc d'argile *alp2* est *discontinue* et qu'elle est disposée en lentilles.

On peut déduire de là que les eaux météoriques tombant sur toute la surface de nos dunes contribuent à l'alimentation de la nappe aquifère. Entre Heyst et Knocke, cette nappe est retenue dans une couche de sable d'environ 6 mètres d'épaisseur régnant sur une étendue de plus de 250 hectares. La puissance de cette nappe a été jugée suffisante pour lui emprunter l'eau nécessaire à l'alimentation de la station balnéaire de Heyst-sur-Mer. Cette prise d'eau a été opérée au moyen de trente puits Norton avec filtre spécial et manteau protecteur contre l'introduction des sables fins; elle a coûté 28,000 francs. La prise d'eau fonctionne sans interruption depuis le mois de mai 1903 et a donné de bons résultats jusqu'à présent. On emprunte en moyenne 400 mètres cubes d'eau par jour sans constater une influence sensible sur les fluctuations du niveau général de la nappe.

Il existe donc dans les sables des dunes des réserves considérables de bonne eau; mais M. Vande Castele ne pense pas qu'elles soient illimitées et que l'on puisse s'en servir pour alimenter toutes les grandes villes du littoral, comme quelques-uns en ont exprimé l'idée.

Ainsi à Middelkerke, où l'on croyait alimenter la station balnéaire au moyen de l'eau des dunes fournie par le « Sluysput », on a bien vite reconnu que cet étang ne donne que 25 à 30 mètres cubes d'eau par jour, alors qu'un débit journalier de 200 à 250 mètres cubes était escompté.

L'orateur a fait analyser sommairement les eaux retenues dans chaque couche rencontrée; leur teneur en NaCl varie de localité à

localité. Ainsi les eaux de Heyst contiennent 0^{gr}040 de NaCl par litre ; celles de Wenduïne, 0^{gr}078 de NaCl par litre ; celles de Coq-sur-Mer, 0^{gr}060 de NaCl par litre.

Les analyses détaillées faites par notre confrère Duyk des eaux de Heyst et de Wenduïne accusent la présence d'une notable quantité de fer à l'état d'humate ferreux. Elles sont opalescentes, se troublent au contact de l'air ; cependant la clarification s'opère ensuite par le repos. Au point de vue de l'aspect, il est nécessaire d'enlever des eaux des dunes le fer qu'elles contiennent.

A la suite d'une visite des installations de Tiel et de Tilbourg en Hollande, M. Vande Castele a soumis à la ville de Heyst le projet d'une installation comprenant un aérage de l'eau par son passage à travers des filtres à coke, suivi d'un « straining » sur filtres de sable.

A propos du filtrage au sable, il n'est pas inutile de constater qu'à Blankenberghe on a obtenu, sous la direction de notre Président, les mêmes effets biologiques par l'emploi de sable des dunes, de préférence au sable de rivière, qui coûte très cher sur notre littoral.

L'orateur pense pouvoir déduire également des résultats de ses sondages que la théorie d'Hersberg n'est pas applicable à la nappe aquifère des dunes, car dans les couches de sable aqueux, on a, à Wenduïne :

a)	Eau à la cote (1) + 4 ^m 43.	0 ^{gr} 060 de NaCl par litre.
b)	— + 1 ^m 78.	0 ^{gr} 078 —
c)	— — 7 ^m 37	0 ^{gr} 468 —

tandis qu'au Coq on a eu, à la cote — 20^m64, de l'eau ne contenant que 0^{gr}050 de NaCl par litre.

En résumé, dit M. Vande Castele, et suivant l'expression pittoresque de notre honorable Président, « à la côte prendre l'eau des dunes, c'est puiser au meilleur tonneau » ; l'eau de la nappe aquifère des dunes peut servir à l'alimentation de certaines de nos stations balnéaires, pourvu qu'elle soit prise dans de bonnes conditions et soumise aux opérations nécessaires pour la déferrifier.

M. d'Andrimont fait observer que les analyses de M. Vande Castele montrent que l'eau des dunes est de loin préférable à celles que l'on voudrait à grand prix amener de Campine.

Un échange de vues se produit ensuite au sujet de la qualité de l'eau des dunes dont M. Vande Castele a fait connaître les résultats d'analyses, qui sont très satisfaisants.

(1) Le zéro correspond au niveau moyen de basses mers de vives eaux à Ostende.

M. *d'Andrimont* expose ensuite à l'Assemblée les expériences de laboratoire qu'il a faites pour étudier l'allure des nappes aquifères dans les terrains perméables et s'exprime comme suit :

Note préliminaire sur une nouvelle méthode pour étudier expérimentalement l'allure des nappes aquifères dans les terrains perméables en petit. — Application aux nappes aquifères qui se trouvent en relation directe avec les eaux de mer.

M. De Heen, professeur de physique à l'Université de Liège, ayant gracieusement mis à ma disposition son laboratoire, j'ai entrepris une série d'expériences sur la perméabilité des terrains et sur la circulation de l'eau des nappes aquifères. J'ai, notamment, cherché à reproduire, dans une cuve en verre de 0^m60 de côté et de 0^m30 de haut, l'allure des nappes aquifères au contact de la mer telle que je l'ai toujours conçue (1).

La cuve a été remplie de sable des dunes. J'ai donné au sable un profil se rapprochant le plus possible de celui du littoral. J'ai incliné légèrement la cuve de telle sorte que le terrain et la base imperméable fussent légèrement inclinés vers le point le plus bas du profil représenté par la mer du Nord. J'ai d'abord versé dans la dépression marine une solution de bichromate potassique, de densité équivalente à celle de la mer, jusqu'à ce que tout le sable fût imbibé capillairement et coloré en jaune orange jusqu'à l'horizontale correspondant au niveau de la mer. J'ai ensuite versé régulièrement de l'eau douce incolore sur la partie représentant le continent. J'avais eu soin de disposer en divers endroits, le long des parois du verre, des grains de permanganate, afin que les traînées colorées émanant de ceux-ci pussent donner des indications précises sur le chemin parcouru par une goutte d'eau à partir du moment où elle atteint la nappe aquifère.

Voici les phénomènes que j'ai observés :

1° L'eau saumâtre colorée en jaune a été refoulée au fond du vase. La profondeur à laquelle se trouvait la zone de transition était partout proportionnelle au niveau de la nappe d'eau douce. La forme de surface de séparation entre les eaux douce et saumâtre était exactement

(1) Cette expérience a été reproduite devant les membres de la Société géologique de Belgique, le 19 février 1905.

celle que j'ai indiquée (fig. 1) dans le premier mémoire (1) que j'ai publié à ce sujet le 25 mai 1902, alors que pour toute donnée nous possédions les observations faites à l'île de Nordeney et qui démontraient qu'une lentille d'eau douce pouvait flotter sur l'eau salée plus dense;

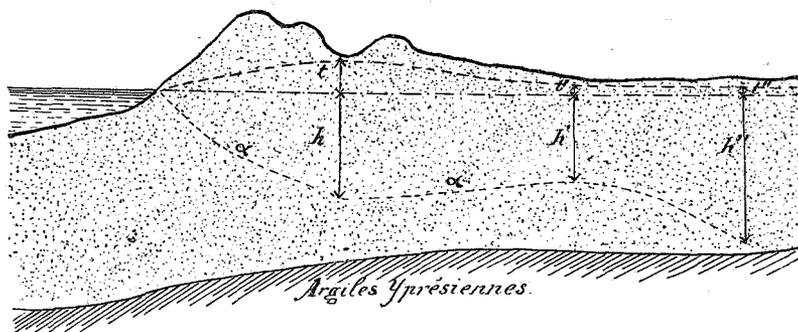


FIG. 1.

2° Une zone de diffusion très peu importante s'est formée. Après huit jours de repos, la distinction entre les deux liquides était encore très nette. J'ai fait concurremment l'expérience contraire, c'est-à-dire que de l'eau saumâtre a été versée sur de l'eau douce. Au bout de très peu de temps, le mélange était complet;

3° Durant tout le temps de l'alimentation en eau douce, il s'écoulait de l'eau douce le long de la plage artificielle;

4° Les eaux avaient un mouvement ascensionnel le long de la plage;

5° J'ai également produit artificiellement un appel d'eau à la partie supérieure de la nappe d'eau douce. Il s'est immédiatement formé une protubérance dans la surface de séparation entre les liquides de densité différente;

6° Lorsque l'on produit artificiellement une oscillation équivalant à une marée, la surface de délimitation entre les eaux douces et salées oscille également.

La méthode expérimentale qui vient d'être décrite et appliquée au cas d'un rivage marin pourrait servir à déterminer la direction d'écoulement des nappes aquifères, quelles que soient les conditions spéciales où elles se trouvent. Nous pourrions, notamment, étudier les relations

(1) Note sur l'hydrologie du littoral belge (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE, t. XXIX, fig. 5).

qui existent entre la forme extérieure de la nappe, le profil du sol et celui de la base imperméable. Mieux encore, les traînées rouges que l'eau engendre à son passage sur les grains de permanganate sont tellement nettes qu'elles permettent de déterminer, pour ainsi dire exactement, *le chemin parcouru par une goutte d'eau* depuis le moment où elle entre dans la nappe aquifère jusqu'au moment où elle en sort par un exutoire quelconque.

Nous pourrions, de même, étudier l'influence drainante d'une dépression, d'une galerie ou d'un puits atteignant une nappe aquifère.

Cette méthode s'annonce comme devant être féconde en résultats pratiques. Dès sa première application, elle nous a permis de déterminer quelques notions d'hydrologie restées jusqu'à présent assez obscures :

1° Dans le cas le plus simple d'une nappe aquifère dominant une vallée et drainée par celle-ci, la trajectoire décrite par une molécule est une courbe régulière dont la concavité est dirigée vers le haut. Nous nous réservons de reprendre les calculs qui ont été faits à ce sujet et nous comparerons la courbe calculée avec la courbe réelle;

2° La plupart des hydrologues ont admis, sans faire d'objection, que l'on pouvait distinguer dans une nappe libre une partie active et une partie passive.

D'après la définition admise, la partie active ou mobile d'une nappe était comprise au-dessus du plan horizontal passant par le point le plus bas pouvant servir d'exutoire à la nappe.

La partie passive ne participant pas au mouvement général de la nappe serait donc située en dessous du même plan (fig. 2).

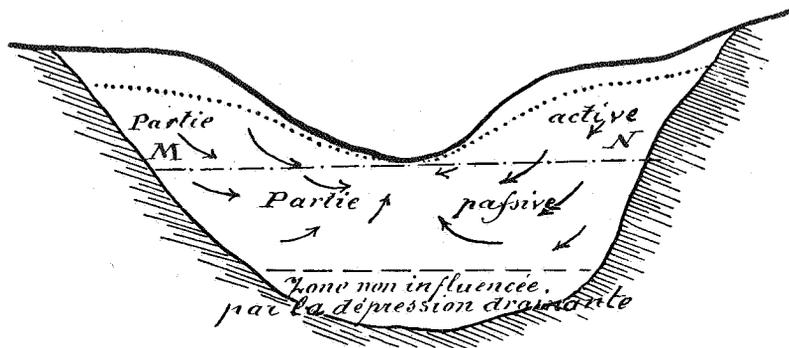


FIG. 2.

Notre expérience a démontré que la notion de la partie passive, telle qu'elle a été proposée et généralement admise, est fautive. En effet, des

grains de permanganate situés en des points comparables aux points de départ des flèches ont dégagé des trainées de permanganate très importantes dans le sens indiqué.

Il résulte de là qu'il faut reporter beaucoup plus bas la zone non influencée par la dépression drainante.

L'appellation « active » pourra être conservée à la partie de la nappe située au-dessus du plan MN, car c'est le poids de cette partie qui donne la charge nécessaire pour mettre en mouvement la partie passive qui subit l'action de la partie active.

Il existe alors en dessous de la partie passive une troisième zone où les eaux ne seront plus soumises à l'action drainante de la dépression et où, dans le cas de la figure 1, par exemple, elles pourront pour ainsi dire être stagnantes. Cette zone jouira des propriétés que l'on avait attribuées à tort à la nappe passive. Remarquons, en passant, que si la circulation de l'eau est possible à une certaine profondeur en dessous du niveau de drainage d'une région, il est facile d'expliquer dans certains cas les altérations de certains gîtes métallifères et la dissolution des calcaires en dessous du niveau de drainage d'une région, sans devoir faire appel à des soulèvements et des affaissements du sol.

Voyons maintenant s'il est possible de déterminer la profondeur de la zone non influencée par une dépression drainante déterminée.

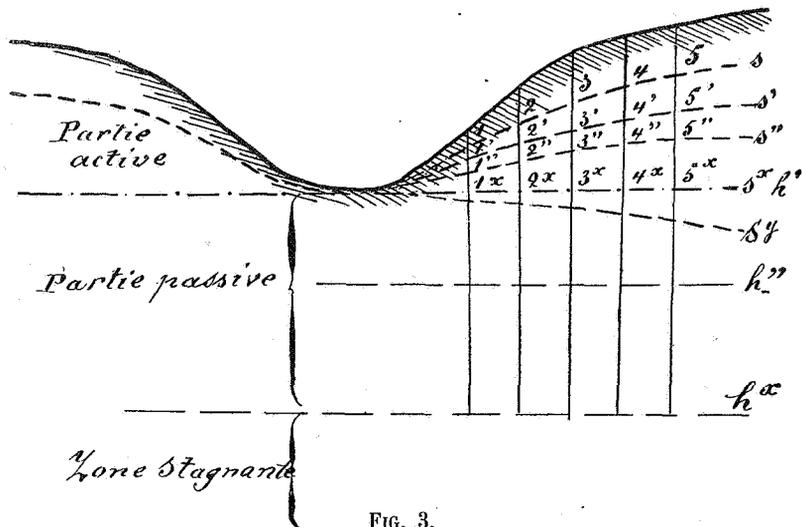


FIG. 3.

Nous savons (fig. 3) que la surface qui limite une nappe aquifère est une courbe convexe s d'une forme plus ou moins parabolique. Cette

forme peut avoir été reconnue par une succession de puits tubés 1, 2, 3, 4...; supposons que nous approfondissions ces mêmes puits jusqu'à un niveau marqué par l'horizontale h' ; si ces puits ne sont en communication avec la nappe que par la base, l'eau montera jusqu'aux hauteurs 1', 2', 3', 4'. Nous pourrions faire passer par ces points une courbe s' analogue à la courbe s , mais généralement plus aplatie. De même, les puits approfondis jusqu'en h'' donnent une courbe s'' et ainsi de suite.

Il arrivera un moment où les puits auront atteint une profondeur h^x telle que la courbe s^x se confondra avec l'horizontale. La profondeur des puits à ce moment correspondra à la limite entre la partie passive et la zone des eaux non influencée par la dépression drainante.

Cependant, cette zone non influencée par une dépression déterminée peut contenir des eaux circulant en profondeur dans un sens différent de la circulation des eaux de la partie active et passive. Nous pourrions, en effet, trouver pour des eaux contenues en dessous de h^x une courbe telle que s^y , indiquant une circulation en sens inverse vers un exutoire situé à droite et à une plus grande profondeur que la dépression.

Les expériences que nous avons faites pour reproduire les conditions hydrologiques du littoral belge ont démontré la possibilité de ces circulations d'eau dans une même nappe et dans des directions différentes en ce qui concerne le versant continental des dunes. Pour celui-ci, en effet, les eaux circulent superficiellement vers le continent et en profondeur vers la mer. Nous avons d'ailleurs déjà parlé de ce phénomène dans une de nos précédentes communications (1).

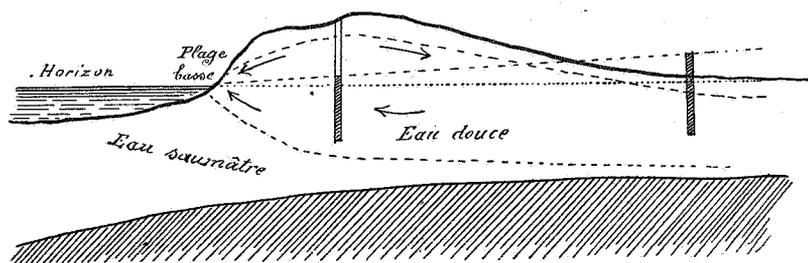


FIG. 4.

Nous reproduisons ci-dessus la figure 4 dudit mémoire, que nous avons publiée dans ce travail et que nous avons retrouvée exactement dans notre expérience.

(1) Note complémentaire sur l'hydrologie du littoral belge (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE, t. XXXI).

Il ressort de tout ce qui précède qu'il ne faut pas toujours se baser sur la position des crêtes de partage des eaux souterraines pour calculer l'étendue de leur bassin alimentaire.

Nous dirons, pour terminer, que cette communication est forcément incomplète à cause du petit nombre d'expériences que nous avons pu faire jusqu'à ce jour. Nous nous réservons d'étudier tous les cas qui peuvent se présenter dans la nature et nous espérons compléter ainsi les idées émises aujourd'hui. Nous chercherons à concilier les résultats d'expérience avec le calcul et nous essaierons d'en tirer des lois générales sur la circulation de l'eau dans les nappes aquifères.

A la suite de cette communication, M. le *baron Greindl* objecte que les expériences de M. d'Andrimont, étudiant la circulation de l'eau dans un minime cube de sable, négligent malheureusement et forcément la réduction de l'échelle des interstices entre les grains. Il semble difficile, dans ces conditions, d'en déduire des formules applicables aux phénomènes de la nature.

M. d'Andrimont reconnaît le bien fondé de cette objection; aussi estime-t-il que ses expériences ne donnent que de simples indications et qu'il sera nécessaire de les poursuivre sur une plus grande échelle, ce qu'il compte faire d'ailleurs.

M. le *Président* remercie vivement M. d'Andrimont de ses communications, dont l'intérêt a été démontré par l'attention des auditeurs et la discussion à laquelle elles ont donné lieu; ces travaux tendent sérieusement à faire fructifier la théorie par la pratique et à expliquer la pratique par la théorie. Aussi la Société suivra-t-elle avec la plus grande curiosité les expériences complémentaires, à plus grande échelle, que fera M. d'Andrimont, permettant d'accorder plus de portée encore à ses remarquables déductions.

La parole est donnée à M. *Rutot* pour sa communication sur la *glauconie de Lonzée*.

A. RUTOT. — Sur l'âge de la glauconie de Lonzée.

J'ai déjà eu l'occasion d'entretenir la Société; à plusieurs reprises, de l'âge qu'il y a lieu d'assigner à la glauconie de Lonzée.

On sait que cette roche, composée presque entièrement de grains de glauconie, repose directement sur le terrain primaire et qu'elle est recouverte par les sables bruxelliens, ce qui, stratigraphiquement, ne permet aucune précision quant à la fixation de l'âge.

Heureusement, la glauconie de Lonzée est fossilifère et, notamment, elle renferme des Bélemnites.

Jusque dans ces derniers temps, ces Bélemnites avaient été déterminées comme *Belemnitella quadrata*, d'où, la glauconie aidant, on avait conclu à l'âge hervien de la roche.

Une étude de la faune recueillie à Lonzée m'a montré qu'au lieu d'une Bélemnite, il y en a trois, ou plutôt deux, dont l'une serait *Belemnitella westphalica* Schlüter et l'autre *Belemnitella vera*.

Dès lors, la glauconie de Lonzée ne pouvait plus être maintenue dans le Hervien.

Il y a lieu de remarquer que, d'après Schlüter, *B. westphalica* serait une espèce lisse et que, dans son gisement normal, les marnes de l'Emscher, en Westphalie, elle serait accompagnée d'une autre Bélemnite, à surface granulée, que Schlüter rapporte à *Belemnitella granulata*.

Or, en examinant avec attention une grande quantité de Bélemnites de Lonzée, j'ai parfaitement remarqué que, selon l'état de conservation, ces Céphalopodes sont soit lisses, soit granulés, la granulation se montrant toujours dans les meilleurs échantillons.

J'en ai donc conclu que la citation de *Belemnitella granulata* n'a aucune raison d'être et qu'il existe une Bélemnite qui présente tous les caractères décrits par Schlüter pour *B. westphalica* et dont la surface est normalement granulée.

Dans sa classification des couches du Crétacé de Westphalie, Schlüter considère les marnes de l'Emscher comme formant la transition entre le Turonien et le Sénonien.

Mais la glauconie de Lonzée renferme, en outre, un bon nombre de Lamellibranches et, notamment, des espèces de la famille des Pectinides et des *Ostrea*.

Ces dernières sont surtout abondantes et elles montrent un ensemble de formes arquées et plissées dont beaucoup sont exogyres.

Plusieurs de ces formes sont connues dans le Cénomaniens et dans le Turonien, mais il en est qui passent dans le Sénonien; aussi, à un moment donné, devant me décider à classer la glauconie de Lonzée, j'ai cru bien faire en la plaçant tout au sommet du Turonien plutôt qu'à la base du Sénonien.

J'en faisais donc une couche comprise entre la craie de Maisières et la craie de Saint-Vaast, mais appartenant encore au Turonien.

Une étude nouvelle des matériaux paléontologiques recueillis et une discussion stratigraphique entreprise en commun avec notre confrère

lillois, M. Leriche, nous ont permis récemment d'arriver à une solution que je crois définitive.

M. Leriche, se livrant en ce moment à la détermination de la riche faune ichthyologique de la glauconie de Lonzée, est arrivé à montrer que cette faune est en tout semblable à celle de la craie inférieure de Lezennes, près de Lille, et il a émis l'idée que cette craie pourrait être l'exact équivalent de la glauconie de Lonzée.

Or, les géologues lillois sont unanimes à considérer la craie de Lezennes comme la base du Sénonien et non comme le sommet du Turonien.

En présence de ces résultats, nous avons examiné, de commun accord, la faunule recueillie dans la craie de Saint-Vaast, du Hainaut, considérée, en Belgique, comme la base du Sénonien, et nous y avons reconnu la présence, non seulement de la *Belemnitella vera*, — ce qui était déjà connu, — mais d'un spécimen de *Belemnitella westphalica*.

D'autre part, M. Leriche a reconnu, parmi les Inocérames de la craie de Saint-Vaast, les formes qui caractérisent le niveau supérieur de la craie de Lezennes, et cet ensemble de faits nous a amené à considérer la glauconie de Lonzée comme l'équivalent de la partie inférieure de la craie de Lezennes, et la craie de Saint-Vaast comme l'équivalent de la partie supérieure de la même craie.

Il est, du reste, à remarquer que les choses ne se sont pas passées de même dans le bassin de Paris et dans le bassin belge.

Dans notre bassin étroit et peu profond, les oscillations du sol ont eu une influence beaucoup plus grande que dans le grand bassin de Paris.

Alors que dans ce dernier bassin la continuité des couches successives n'a pas été troublée, chez nous, les mouvements ascendants ont occasionné des émergences accompagnées de ravinements et de lacunes.

Autour de Lille, où l'on se trouve encore dans le bassin de Paris, la série des couches est complète et leur succession est la suivante, de haut en bas, d'après les documents qui m'ont été fournis par M. Leriche :

- VI. Assise à *Belemnitella mucronata*.
- V. Assise à *Belemnitella mucronata* et à *Belemnitella quadrata*.
- IV. Assise à *Belemnitella quadrata*.
- III. Assise à *Marsupites*.
- II. Assise à *Micraster cor-anguinum*.
- I. Assise à *Micraster decipiens* (anciennement *Micraster cor-testudinarium*).

Or, d'après les collections recueillies au Musée de la Faculté des Sciences, tant par M. J. Gosselet que par M. Leriche, il est établi qu'à Lezennes, près de Lille, on rencontre, immédiatement au-dessus de la craie à *Micraster breviporus*, — qui constitue le vrai sommet du Turonien, — une assise crayeuse qui a reçu le nom d'assise à *Micraster decipiens*, constituant la base du Sénonien et qui renferme, surtout dans sa partie inférieure, une faune ichthyologique identique à celle de Lonzée, plus *Belemnitella westphalica* et *Belemnitella vera*.

La partie supérieure de l'assise à *Micraster decipiens* renferme des Inocérames, parmi lesquels *Inoceramus involutus* est particulièrement abondant.

C'est précisément l'une des formes d'Inocérames bien caractérisées qui a été recueillie dans la craie de Saint-Vaast.

Dès lors il semble devenir évident :

1° Ou bien que la glauconie de Lonzée est l'équivalent exact de la partie inférieure de l'assise à *Micraster decipiens* et que la craie de Saint-Vaast correspond exactement à la partie supérieure de cette même assise, ou craie de Lezennes proprement dite;

2° Ou bien, comme est tenté de l'admettre M. Leriche, qu'à l'ensemble de ce que nous appelons craie de Saint-Vaast correspondent les deux niveaux de l'assise à *Micraster decipiens*, la glauconie de Lonzée n'étant qu'un facies littoral ou marginal de la craie de Saint-Vaast.

De ces deux hypothèses, très voisines, je ne sais laquelle est la vraie, mais la seconde est au moins vraisemblable, car notre craie de Saint-Vaast, assez épaisse, est si pauvre en fossiles qu'il est matériellement impossible de savoir actuellement si elle comprend deux niveaux paléontologiques superposés ou si elle constitue une simple masse homogène.

D'autre part, cette manière de voir concorderait avec de nouvelles observations de notre confrère et ami J. Cornet, qui, vers Strépy, montre que le lit de glauconie anciennement signalé entre la base de la craie de Saint-Vaast et le sommet de la craie de Maisières pourrait bien ne pas exister.

Dès lors, il y aurait continuité de dépôts et passage du Turonien au Sénonien sans ligne nette de démarcation, ce qui exclut l'idée de lacune.

En fait, le représentant amoindri de la glauconie de Lonzée anciennement signalé à la base de la craie de Saint-Vaast n'existant pas, on comprend que la glauconie de Lonzée, qui, en réalité, devait s'étendre

comme une bande continue au Nord et à l'Est de la craie de Saint-Vaast, en représente simplement le littoral.

C'est donc à l'hypothèse : craie de Saint-Vaast avec littoral formé par la glauconie de Loncée, équivalente en bloc à l'assise à *Micraster decipiens* du Nord de la France, qu'avec M. Leriche je me rallie.

Les documents qui m'ont été fournis par notre savant confrère de Lille nous permettent de pousser plus loin nos assimilations des couches du Sénonien de Belgique avec celles du Nord de la France.

En effet, nous savons que, dans notre pays, la craie de Saint-Vaast est surmontée par la craie de Trivières, mais avec une séparation nette marquée par une ligne de ravinement avec gravier.

Théoriquement, cette ligne de ravinement est l'indice de l'existence d'une lacune stratigraphique, mais quelle est la véritable importance de cette lacune ?

La Paléontologie va nous permettre de l'évaluer.

La craie de Trivières est heureusement plus fossilifère que la craie de Saint-Vaast, et elle nous montre très nettement la présence simultanée de deux Bélemnites : *B. mucronata* et *B. quadrata*.

C'est donc à l'assise à *Belemnitella mucronata* et à *Belemnitella quadrata* du Nord de la France que correspond notre assise de Herve, dont le facies spécial au Hainaut est la craie de Trivières, et nous constatons dès lors avec étonnement que la lacune, en apparence peu importante, indiquée par la ligne de ravinement, est en réalité considérable, car elle ne comprend pas moins de trois assises françaises : l'assise à *Micraster cor-anguinum*, l'assise à *Marsupites* et l'assise à *Belemnitella quadrata* seule.

Plus haut, malgré des lignes de ravinement avec gravier, d'apparences semblables à celle qui sépare les craies de Trivières et de Saint-Vaast, les lacunes semblent de beaucoup moins importantes, car nous n'avons aucune raison de supposer que l'assise supérieure à *Belemnitella mucronata* du Nord de la France représente autre chose que notre craie d'Obourg, la craie à *Magas pumilus* de Meudon étant aussi l'exact équivalent de notre craie de Nouvelles qui, avec celle d'Obourg, constitue notre assise de Nouvelles.

Plus haut encore, les assimilations ne sont plus possibles, car nous ne trouvons plus en France les représentants certains de notre assise de Spiennes; tandis que notre Maestrichtien paraît représenté par les couches à *Baculites* du Cotentin, celles-ci, toutefois, pouvant aussi renfermer des équivalents de notre craie de Spiennes et de son facies phosphaté, la craie de Cibly, qui contient, ainsi qu'on le sait, de nombreuses *Baculites*.

En résumé, les assises du Sénomien, dans le Nord de la France et dans le golfe de Mons ou le détroit du Hainaut-Limbourg, semblent bien concorder, ainsi que l'indique le tableau suivant :

NORD DE LA FRANCE.

BELGIQUE.

Étage sénonien.

Lacune?	Assise de Spiennes.	
	Ligne de ravinement	
Assise à <i>Belemnitella mucronata</i>	} Assise de Nouvelles	} Craie de Nouvelles. Craie d'Obourg.
Assise à <i>B. mucronata</i> et à <i>B. quadrata</i>	} Assise de Herve	} Craie de Trivières du Hainaut. Hervien du Limbourg.
Assise à <i>B. quadrata</i>		
Assise à <i>Marsupites</i>	} Assise d'Aix-la-Chapelle	} Craie de Saint-Vaast du Hainaut. Glauconie de Loncée.
Assise à <i>Micraster cor-anguinum</i>		
Assise à <i>Micraster decipiens</i>		

Étage turonien.

Craie à <i>Micraster breviporus</i>	} Craie de Maisières, silex de Saint-Denis, fortes toises, etc.
---	--

M. Edm. Rahir, aidé de plans et coupes, expose comme il suit les résultats de la découverte d'une nouvelle grotte à Dinant.

EDM. RAHIR. — La grotte de Dinant.

La grotte de Dinant, découverte fortuitement à la fin de 1904, — une tranchée dans le roc ayant mis au jour une étroite fissure, — est située dans le vallon parcouru par la route de Dinant à Philippeville et se trouve à 1 kilomètre seulement de cette première ville. Son altitude est d'environ 50 mètres supérieure au niveau de la Meuse. Cette nouvelle et importante caverne, dont la longueur atteint 300 mètres, est creusée dans le Calcaire carbonifère. Elle est formée de trois étages, distants en moyenne d'une quinzaine de mètres l'un de l'autre et reliés ensemble par des abîmes. L'étage supérieur est peu important, l'étage moyen atteint jusque 15 et même 20 mètres d'élévation, et l'étage inférieur — que nous avons tenté d'explorer en descendant au fond d'un abîme terminé par un lac — est noyé par les eaux, ainsi que nous avons pu nous en convaincre *de visu*.

En amont du vallon où est creusée cette caverne, un ruisseau, qui

jadis coulait à l'air libre, a, depuis peu d'années, disparu complètement dans le sol. Très probablement ce serait ce même ruisseau qui se retrouve au fond de la grotte, et la résurgence se produirait par des sources visibles au bord de la Meuse.

En un point de la galerie moyenne, le sol est recouvert d'argile plastique presque pure. Là, les gouttes d'eau tombant de la voûte ont creusé cette argile d'un nombre assez notable de trous en forme d'entonnoir, ornés de rayures et d'arborescences diverses. Peu à peu, par l'évaporation des eaux, le calcaire se dépose et arrive ainsi à solidifier la masse primitivement molle de ces entonnoirs. Ce phénomène, dû ici uniquement à la pureté de l'argile, est, pensons-nous, signalé pour la première fois en Belgique. M. E.-A. Martel a constaté ce même fait dans une ou deux des nombreuses cavernes qu'il a explorées.

La grotte de Dinant sera bientôt aménagée en vue des visiteurs qu'elle ne pourra manquer d'attirer.

En ce qui concerne les entonnoirs d'argile dont a parlé M. Rahir, M. *Buttgenbach* demande si, ailleurs, ils se présentent plus souvent.

M. *Van den Broeck* pense qu'il s'agit là d'un phénomène assez rare, attendu que, pour le réaliser, il faut avoir affaire à de l'argile plastique et pure, jamais atteinte par les niveaux d'inondation et située sous des voûtes suintantes extrêmement élevées, permettant la forte pénétration des gouttes d'eau dans le plancher argileux. A Han, on a trouvé naguère de tels dispositifs, qui offraient ceci de particulier que l'accumulation des gouttes chargées de sels incrustants en forte solution avait fait se remplir de telles cavités coniques argileuses par des stalagmites colonnaires, simplement posées en équilibre vertical dans les godets d'argile s'élevant comme des séries de chandelles à base libre, et faciles à dégager entièrement sans aucun effort. C'est un type de formation stalagmitique qui doit être fort rare partout et dû à la formation préalable des godets argileux dont vient de parler M. Rahir.

La séance est levée à 10 h. 30.
