

SÉANCE MENSUELLE DU 16 JUIN 1903.

Présidence de M. X. Stainier, Président.

La séance est ouverte à 8 h. 40.

En ouvrant la séance, M. le *Président* fait part à l'assemblée du décès de M. V. Dumortier, architecte provincial du Brabant, membre associé regnicole. (*Condoléances.*)

Il annonce ensuite la nomination de M. Munier-Chalmas comme membre de la Classe de minéralogie de l'Académie des sciences de Paris. (*Félicitations.*)

Correspondance :

M. Cornet fait excuser son absence et demande que sa communication sur le Tanganyka soit reportée à la séance supplémentaire du 30 juin.

Le Comité de rédaction du *Journal des Savants*, d'accord avec l'auteur, autorise la reproduction dans le *Bulletin* de l'article de M. de Lapparent intitulé : *Les progrès des études sismologiques.*

M. A. de Lapparent annonce qu'il a présenté à l'Académie des sciences de Paris une *Ammonite*, la première qui ait été rapportée du Soudan. L'échantillon a été recueilli au Damerghou, entre Zinder et l'Air, par M. le capitaine Gaden, en compagnie d'une Exogyre du groupe d'*E. columba*.

Une note accompagne cette lettre, et il en sera donné lecture après la correspondance.

Le Comité de l'enquête relative aux phénomènes géophysiques de la période 1901-1902-1903 fait parvenir la rédaction ci-après du Programme d'études qu'il préconise et demande sa publication dans le *Bulletin*.

Le Comité espère, pour la mise en œuvre de ce Programme, obtenir le concours pécuniaire des Sociétés d'Astronomie et de Géologie, auxquelles est suggérée l'idée d'adresser une demande spéciale de subside au Gouvernement, qui, semblerait-il, paraît disposé à examiner avec bienveillance l'éventualité d'une telle demande.

M. le *Secrétaire général* estime que cette question, vu surtout l'absence du Trésorier, doit faire l'objet de l'examen du Conseil de la Société, auquel elle est renvoyée. (Voir, après la correspondance, le texte du Programme d'études élaboré par le Comité.)

M. *Aug. Gobert*, à propos de l'étude de la vitesse de circulation des eaux souterraines, mise à l'ordre du jour de la séance, signale deux articles parus sur ce sujet dans les « *Reports* » de l'*Association britannique pour l'avancement des sciences*, année 1901, page 337, et année 1902, page 224, avec planche (1). (*Remerciements.*)

Enfin, M. le *Secrétaire général* est heureux de porter à la connaissance de l'assemblée les résultats favorables obtenus en faveur de la continuation des études sismiques de M. le Prof^r *Kilian*, de Grenoble, à la suite de l'intervention de la Société et de l'article publié, par M. *Lagrange*, dans *Ciel et Terre*.

Déjà le sismographe de M. *Kilian* est remis en activité, grâce à la généreuse intervention d'un anonyme, justement ému de la situation fâcheuse récemment signalée.

Grâce d'ailleurs à l'appui bienveillant tant de l'Université de Grenoble qu'à celui, espéré, de l'Association française pour l'avancement des sciences, on peut être assuré que la station sismique de Grenoble, que tout le monde est d'accord pour considérer comme une œuvre d'intérêt général, poursuivra les recherches qui avaient été forcément interrompues depuis peu de temps.

M. *G. Simoens* rappelle sa lettre du 6 février dernier dans laquelle il remercie le Conseil de l'avoir désigné pour représenter la Société au Congrès de Vienne.

(1) *The Movements of Underground Waters of North-West Yorkshire*. Second report of the Committee (secrétaire M. A.-R. DWERRYHOUSE). *Report* de la session de Glasgow, 1901, pp. 337-339. — Compte rendu d'expériences de coloration à la fluorescéine dans le Calcaire carbonifère. — *The Movements, etc.* Third report of the Committee (secrétaire M. A.-R. DWERRYHOUSE). *Report* de la session de Belfast, 1902, pp. 224-227 et planche. — Compte rendu de la suite des mêmes expériences.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

4139. ... *Carte topographique du Manitoba*, à l'échelle du 792 000^e, en 1 feuille. Ottawa, 1902.
4140. Briquet, A. *Le Crétacique inférieur dans le Sud du Bas-Boullonnais*. Lille, 1903, 10 pages et 5 figures.
4141. Briquet, A. *Observations sur le Quaternaire dans le Sud du Bas-Boullonnais et aux environs d'Ambleteuse*. Lille, 1903, 7 pages.
4142. Gascon, A., et de la Cruz, E. *Estudios sobre los carbonos de teruel y especialmente sobre la Cuenca de Utrillas*. Madrid, 1903, 1 volume in-8° de 170 pages, 42 figures et 5 cartes.
4143. de Lapparent, A. *Sur les traces de la mer lutétienne au Soudan*. Paris, 1903. Extrait in-4° de 3 pages.
4144. Forel, F.-A. *Le lac de l'Orbe souterraine*. Lausanne, 1898. Extrait in-8° de 2 pages.
4145. Henry, Louis. *Charles de la Vallée Poussin*. Bruxelles, 1903. Extrait in-8° de 27 pages et 1 portrait.
4146. Hoernes, R. *Mittheilungen der Erdbeben-Commission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Neue Folge. N° XIII. Das Erdbeben von Saloniki am 5. Juli 1902 und der Zusammenhang der Makedonischen Beben mit den tektonischen Vorgängen in der Rhodopemasse*. Vienne, 1902. Extrait in-8° de 91 pages, 14 figures et 1 carte.
4147. Kotô, B., et Kanazawa, S. *A Catalogue of the Romanized geographical names*. Tokio, 1903. Volume in-12 de 88 pages.
4148. Láska, W. *Mittheilungen der Erdbeben-Commission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Neue Folge. N° XIV. Ueber die Berechnung der Fernbeben*. Vienne, 1903. Extrait in-8° de 14 pages.
4149. Marbut, C.-F. *The Evolution of the Northern Part of the Lowlands of South-Eastern Missouri*. Londres, 1903. Extrait in-8° de 1 page.

4150. **T. R. J. Cape of Good Hope.** *Annual report of the Geological Commission, 1900.* Londres, 1903. Extrait in-8° de 2 pages.
4151. **Mourlon, M.** *Referendum bibliographique, précédé de l'exposé des principaux résultats scientifiques et économiques du Service géologique de Belgique.* Liège, 1903. Extrait in-8° de 14 pages.
4152. **Whitaker, W.** *Discussion on the present shortage of water available for supply.* Londres, 1903. Extrait in-8° de 18 pages.

2° Extraits des publications de la Société :

4153. **van Ertborn, O.** *Rectifications à l'échelle stratigraphique de l'Éocène belge.* Mémoires de 1903. 16 pages.
4154. **van Ertborn, O.** *Quelques mots au sujet des terrains quaternaires.* Procès-Verbaux de 1903. 13 pages. (2 exemplaires.)

3° Périodiques nouveaux :

4155. LONDRES. *Royal geographical Society. The Geographical Journal.* 1849 à 1852; 1856 à 1874; 1876 à 1880. XXI, 1903, 3, 4 et 5.
4156. JASSY. *Université de Jassy. Annales scientifiques.* I, 1900-1901; II, 1902-1903. 1^{er} et 2^e fascicules.
4157. LIMA. *Cuerpo de Ingenieros de Minas del Peru.* Boletin, 1 et 2, 1902.
4158. LONDRES. *Royal Geographical Society. Proceedings,* 1879 à 1892.

Présentation et élection de nouveaux membres effectifs :

Sont présentés et élus par le vote unanime de l'Assemblée :

MM. GUSTAVE GOORMAGHTIGH, ingénieur, 16, boulevard Beaudouin, à Mons;

ÉMILE SIX-SENÉLAR, ingénieur des arts et manufactures, à Warneton.

Texte du programme général de l'enquête relative aux phénomènes géophysiques de l'année 1902, élaboré par le Comité des délégués des Sociétés belges de Géologie et d'Astronomie (1).

Le Comité a décidé que l'enquête relative aux phénomènes géophysiques, et autres, corrélatifs, de la période 1901-1902-1903 comporterait les dix divisions suivantes :

- I. — **Volcanisme.**
- II. — **Sismologie.**
- III. — **Phénomènes endogènes telluriques.**
- IV. — **Magnétisme terrestre.**
- V. — **Morphologie.**
- VI. — **Océanographie.**
- VII. — **Météorologie et Climatologie.**
- VIII. — **Astrophysique.**
- ANNEXE. { IX. — **Phénomènes physiologiques et biologiques.**
- X. — **Phénomènes économiques.**

On trouvera ci-après, sous forme d'un programme *succinct et très sommaire*, les éléments principaux d'études et d'investigations que le Comité réclame de ses collaborateurs.

I. — Volcanisme.

1° Étude des phénomènes volcaniques pendant les années 1901-1903. Conditions géologiques et géographiques des régions où se produisent ces phénomènes. Recherches spéciales dans les centres considérés comme éteints.

2° Phases diverses des phénomènes observés. Activité durant la période de repos relatif et durant celle de transition à la phase paroxysmale. Éruptions proprement dites ; produits volcaniques meubles, leur compo-

(1) Ce Comité est composé de MM. *Ch. Lagrange*, *A. Lancaster* et *A. Renard*, de l'Académie royale de Belgique, *Élisée Reclus*, directeur de l'Institut géographique de Bruxelles, *A. Houzeau de Lehaie*, sénateur, président de la Société royale de Géographie, *Eug. Lagrange*, directeur de la Station géophysique E. Solvay (Uccle), *E. Van den Broeck*, conservateur au Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique, *Bon O. van Erborn*, ancien président de la Société géologique de Belgique, et *Ch. Fiévez*, ancien secrétaire de la Société belge d'Astronomie.

Le siège du Comité se trouve à l'Institut géographique de Bruxelles, 35, rue Ernest Allard. (Voir Proc.-Verb. des séances des 21 octobre, 18 novembre et 16 décembre 1902.)

sition chimique et minéralogique et leur aire de distribution; coulées, mode d'éruption de la lave; vitesse, température, volume, pente, solidification et nature lithologique des laves. Structure des matières éruptives accumulées.

3° Émanations de vapeurs et de gaz. Fumerolles, solfatares, phénomènes geysériens. Torrents d'eau et de boue Phénomènes électriques.

4° Mouvements positifs ou négatifs du sol des régions où l'activité volcanique s'est fait sentir. Modifications topographiques dues à ces phénomènes.

II. — Sismologie.

1° Statistique, de préférence d'après l'échelle Rossi-Forel, des secousses constatées, sans le secours d'appareils, pendant les trois années 1901 à 1903.

2° Statistique des mouvements microsismiques enregistrés, surtout par des appareils sismographiques de même nature (pendule de Milne et pendule de von Rebeur, *tout spécialement*).

3° Détermination des régions d'ébranlement sismique (classification J. Milne).

4° Données relatives aux coïncidences entre les agitations sismiques et les perturbations magnétiques.

III. — Phénomènes endogènes telluriques.

1° Phénomènes de la circulation des eaux souterraines : nappes phréatiques, eaux dites artésiennes; sources et forages amenant au jour des eaux thermo-minérales.

2° Modifications brusques et anomalies survenues, pendant la période 1901 à 1903, dans le débit, les caractères et les propriétés des eaux souterraines et des sources. Coups d'eau inexplicables dans les mines et travaux souterrains.

3° Étude des courants électriques du sol et de leur action sur les eaux et les roches.

4° Phénomènes dus à l'action (condensation, dégagement) de la vapeur d'eau des couches superficielles et de celles des profondeurs terrestres, en dehors des régions volcaniques.

5° Phénomènes relatifs, dans les mêmes régions, aux gaz inclus dans l'écorce terrestre (air, hydrogène, anhydride carbonique, grisou, etc.)

6° Mouvements internes et externes du sol et des terrains. Constata-tions dans les mines et dans les édifices.

IV. — Magnétisme terrestre.

1° Données magnétiques habituelles, concernant les trois éléments, pour la période 1901 à 1903, avec l'analyse comparée de leurs résultats et de ceux des années précédentes.

2° Amplitude de la variation diurne des trois éléments, prise sur les courbes des enregistreurs pour chaque jour (différences entre les maxima et les minima).

3° Analyse complète des perturbations, avec leur amplitude et l'indication *très précise* du moment initial de leur production.

4° *Fac-simile* des feuilles des enregistreurs pour les jours de perturbation remarquable avec l'indication des faits relatifs à la concomitance des mouvements *magnétiques* et des manifestations *volcaniques* ou *sismiques*.

V. — Morphologie.

1° Modifications diverses de la surface du sol en dehors des régions volcaniques.

2° Modifications des cours d'eau des mêmes régions.

3° Modifications des côtes dans les mêmes régions.

VI. — Océanographie.

1° Observations faites, pendant la période 1901-1903, sur le niveau de la mer et sur les modifications du fond.

2° Phénomènes spéciaux. Raz de marée. Vagues de fond. Observations sur le relief, la hauteur et l'amplitude des vagues.

3° Modifications éventuelles dans les courants (direction, température, degré de salure, etc.). Tourbillons. Corps flottants. Épaves.

4° Température à la surface et dans les profondeurs.

5° Composition chimique de l'eau; poids spécifique.

6° Variations locales et régionales dans la couleur, la nuance et dans le degré de transparence des eaux. Troubles.

VII. — Météorologie et Climatologie.

1° État des divers éléments météorologiques pendant la période 1901 à 1903 (température, pression, précipitations, électricité atmosphérique, etc.), comparé à l'état normal de ces éléments.

2° Caractères particuliers des phénomènes, tant au point de vue de la fréquence que de l'intensité.

3° Phénomènes extraordinaires ou anormaux.

VIII. — Astrophysique.

- 1° Physique solaire : taches, facules, éruptions, protubérances, chromosphère.
- 2° Lumière zodiacale.
- 3° Physique des hautes altitudes : Aurores polaires, nuages lumineux, holidés, étoiles filantes, poussières cosmiques. Coloration des astres et du ciel d'après une gamme à établir.
- 4° Phénomènes planétaires.
- 5° Phénomènes sidéraux.

Nota. — Le programme général de la Commission solaire française (*Société astronomique de France*) fournit les principaux *desiderata* nécessaires pour la facile comparaison des observations spécialement relatives au Soleil. Voir aussi, pour l'ensemble des études astrophysiques, les programmes de la *Royal Astronomical Society*.

ANNEXE.

CONSÉQUENCES DES PHÉNOMÈNES GÉOPHYSIQUES.

IX. — Phénomènes physiologiques et biologiques.

A. — SPÉCIALEMENT EN PRÉSENCE DES PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES.

1° Actions d'ordre physique sur l'homme, les animaux et les végétaux atteints par les manifestations volcaniques ou directement influencés par celles-ci. Phénomènes de réaction d'ordre moral.

B. — INFLUENCE A DISTANCE.

2° Influence, sur l'homme, les animaux et les plantes, des changements d'aspect et de conditions de la Nature, à proximité des régions dévastées.

3° Constatations relatives à la biologie des mers. Pêcheries. Émigrations.

4° Étude critique des maladies épidémiques et microbiennes, considérées au point de vue de leur évolution dans le temps et dans l'espace, pendant la période 1901 à 1903.

C. — INFLUENCE DES RÉACTIONS GÉNÉRALES ENDOGÈNES ET CLIMATIQUES.

5° Constatations spéciales et anomalies dans la marche des phénomènes naturels périodiques, animaux et végétaux.

6° Documentation fournie par les anomalies et phénomènes constatés spécialement dans le règne végétal.

7° Réactions diverses, sur l'organisme, des facteurs endogènes, exogènes et climatiques. Statistiques et observations médicales.

X. — Phénomènes économiques.

1° Statistiques comparées des récoltes de 1902 et des années voisines. Prix comparatifs des céréales et autres denrées alimentaires. Disettes et famines régionales.

2° Données statistiques relevant de la pathologie nerveuse, de la criminalité, etc.

Communications :

M. le *Président* aborde la suite de la discussion sur l'âge des *roches rouges* surmontant la formation houillère du bassin campinois.

Il s'attache à faire ressortir l'importance de cette question d'application géologique, de la solution de laquelle dépend la possibilité de trouver du sel en Belgique.

M. le *Secrétaire général* donne lecture de la Note suivante, qu'il a reçue de M. de Lapparent, au sujet de la communication faite par lui à la dernière séance sur les roches rouges du bassin de la Campine.

A. DE LAPPARENT. — Les roches rouges du bassin campinois.

Je tiens à préciser que si, à la dernière séance, j'ai parlé de roches rouges *dans* le Houiller, c'est en me fondant sur une phrase de M. Rutot dans les procès-verbaux de la Société belge de Géologie. J'ai cru qu'il y avait là l'affirmation d'un fait et j'en ai cherché l'interprétation, sans mettre le moins du monde en doute l'existence de roches rouges permienes ou triasiques, comme celles qui ont été rencontrées en Westphalie.

Du moment que le fait, sur lequel je croyais pouvoir m'appuyer, est nié par tout le monde, l'interprétation que j'en donnais tombe d'elle-même.

Il n'en est pas ainsi, je le crois du moins, des considérations que j'ai présentées sur l'absence du Stéphanien. Je ne puis comprendre la manière de voir de M. Simoens, pour qui la chaîne hercynienne semble n'avoir été qu'un simple bourrelet montagneux, se dressant au Sud du Brabant et de l'Angleterre ; ce devait être un grand ensemble de rides

parallèles, embrassant dans le Nord une région plus ou moins considérable.

Prétendre qu'il pouvait s'y trouver des dépressions, capables de recevoir des dépôts, c'est faire une pure hypothèse. Des géologues ont besoin de preuves, et les seules qui soient décisives sont les preuves paléontologiques. Or M. Zeiller, que j'ai consulté, m'affirme qu'il n'a pas été trouvé en Angleterre de flore plus récente que celle de Radstock, laquelle, à ses yeux (comme aussi, je crois, aux yeux de M. Kidston), est encore westphalienne.

Il est aussi une phrase des observations de M. Simoens qui me surprend. Notre honorable collègue écrit : « Si, à cette époque, cette mer eût été entourée d'une muraille ou d'une digue empêchant toute sédimentation terrigène... » Je croyais jusqu'ici que l'activité de la sédimentation terrigène était fonction du relief du littoral, que ce relief déterminait la puissance des eaux courantes, et que le plus sûr moyen d'avoir une sédimentation terrigène abondante était d'offrir à la mer une « muraille » côtière.

En outre, cette hypothèse de calcaires magnésiens et de gîtes salifères *qui seraient stéphaniens* me semble bien risquée, appliquée, comme elle l'est par M. Simoens, à la région westphalienne, car tous les sondages entrepris dans le bassin de la Lippe ont montré les fossiles du Zechstein à la base de formation de recouvrement du terrain houiller.

La Géologie vit de faits, et non d'imaginaires; que, dans le bassin méditerranéen et ouralien, le Stéphanien puisse offrir des calcaires magnésiens, voire de vrais récifs, nul ne le conteste; mais, jusqu'ici du moins, il n'y a pas un seul exemple qui nous autorise à penser que des formations de ce genre aient existé dans le Nord; et cela parce que la surrection hercynienne a embrassé la région tout entière, où la sédimentation marine n'a pu reprendre qu'après le Permien moyen.

M. le *Secrétaire général* estime qu'il y a eu dans le point ici débattu une simple erreur d'interprétation qu'il sera aisé de rectifier au procès-verbal de la séance de mai, et il demande à M. *Simoens* de bien vouloir modifier en conséquence sa réponse à la note de M. de Lapparent.

M. *Simoens* est tout disposé à modifier les quelques passages dont il s'agit de sa note, mais il fait remarquer qu'il existe réellement d'après M. P. Habets des roches rouges *dans* le Houiller et que dès lors M. de Lapparent n'a pas tort d'avancer ce fait; il suffit, en effet, de relire la note de M. Habets publiée précédemment sur ce point. M. *Simoens* se

réserve de répondre à M. de Lapparent dès qu'il aura lu la note du professeur de Paris.

M. *Simoens*, qui avait préparé une note pour la discussion de la question des roches rouges, remet sa communication à la séance du 30 courant.

O. VAN ERTBORN. — Sondages houillers en Campine.

Les *Annales des Mines de Belgique* (1) publient une nouvelle série de coupes de sondages houillers de la Campine. La première série (de 1 à 15) a paru dans le volume précédent, et nous l'avons résumée en tableau dans les *Bulletins* de la Société (2). Nous donnons suite à ce premier résumé dans le tableau ci-joint, comprenant les sondages numérotés de 16 à 54.

Nous ferons d'abord une première observation au sujet du mode de sondage, observation dont il avait déjà été question dans la note précédente. Le système à courant d'eau fut inventé par Fauvelle; il en fit l'essai sur la place Saint-Dominique, à Perpignan (3). François Arago exposa le nouveau système de forage à la séance de l'Académie des sciences de Paris du 31 août 1846; cet exposé fut fait avec la netteté et la lucidité qui distinguent tous les écrits de l'illustre savant. On le dirait rédigé, non pas par un astronome, mais par quelque vieux sondeur. Sa clairvoyance habituelle lui fait ajouter que le problème des sondages à 1000 mètres et plus est résolu.

Nous tenons le mode de sondage de de Basterot, neveu de Fauvelle, et nous l'avons appliqué en Belgique dès l'année 1868, non sans y avoir apporté de nombreux perfectionnements. Toutefois, comme l'intérêt scientifique a toujours primé tous autres, nous arrêtons le courant d'eau et nous nous servons de la sonde creuse comme d'une tige pleine pour recueillir les échantillons géologiques avec le plus grand soin. A Westerlo, ils furent pris de mètre en mètre, ce qui permit à notre confrère et ami M. G. Velge de dresser cette belle coupe, que l'on peut considérer comme un modèle (4).

Le lecteur se demandera certainement comment il peut se faire que la

(1) *Ann.*, 1903, t. VIII, 2^e livr.

(2) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, 1903, t. XVII, p. 156. (Annexe à la séance du 21 avril 1903.)

(3) DEGOUSE et LAURENT, *Guide du sondeur*, t. II, pp. 54 et suiv.

(4) *Ann. de la Soc. géol. de Belg.*, t. XXVI. MÈM.

détermination des morts-terrains soit si difficile; il suffira de faire un emprunt de quelques lignes à Arago pour le faire comprendre. « Si, au moyen d'une sonde creuse, on injecte de l'eau dans un trou à mesure que l'on descend, l'eau, en remontant, entraîne tous les déblais; tel est le problème que s'est proposé M. Fauvelle. Son appareil se compose d'une sonde creuse, formée de tubes vissés bout à bout; l'extrémité inférieure de la sonde est armée d'un outil perforateur approprié aux terrains qu'il s'agit d'attaquer. L'extrémité supérieure de la même sonde est en communication avec une pompe foulante. Lorsqu'on veut faire agir la sonde, on commence toujours par mettre la pompe en mouvement; on injecte jusqu'au fond du trou, et par l'intérieur de la sonde, une colonne qui, en remontant dans l'espace annulaire compris entre la sonde et les parois du trou, établit le courant ascensionnel qui doit entraîner les déblais. »

Ces quelques lignes décrivent succinctement le mode de sondage, et les détails que nous avons rappelés précédemment apprennent que nous pouvons en parler en connaissance de cause. Fauvelle se servait d'une pompe à bras; nous y avons appliqué une locomobile de cinq chevaux. Il est évident que des appareils de même genre et plus puissants agissent avec une énergie beaucoup plus grande, et en Campine on a fait même 186 mètres en vingt heures.

Nous avons depuis longtemps les courses de chevaux, enfin celles d'automobiles, voire même celles d'escargots, mais on n'avait jamais songé aux luttes de vitesse entre les deux sociétés concurrentes. L'eau est injectée avec grande force, et pour rendre le liquide plus dense et faciliter la remonte des déblais, on a délayé de l'argile tongrienne dans l'eau, ce qui a fait croire que le Tongrien reposait sur le Crétacique. Les déblais lourds s'accumulant au fond du trou de sonde, on donne une vitesse énorme au courant d'eau ou de boue, et il s'ensuit un méli-mélo de tous les dépôts, qui rend toutes déterminations absolument impossibles.

Tel n'est pas le cas lorsque l'on coupe des témoins cylindriques, des *carottes*, comme on le fait parfois dans le Crétacique et toujours dans le Houiller, et dans ce cas les déterminations géologiques sont sérieuses. Celles relatives aux couches tertiaires ne peuvent donc être acceptées que sous bénéfice d'inventaire. L'allure de ces couches vers le Nord, étant bien connue, et leur épaisseur kilométrique dans cette direction permettent de rétablir avec assez de précision la série tertiaire, d'autant plus que quelques sondages dont les coupes furent déterminées avec soin ne sont distants des sondages houillers que de

quelques kilomètres. Nous avons déjà rappelé, au sujet du premier tableau, que le sondage de Kermpt n'est qu'à 6^{km},5 du sondage houiller du Bolderberg et celui de Zeelhem à 10 kilomètres de celui de Beeringen. On peut donc, au moyen des données précises fournies par la zone méridionale, aidées par les données vagues des sondages houillers, reconstituer la série des dépôts tertiaires dans la plupart des cas.

Le travail est un peu plus compliqué dans une zone étroite située à l'Est du méridien de Westerloo, où se trouve, d'une part, la limite orientale de l'étage ypresien et des couches d'âge éocène supérieur et moyen, et, d'autre part, la limite occidentale du Tongrien et du Landenien supérieur, région sur laquelle nous avons déjà attiré l'attention en 1901 (1).

Comme conclusion générale, nous dirons donc que l'on ne peut taxer d'erreur les interprétations, souvent erronées, des morts-terrains tertiaires, les échantillons dans l'état où ils furent recueillis rendant les déterminations rigoureuses absolument impossibles.

Nous dirons quelques mots des principaux sondages de la série 16-54, tout au moins de ceux qui offrent quelque intérêt spécial.

Les sondages nos 17, 22, 23, 26, ce dernier exécuté au Nord du Bolderberg, sont tous situés sur le territoire de la commune de Zolder. La colline de Bolder (le Bolderberg), célèbre entre toutes en Belgique, fait partie de ce territoire. Tous ceux qui l'ont explorée savent qu'elle est couronnée par le Diestien, que celui-ci, au Krayberg voisin, plonge rapidement vers le Nord, et que la série complète des couches tertiaires dans cette zone est le Diestien, le Rupélien, le Tongrien, le Landenien et le Heersien, reposant sur le Maestrichtien, les faits étant, à partir du Rupélien, prouvés à l'évidence par les sondages de Kermpt et de Hasselt. Aussi, la détermination des couches du forage houiller du Bolderberg s'est-elle fortement ressentie de cet heureux voisinage et est-elle l'une des meilleures de toute la série.

Il nous est absolument impossible d'admettre l'interprétation du n° 17. La plus grande partie du sable jaune, épais de 40 mètres, ne peut être que bolderienne et non pas flamandienne; de plus, il ne peut se trouver en ce point 262 mètres de Rupélien. La même observation peut s'appliquer au n° 16, Zonhoven, village situé immédiatement à l'Est de Zolder.

(1) *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, 1901, t. XV., MÉM., pp. 253-258. Les sondages d'Aerschot, de Westerloo et de Zeelhem.

Au n° 20, Lanklaer, M. Forir signale entre les cotes — 141 et — 191 les lignites du Rhin ; le fait n'est pas impossible dans le voisinage de la Meuse. Rappelons cependant que le Rupélien inférieur est parfois très ligniteux et contient cependant sa faune marine bien caractérisée. Les lignites du Rhin ne figurent pas dans la coupe du n° 24, exécuté également sur le territoire de Lanklaer.

Le sondage n° 30, Meeuwen, a percé 14 mètres de grès rouge, rapporté au Trias *avec doute*. Au n° 31, qui en réalité devrait porter le n° 1, puisqu'il est le sondage d'Eelen et que la liste est dressée dans l'ordre chronologique, les marnes rouges avec eau salée et les grès rouges sont également rapportés *avec doute* au Trias. Le grès gris caverneux et le psammite atteints à 878 mètres sont également rapportés au Houiller *avec doute*.

Le sondage n° 28, Beeringen, a percé, sous le Heersien, 41^m,80 de calcaire cristallin, reposant sur le tufeau et la craie grossière de Maestricht. M. Forir le rapporte *avec doute* au Maestrichtien. Cette roche, jusqu'à présent, n'a pas été signalée ailleurs. Serait-ce l'Infra-Heersien? Le sondage n° 33 est celui de Westerloo ; on a adopté, pour les 187 premiers mètres, notre classification. On a rapporté à l'Ypresien les 100 mètres de sable gris fin qui, de 200 à 500 mètres, se trouve immédiatement en dessous du Bruxellien. En étudiant avec soin l'allure générale de l'étage ypresien, nous en étions arrivé à lui assigner à Westerloo une puissance d'une soixantaine de mètres. Le sable fin, gris, ne serait-il pas le résidu d'une argile sableuse? C'est bien probable ; le niveau aquifère qu'il recouvre le démontre. La coupe du sondage n° 34, Meerhout-Zittaert, dressée par M. Forir, nous paraît fournir une très bonne classification. Elle comprend toute la série du sondage de Zeelhem, situé à 15 kilomètres au Sud. Zittaert se trouve également à 10 kilomètres à l'Est-Nord-Est de Westerloo. Les sables de l'Éocène supérieur et moyen, ainsi que l'Ypresien, ont disparu, le Tongrien a pris leur place, comme nous l'avons signalé dans notre note sur les sondages d'Aerschot, de Westerloo et de Zeelhem. Cette substitution, genre paniselo-bruxellien, mérite d'attirer l'attention. Au sujet des sables de l'Éocène moyen et supérieur, toute erreur semble impossible, car leurs rognons de grès, si nombreux et souvent très durs, auraient certainement révélé leur présence (1).

Les renseignements au sujet des niveaux aquifères rencontrés font

(1) La dernière colonne du tableau comprend la série houillère du n° 10 (premier tableau), Wyshaegen-Donderslag, qui était incomplète.

TABLEAU DES SONDAGES HOUILLERS

	ZONHOVEN. COTE DU SOL : + 40.	ZOLDER. COTE DU SOL : + 40.	ZONHOVEN (GAALEHEDE). COTE DU SOL : + 51.	HELCHTEREN. COTE DU SOL : + 60.	LANKLAER. COTE DU SOL : + 46.	EYSDEN. COTE DU SOL : + 45.	ZOLDER (DE THUYX). COTE DU SOL : + 32.	ZOLDER (VOORTER HEIDE). COTE DU SOL : + 52.5.	LANKLAER. COTE DU SOL : + 81.
	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Mètres.	Mètres.	Mètres	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
Moderne	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Flandrien	2 »	40 »	9 »	»	»	»	»	13 50	»
Campinien	»	»	»	»	14 »	26 »	»	»	»
Moséen	»	»	»	5 »	53 »	»	»	»	11 50
Poederlien	»	»	»	»	»	»	»	»	26 50
Diestien	»	»	61 »	66 »	»	»	50 »	37 »	68 »
Bolderien	»	»		66 »	120 »	114 »		60 »	27 »
Rupelien	168 »	262 »	75 »	83 »	»	25 »	65 ?	70 ?	27 » ?
Oligocène supérieur	»	»	»	»	50 »	»	»	»	»
Tongrien	30 »	»	»	»	»	»	65 ?	70 ?	49 50 ?
Asschien	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Wemmélien	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Ledien	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Laekenien	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Bruxellien	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Ypresien	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Landhien	68 »	-28 »	95 »	80 »	»	36 75	60 »	?	81 50
Heersien			37 50	50 »	»	»	50 »	?	8 »
Toit du Crétacique	-228 »	-290 »	-236 »	-290 »	-191 »	-156 70	-258 »	?	-209 »
Toit du Houiller	-434 »	-508 »	-420 50	-580 50	-483 20	-405 »	-473 »	-558 »	-439 60

DE LA CAMPINE (de 16 à 34).

25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
TESSENDERLOO (GEMMIDYCK). COTE DU SOL : + 24.	BOLDERBERG. COTE DU SOL : + 35.	HEUSDEN (UBBERSSEL). COTE DU SOL : + 32.	BEERINGEN. COTE DU SOL : + 28.	PAEL. COTE DU SOL : + 32.	MEEUWEN. COTE DU SOL : + 82.	EELLEN. COTE DU SOL : + 35.	MECHELEN-SUR-WEUSE. COTE DU SOL : + 45.	WESTERLOO (WEGODD). COTE DU SOL : + 12.5.	MEERHOUT (ZITTARD). COTE DU SOL : + 24.	WYSHAGEN-DONDERSLAG. COTE DU SOL : + 90.					
Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
»	»	?	4 »	»	»	»	»	»	1 »	»					
»	»	?	»	»	»	»	»	»	»	»					
»	14 »	?	»	»	»	21 »	44 75	42 55	3 »	»					
»	»	?	»	»	3 50	»	»	»	»	»					
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»					
»	»	?	54 50	100 »	-121 50	»	»	39 75	64 80	»					
-203 ?	26 »	?	22 50	»	62 50	207 45	76 70	»	31 20	»					
133 ?	80 »	»	137 »	410 »	30 »	66 ?	39 55 ? 54 » ?	61 50 6 80	123 90 6 20	»					
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»					
»	40 »	?	»	200 »	»	66 ?	»	»	164 75	»					
»	»	»	»	»	»	»	»	44 80	»	»					
»	»	»	»	»	»	»	»	6 95	»	»					
»	»	»	»	»	»	»	»	30 05	»	»					
»	»	»	»	»	»	»	»	14 80	»	»					
»	»	»	»	»	»	»	»	100 » ?	»	»					
- 48 »	50 »	?	72 »	40 »	»	71 20	8 20	20 »	26 50	»					
»	40 »	?	42 »	50 »	-182 50	56 60	»	40 »	62 50	»					
-396 »	-245 »	-268 » ?	-304 »	-468 »	-330 »	-152 6 ?	-447 2	-297 5	-459 5	—					
-620 5	-461 »	-494 7	-528 5	-573 »	-574 » grès rouge 14 mètres.	-843 » ?	-368 »	-533 7	-680 »	-567 7					

	ZONHOVEN. COTE DU SOL : + 40. 16	ZOLDER. COTE DU SOL : + 40. 17	ZONHOVEN (DUALHEID). COTE DU SOL : + 34. 18	HELCHTEREN. COTE DU SOL : + 60. 19	LANKLAER. COTE DU SOL : + 46. 20	EYSDEN. COTE DU SOL : + 48. 21	ZOLDER (DE THOU). COTE DU SOL : + 32. 22	ZOLDER (VOORTER HEIDE). COTE DU SOL : + 52.5. 23	LANKLAER. COTE DU SOL : + 34. 24
	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
Schistes, grès et veinettes	18 »	1 20	98 80	1 »	9 80	17 90	71 50	6 40	3 30
COUCHE	0 40	1 »	0 40	0 65	2 20	1 45	0 45	1 05	0 58
Schistes et grès	18 90	29 45	9 40	25 45	9 75	14 25	48 90	9 35	17 07
COUCHE	0 65	0 40	0 70	0 80	1 30	0 45	0 72	1 35	0 60
Schistes et grès	44 40	3 23	12 80	75 50	14 65	4 90	64 53	4 25	14 40
COUCHE	0 64	0 50	0 95	1 »	0 53	0 45	0 60	1 »	0 60
Schiste et grès	54 71	2 32	162 »	18 95	13 52	1 65	57 68	19 90	1 90
COUCHE	0 80	0 65	0 85	1 »	0 55	0 67	»	0 40	1 20
Schiste et grès	14 70	34 95	16 »	78 90	14 50	6 88	»	24 20	54 35
COUCHE	0 80	0 80	0 60	0 55	0 45	0 40	»	0 60	0 90
Schiste et grès	90 25	31 50	1 74	»	15 30	15 30	»	6 90	34 40
COUCHE	»	1 10	»	»	0 60	0 57	»	1 30	1 08
Schistes et grès	»	6 40	»	»	68 75	0 87	»	27 00	4 04
COUCHE	»	0 70	»	»	1 40	0 82	»	1 45	»
Schistes et grès	»	22 60	»	»	18 35	23 94	»	50 35	»
COUCHE	»	0 60	»	»	0 75	2 25	»	1 45	»
Schistes et grès	»	10 80	»	»	35 35	48 »	»	16 95	»
COUCHE	»	0 50	»	»	0 85	0 65	»	1 75	»
Schistes et grès	»	14 45	»	»	54 90	30 40	»	9 85	»
COUCHE	»	»	»	»	0 43	0 70	»	0 50	»
Schistes et grès	»	»	»	»	4 32	68 15	»	33 40	»
COUCHE	»	»	»	»	0 60	0 40	»	1 40	»
Schistes et grès	»	»	»	»	14 90	58 65	»	»	»
COUCHE	»	»	»	»	»	0 66	»	»	»
Schistes et grès	»	»	»	»	»	218 54	»	»	»
COUCHE	»	»	»	»	»	1 75	»	»	»
Schistes et grès	»	»	»	»	»	31 40	»	»	»
PROFONDEUR TOTALE .	717 25	710 15	775 44	844 30	810 »	1000 »	751 78	837 80	686 12

presque complètement défaut. Le fait n'est pas surprenant. La plupart des sondages furent exécutés à des cotes élevées; il en résulte que les sources artésiennes ont leur niveau piézométrique en contre-bas du sol. Si les forages se faisaient à l'aide d'un courant d'eau limpide, leur présence serait immédiatement signalée par des pertes d'eau résultant de la surcharge du niveau d'eau; mais nous avons vu qu'on se servait d'eau très chargée d'argile, qui colmate immédiatement les couches perméables et les fait passer inaperçues.

Le sondage du Bolderberg a amené au sol une source des fissures du Maestrichtien. Le forage de Lanklaer, n° 20, a donné de l'eau jaillissante provenant de la profondeur de 529 mètres, et celui de Meerhout de 480 mètres, base du Heersien. La coupe du sondage de Westerloo signale la source bruxellienne atteinte par notre forage, et d'après nos renseignements particuliers, le sondage houiller aurait trouvé entre 200 et 300 mètres une belle source (1), très abondante, d'excellente qualité, qui aurait été gâtée plus tard par son mélange avec une source saline trouvée vers 500 mètres de profondeur. A Beeringen, on a trouvé une belle source jaillissante à 332 mètres de profondeur, soit à la cote — 304. Elle est probablement la même que celle que nous avons atteinte à la cote — 123 à Zeelhem, localité située à une dizaine de kilomètres au Sud de Beeringen.

M. le Secrétaire général donne lecture du passage suivant d'une lettre datée du 5 juin, que lui a adressée notre savant confrère M. A. de Lapparent.

A. DE LAPPARENT. — Importantes découvertes paléontologiques dans le Soudan français.

Hier, j'ai mis sous les yeux de l'Académie des sciences une Ammonite, la première qui ait été rapportée du Soudan. L'échantillon a été recueilli au Damerghou, entre Zinder et l'Air, par M. le capitaine Gaden, en compagnie d'une Exogyre du groupe d'*E. columba*. Par ses caractères, l'Ammonite se rapproche du groupe d'espèces qui caractérise habituellement le Turonien supérieur.

Ainsi l'Oursin de Bilma nous avait montré la présence du Maestrich-

(1) Le niveau aquifère ne peut être que celui du sable vert landenien *L1d* recouvert par l'argile ypresienne, qui le sépare de la nappe bruxellienne.

tien près du Tchad, les fossiles de Tamaské prouvaient l'existence du Lutétien entre le Tchad et l'Atlantique; voici maintenant le Turonien reconnu au Damerghou. En même temps, on peut conjecturer que c'est avec raison que Rohlf's avait signalé la présence des Ammonites à Bilma.

Quelle moisson pour les futurs chercheurs et quel intérêt il y aurait à savoir si cette mer crétacée et tertiaire de l'Afrique, au Nord du 14^e parallèle Nord, avait quelque communication méridionale avec celle qui déposait au Gabon et à Angola les couches qu'on y connaît déjà!

M. E. Van den Broeck, comme complément à cette intéressante communication, croit bien faire d'ajouter quelques détails rétrospectifs au sujet des découvertes antérieures de paléontologie soudanaise auxquelles fait allusion M. A. de Lapparent, découvertes dont le savant membre de l'Institut a parlé en des séances précédentes de l'Académie des sciences.

Une première trouvaille, faite par le colonel Monteil, avait permis, il y a deux ans, à M. de Lapparent (1) d'établir que la mer maestrichtienne a dû s'étendre jusqu'au centre de l'Afrique. Il s'agissait alors d'un Oursin appartenant nettement au Crétacé supérieur; et les caractères et types d'habitat de cette forme d'Oursin indiquaient, suivant M. de Lapparent, une communication facile entre la mer secondaire du Sahara oriental et celle du Nord-Ouest de l'Inde. Cette communication semble avoir dû se faire par l'Égypte et la Syrie.

A la suite d'un appel fait par M. de Lapparent aux officiers et fonctionnaires du Soudan, attirant leur attention sur l'importance que pouvaient avoir des constatations et découvertes paléontologiques dans le bassin du Tchad et dans les régions voisines, on avait obtenu ce premier renseignement que le capitaine Pallier — malheureusement mort depuis et dont les récoltes ont été égarées — avait recueilli, au dire du capitaine Lefant, des Oursins, trouvés aux environs de Zinder. Mais tout récemment le capitaine Gaden a soumis à M. de Lapparent des fossiles recueillis par lui dans la localité de Tamaské, à environ 400 kilomètres à l'Ouest de Zinder. Or, le renseignement d'âge fourni par ces fossiles est absolument décisif et a fourni à M. de Lapparent l'occasion d'un intéressant exposé fait à l'Institut à la séance du

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, t. CXXXII, p. 388.

11 mai dernier et intitulé : *Sur les traces de la mer lutétienne au Soudan* (1).

C'est dans des calcaires disposés en bancs réguliers et modelés en escarpement par l'action d'anciens lits fluviaux, aujourd'hui ensablés, que le capitaine Gaden a recueilli un Nautilé, quatre Oursins, des Lucines et deux moules de Nérîte.

Le Nautilé, comparé par M. Douvillé aux collections de l'École des Mines, paraît très voisin du *Nautilus Lamarcki* du Calcaire grossier parisien. C'est aussi une espèce fréquente dans nos sables éocènes de Bruxelles.

M. Victor Gauthier, l'échinologiste bien connu, a étudié les Oursins, et sans hésitation il les rattache à l'Éocène moyen, ou Lutétien. Le genre *Plesiolampas*, particulier à l'Éocène moyen de l'Inde et de l'Égypte, est représenté par une espèce nouvelle.

Un *Rhabdocidaris* mal conservé, de la section *Leiocidaris*, indique simplement un Oursin tertiaire. Mais deux bons exemplaires du genre *Linthia* ressemblent tellement, d'après M. V. Gauthier, au *Linthia Ducroqui* Cotteau, du Calcaire éocène de Saint-Palais (Charente-Inférieure), qu'on peut difficilement les en séparer.

Les moules de Lucines, rapportés du Lutétien de Tamaské, indiquent des espèces appartenant au groupe éocène de la *Lucina gigantea*, et les moules de Nérîtes appartiennent à la variété de *Nerita* (*Velates*) *Schmidliana*, qui caractérise l'Éocène moyen (2).

La mer lutétienne, qui déjà, grâce à des *Échinolampas* recueillis dans des puits des environs de Dakar, était jalonnée dans cette région du territoire africain, s'est donc avancée, fait remarquer M. de Lapparent, jusqu'au cœur du Soudan.

Dans la région située au Sud de l'Air, qui a été traversée par la mission Foureau-Lamy, il a été constaté dans des couches marneuses, en plusieurs points de la contrée intermédiaire entre Tamaské et le Tchad, notamment à Zinder et dans le Damerghou, l'extension de la formation éocène renfermant les mêmes Nautilés et les mêmes Oursins qu'à Tamaské.

M. de Lapparent, partant de ce fait qu'aucun relief ne sépare le Damerghou de la région de Bilma, dans le Sahara oriental, où a été

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CXXXVI, p. 1118 (séance du 11 mai 1903).

(2) Les détails relatifs à ces deux derniers genres sont fournis par M. de Lapparent dans sa note ultérieure à l'Académie des sciences : *Sur de nouveaux fossiles au Soudan* (séance du 2 juin 1903).

trouvé l'Oursin maestrichtien, conclut que vraisemblablement la mer lutétienne a également occupé cette dernière région.

Quoi qu'il en soit, dit le savant membre de l'Institut, « la trouvaille de Tamaské, complétant celle de Bilma, modifie considérablement l'idée qu'on avait coutume de se faire du passé géologique de l'Afrique. Longtemps on avait admis que le dernier effort de la mer s'était traduit, à l'époque crétacée, par un golfe éthiopien venant de la Méditerranée et n'atteignant pas les hauteurs du Tibesti.

» L'Oursin de Bilma nous avait appris que ce golfe s'était avancé au moins jusqu'aux approches du Tchad. Voici maintenant qu'il nous faut admettre, à l'époque lutétienne, une incursion de la mer depuis Dakar jusqu'au Damerghou, sans préjudice d'une jonction possible de ce golfe atlantique avec le golfe lybique. En tout cas, au moins jusqu'au Tertiaire moyen, la mer a occupé le cœur du Soudan, nourrissant sur ses bords des êtres semblables à ceux qui vivaient dans les mers de l'Inde, de l'Égypte et du golfe bordelais (1). »

Dans sa toute récente note du 2 juin dernier (2), à laquelle fait allusion sa lettre ci-dessus, M. A. de Lapparent signale les deux nouveaux importants fossiles du Damerghou (entre Zinder et l'Aïr) que lui a remis dernièrement le capitaine Gaden. L'Exogyre est constituée par une coquille un peu roulée, de type incontestablement crétacé. L'Ammonite, représentée par du carbonate de fer, est la première qui ait été constatée au Soudan. M. Munier-Chalmas, qui l'a soigneusement étudiée, lui trouve des affinités avec deux genres turoniens : *Mammites* et *Vascoceras*. Le dernier genre a été créé par Choffat pour des espèces turoniennes à distribution assez vaste, qu'on observe à la fois en Tunisie, en Algérie, en Portugal, en Espagne et en Provence.

Cette découverte permet, dit M. de Lapparent, d'assimiler avec assez de vraisemblance à des formes crétacées les Ammonites que le voyageur Rohlf s a signalées, il y a un demi-siècle, dans la relation de son voyage du Tibesti à Bilma.

Les mers de la craie, qui s'étendaient donc de la Libye jusqu'à Bilma et à l'Ouest du Tchad, couvrant le Damerghou et rejoignant sans doute l'Atlantique, constituèrent des dépôts ayant ensuite servi de substratum aux couches éocènes, dont l'existence est maintenant acquise à Zinder, à Tamaské et sur les côtes du Sénégal.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CXXXVI, p. 1120 (11 mars 1903).

(2) A. DE LAPPARENT, *Sur de nouveaux fossiles au Soudan* (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, t. CXXXVI, n° 22, pp. 1297-1298 [2 juin 1903]).

On est en droit de penser, dit M. de Lapparent, dans sa Note du 2 juin 1903, qu'à l'époque crétacée, « toute la partie de l'Afrique située au Nord du 13° ou 14° degré de latitude Nord était occupée par une vaste mer, laissant émerger, d'un côté, le massif de l'Abyssinie, de l'autre une île embrassant l'Air, les Tassili, l'Ahaggar et le Tademait ».

Dans une étude intitulée : *Sur une formation marine d'âge tertiaire au Soudan français* et publiée dans le numéro du 15 juin 1903 de la *Géographie*, M. A. de Lapparent reprend l'ensemble des résultats obtenus jusqu'ici sur l'extension des eaux marines éocènes dans la région soudanaise.

Après avoir conclu que c'était bien un bras de mer venant de l'Atlantique qui, passant sur le territoire de la Sénégambie, devait s'étendre jusqu'au Sahara oriental, l'auteur termine ainsi :

« Ce bras de mer arrivait-il en Libye? C'est probable, quand on réfléchit que les affinités indiennes de l'Oursin de Bilma dénotent une communication par l'Égypte avec l'Inde. Et cette probabilité augmente encore par le fait qu'un des Oursins de Tamaské appartient à un genre qui, jusqu'à présent, n'est connu que de l'Égypte et de l'Inde; de sorte que les échantillons égyptiens semblent jalonner la route que les êtres marins auraient suivie pour aller de l'Inde, par la Syrie et la Libye, jusqu'au Soudan.

» Quoi qu'il en soit, il résulte de ces trouvailles un changement complet dans la manière d'envisager le passé géologique du continent africain. Non seulement les conclusions tirées de l'Oursin de Bilma ne peuvent plus être discutées; mais leur portée s'agrandit encore et s'étend à des époques plus rapprochées de la nôtre. Ce n'est pas seulement dans le Nord, sur les régions de la Libye et de l'Atlas, que les mers crétacées et tertiaires ont réussi à empiéter, c'est aussi dans la partie centrale, entre le Sénégal et le Tchad. De la sorte, au moment où la mer lutétienne couvrait la contrée de Paris, et où sur ses bords croissaient les palmiers-éventails, alors que, sur l'emplacement des futures Pyrénées, la même mer édifiait les assises du calcaire à nummulites, l'Afrique du Nord ne formait guère qu'une île, comprenant les massifs actuels de l'Air, des Tassili, de l'Ahaggar et du Touat. Une autre île, ou presque île, surgissait en Éthiopie, entourée à l'Ouest par la mer de Bilma, à l'Est par une autre mer, dont les traces se retrouvent dans la terre des Somalis, sur le bord de l'Afrique orientale et à Madagascar.

» Ainsi s'explique le climat dont jouissaient alors les régions situées au Nord d'une pareille Méditerranée. D'autre part, si le régime désertique a pris possession du Sahara, du moins cette modification ne remonte-t-elle pas, comme on le croyait, à l'aurore des temps secondaires, et sans recourir à l'hypothèse, aujourd'hui abandonnée, d'une mer saharienne contemporaine des grands glaciers alpins, on n'est plus forcé d'infliger à l'Afrique du Nord la monotone histoire d'une émergence indéfiniment prolongée.

» Le bras de mer qui s'étendait du Sénégal au Tchad avait-il vers le Sud d'autres ramifications? Un de ses bras réussissait-il à passer entre les massifs granitiques que traverse la Bénoué? C'est ce que nous apprendra sans doute la mission que se propose d'accomplir M. le capitaine Lenfant, à qui nous souhaitons le succès que mérite une telle entreprise. En attendant, c'est une chose considérable que l'occupation française du Soudan, déjà si féconde pour avoir mis fin aux cruautés des Samory et des Rabah, couronne son œuvre civilisatrice par des conquêtes scientifiques. »

Pour terminer cette communication, résumant les divers exposés récemment faits par M. A. de Lapparent sur la répartition des terres et des mers éocènes du Soudan français, M. *Van den Broeck* ajoute que son confrère M. *Van de Wiele*, avec lequel il s'entretenait de ce captivant sujet, lui faisait remarquer que le climat désertique du Sahara a commencé à une époque qui ne peut remonter bien loin dans les âges tertiaires, car un grand nombre d'espèces d'animaux et de plantes de la faune et de la flore modernes se rencontrent à la fois au Soudan, en Éthiopie et dans l'Inde, indiquant ainsi l'existence récente de contrées fertiles s'étendant depuis l'Atlantique jusqu'à l'Océan Indien.

QUESTION MISE A L'ORDRE DU JOUR.

La vitesse de propagation des eaux souterraines et de la fluorescéine dans les canaux et fissures des terrains calcaires.

M. E. *Van den Broeck* donne lecture d'une Note, résumant comme suit un récent travail de MM. E. *Fournier* et A. *Magnin* exposant le résultat de leurs recherches, dans le Jura, relatives à la vitesse d'écoulement des eaux souterraines.

ANALYSE D'UNE NOTE DE MM. E. FOURNIER ET A. MAGNIN

SUR LA

VITESSE D'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

PAR

Ernest VAN DEN BROECK

Dans leur étude publiée dans le numéro du 6 avril 1903 des *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, MM. E. FOURNIER et A. MAGNIN ont exposé sur la *Vitesse d'écoulement des eaux souterraines* un ensemble de considérations destinées à attirer, à divers titres, l'attention de ceux de nos collègues, assez nombreux d'ailleurs, qui s'intéressent à la circulation des eaux en massifs calcaires. Certains éléments de cet exposé réclament, vu leur importance autant scientifique que pratique, d'être mis en relief et étudiés — non sans esprit critique toutefois à certains égards — par ceux qui emploient la fluorescéine, sans se rendre toujours exactement compte des multiples et compliqués facteurs à l'aide desquels se diversifient les résultats des expériences. D'autres éléments dérivent de données fournies par des observateurs divers et auxquelles les auteurs paraissent avoir, trop hâtivement peut-être, attribué une portée générale qu'elles ne peuvent cependant avoir, vu surtout les conditions spéciales dans lesquelles ces expériences ont été faites. Bref, cet exposé réclame une étude assez complexe de mise au point, et comme il eût pu paraître quelque peu présomptueux, tant de la part de mon collaborateur, M. Rahir, que de moi-même, — qui avons précisément l'intention d'étudier expérimentalement l'emploi des substances diverses destinées à l'étude de la circulation souterraine des eaux, — comme il eût pu paraître audacieux, dis-je, d'élever des critiques à l'égard d'auteurs ayant fait leurs preuves depuis 1896, notamment dans la région du Jura, j'avais, au préalable, en notre nom commun, demandé à M. Le Couppéy de la Forest, secrétaire de la Commission d'études des eaux de Paris, son avis sur les doutes très accentués que nous inspiraient, à M. Rahir et à moi, certaines des conclusions si formelles énoncées, sans aucune mention

restrictive régionale, dans leur note de l'Académie des sciences, par MM. E. Fournier et A. Magnin, conclusions dont certaines nous paraissent, pour quelque lieu ou région que ce fût, absolument contestables.

C'est cette demande qui vaut à la Société l'intéressante communication qui va être faite tout à l'heure et qui apporte d'utiles éclaircissements à la question. Cette communication de M. Le Couppéy a été, par les soins du Bureau, imprimée en épreuves préalables et envoyée, à titre de base de discussion en séance, à un certain nombre de nos collègues. On verra plus loin que l'appel a été largement entendu, car il nous a valu de précieuses communications des voix les plus autorisées en la matière. Qu'il suffise de signaler MM. E.-A. Martel, L. Janet, le professeur Schardt, F. Marboutin, dont les exposés vont faire suite tout à l'heure à celui de M. Le Couppéy, sans compter des notes, moins développées, mais toujours intéressantes, de MM. Imbeaux, Forel, Max Lohest et, enfin, un exposé complémentaire de MM. Fournier et Magnin. La discussion que nous allons ainsi voir s'ouvrir en séance ne pourra manquer d'être des plus fructueuses.

Voici tout d'abord, comme base de cette discussion, comment peut se résumer la note publiée à l'Académie des sciences de Paris par MM. Fournier et Magnin.

Dans les calcaires du Jura, expérimentés par eux et par d'autres spécialistes, ces auteurs ont constaté que la lenteur de propagation de la fluorescéine est toujours très grande, et ils la considèrent comme étant en général inférieure à 1 kilomètre par jour, ce qui constitue un premier résultat ne pouvant être que d'application *régionale*, et qu'il serait imprudent, semble-t-il, de tenter d'accepter comme base de généralisation. D'après ces auteurs, une des causes de cette lenteur serait la présence de cavités assez vastes — nullement spéciales à ces régions cependant, — où l'eau demeure presque stagnante et dans le parcours desquelles la vitesse devient sensiblement nulle en eaux basses. C'est à ces cavités, souvent constatées *de visu* par MM. Fournier et Magnin dans leurs explorations souterraines, que ces auteurs attribuent aussi les grandes variations de vitesse de propagation observées entre le régime des eaux basses et celui des grandes eaux. Cette variation, suivant eux, peut aller de 1 à 10, et dans une de leurs expériences (à Champlive), le volume des cavités a été suffisant pour faire disparaître d'une manière complète une coloration ayant affecté 280 000 mètres cubes.

Partant de ce fait, considéré comme démontré pour eux, — mais

qui réclame de sérieuses réserves, — que la vitesse circulatoire de l'eau dans les galeries et conduites du calcaire est de beaucoup supérieure à la vitesse de propagation de la fluorescéine qui a été déversée, les auteurs considèrent d'abord le cas où, en basses eaux, l'écoulement s'effectue dans les galeries comme dans une conduite libre, et ils établissent par une formule, tenant compte de la pente et du rapport entre la surface de section et le périmètre mouillé, la vitesse à la surface. Or, au sein des grands réservoirs stagnants intercalés sur le parcours du réseau, la vitesse doit tendre à subir un certain ralentissement. Mais les conditions sont radicalement changées, montrent les auteurs, lorsque, par suite de l'afflux des grandes eaux, les galeries se remplissent complètement. Tout l'ensemble du système fonctionne alors comme une *conduite en pression* et d'autres éléments interviennent aussitôt, fournis, d'après les auteurs, par les formules de Prony et de Darcy, montrant, suivant eux, que corrélativement à l'augmentation de diamètre de la conduite, la vitesse augmente aussi. Les portions dilatées ou réservoirs deviendraient alors, d'après les auteurs, de véritables éléments propulseurs accroissant considérablement la vitesse. Si les auteurs veulent dire que quand le régime des conduites en pression est établi, la vitesse des *parties resserrées* s'accroît notamment sous l'influence des réserves fournies par les régions dilatées pleines d'eau, cela constituerait déjà un énoncé suffisamment contestable; mais leur texte semble même laisser croire que la vitesse augmente *dans les parties dilatées*, ce qui est absolument inadmissible. Mais en tout cas, si dans des cours d'eau superficiels, la vitesse moyenne varie d'une façon régulière, d'après les changements du rapport entre la surface de section et le périmètre mouillé, il en est tout autrement dans les cours d'eau souterrains appelés, en cas de grandes eaux, à se transformer subitement en régime de conduite en pression, modifiant considérablement du même coup leur vitesse. « C'est en ce moment, disent les auteurs, que se déversent brusquement dans le réseau souterrain les boues de décantation, chargées de bactéries et de matières putrescibles, qui s'étaient accumulées en basses eaux dans les réservoirs stagnants. »

Inutile d'insister davantage sur cette importante conclusion, qui paraît fondée. Reste toutefois à étudier dans quelle proportion et sous l'empire de quelles circonstances s'effectuerait, s'il est réel, le retard de la propagation de la fluorescéine par rapport à celle de la vitesse, disons non de l'eau, mais des parties les plus rapides (centre ou surface de la veine liquide) de l'eau en mouvement. C'est ce qui devra faire l'objet d'expériences multiples et très délicates. Il semble admissible,

jusqu'à un certain point, que l'eau chargée de fluorescéine, qui s'y diffuse rapidement à l'état de dissolution, deviendrait par ce fait plus dense et plus lourde(1) que les zones superficielles, sans cesse alimentées non seulement par les eaux non colorées, pouvant déboucher latéralement dans la conduite, en ses régions souterraines d'aval, mais encore par l'afflux normal succédant au flot artificiellement coloré. De là, sans doute, une tendance à obtenir, du moins après un certain temps de circulation calme ou peu accidentée, une zone de surface, restant plus ou moins limpide et pouvant être, suivant les circonstances, tantôt *en avance*, tantôt *en retard*, par rapport à une zone centrale, ou plus profonde, d'eau très colorée.

Ces différences de répartition et de vitesse, qui doivent se présenter également dans les cours d'eau à l'air libre, dépendront de facteurs d'ordre physique ou d'éléments ambiants (pente, régularité de surface liquide, répartition d'obstacles, etc.), localement variés d'ailleurs, facteurs d'après lesquels les filets de *vitesse maximum* de l'eau se trouveront reportés sous la surface libre, dans une zone supérieure de l'afflux liquide en mouvement, zone plus ou moins axiale quand la conduite est régulière.

Si tantôt la zone de surface nettement affectée, tantôt la zone plus profonde axiale fortement colorée, se montrent fréquemment en retard sur un éclairé faiblement coloré marchant avec la vitesse maximum de translation de l'eau, cela n'implique nullement un « retard » réel de la fluorescéine en général.

Cette prétendue constatation, signalée cependant, on va le voir, par de nombreux correspondants, paraissant donner raison au principe énoncé par MM. Fournier et Magnin, doit avoir, semble-t-il, pour motif, bien prosaïque, que l'œil de l'observateur n'a pas la faculté de percevoir la zone de dilution légère, d'*avant-garde* ou de *tête*, comme l'appellent respectivement MM. Martel et Schardt, et qui marche avec la même vitesse que celle de l'eau qui la véhicule.

Le transport, en effet, accompagné d'une diffusion constante de la fluorescéine pénétrant au sein de masses toujours renouvelées d'eau pure, doit forcément donner lieu à une dilution de la substance dissoute et à un affaiblissement croissant de la couleur.

L'existence de cette avant-garde faiblement colorée, invisible à l'œil nu, pourrait probablement se constater en puisant, d'une manière appropriée aux circonstances, au sein des filets liquides les plus rapides du courant et en examinant soigneusement au fluorescope Trillat-Mar-

(1) Hypothèse absolument controuvée par les expériences de laboratoire de M. Rahir.

(Note ajoutée pendant l'impression.)

boutin une eau qui à première vue paraîtrait absolument exempte de fluorescéine (1).

Indépendamment de ces faits, qu'un processus bien simple dans le mode d'échantillonnage et d'examen permettrait de vérifier expérimentalement, il convient d'admettre, semble-t-il, que dans les cas, nombreux d'ailleurs, où les canaux d'écoulement souterrain se compliquent de réservoirs ou de cavités localisées, de plus bas niveau que l'axe normal du courant d'amont, il pourrait y avoir dans leur sein un élargissement et un épanouissement des eaux plus denses, très colorées. On peut, de cette manière, concevoir la formation d'une *zone profonde* d'eaux colorées, s'accumulant tout naturellement dans les fonds, dans les réservoirs ou cavités, et n'avançant qu'avec des vitesses très ralenties ou même presque nulles dans ces poches profondes, par suite des résistances des parois et de l'étendue des cavités.

Si la fluorescéine, comme dans l'expérience de Champlive, dont parlent les auteurs, a été mise en quantité non proportionnée aux cavités — dont il n'est d'ailleurs guère facile de prévoir le volume — il se peut que le retard de l'apparition de la fluorescéine soit tel qu'il faille attendre un coup de pression en conduite forcée, comme peut en produire une forte chute pluviale, pour voir apparaître la fluorescéine *longtemps après* l'arrivée normale des eaux du ruissellement pluvial. Et si même la fluorescéine, déversée en suffisance, arrive au point d'observation, on peut comprendre que grâce au rôle des cavités et réservoirs, combiné peut-être avec une éventuelle densité plus grande et la vitesse moindre des eaux frottant contre le thalweg, on arrivera à constater un réel retard de la fluorescéine *apparente*.

Mais à côté de ces faits intéressants et plus ou moins compréhensibles, il en existe d'autres, signalés par MM. E. Fournier et A. Magnin, qui ne pourraient être acceptés qu'avec les plus sérieuses réserves, du moins comme base de règles ou de lois *générales*. Certains d'entre eux même peuvent se voir opposer, semble-t-il, des faits concluants en sens contraire; ce qui prouve que la question, à ce point de vue, est simplement ouverte et nullement résolue.

Que penser, par exemple, des déconcertants résultats d'expériences

(1) Ces derniers paragraphes, non lus en séance, lors de la présentation de cette communication, ont été ajoutés à la suite d'observations faites depuis par MM. Rahir et Van den Broeck, expériences permettant de préciser certains éléments du prétendu *retard* de la fluorescéine. Elles permettent d'**AFFIRMER** qu'il n'y a nullement retard de transport de celle-ci, mais défaut de *visibilité* de l'*avant-garde* de la substance colorante; de là *retard* dans la perception visuelle à l'œil nu.

soit citées, soit faites par les auteurs, d'après lesquelles le sel marin, l'amidon, le purin même, arriveraient au captage considérablement plus vite que la fluorescéine!

Ainsi, à *Noiraigue*, l'expérience *Desor* avec l'amidon aurait fait réaliser un parcours déterminé en 8 heures, au lieu de 204 avec la fluorescéine. A l'*Areuse*, une autre expérience *Desor*, avec amidon, aurait fourni 12 heures au lieu de 312. A la source d'*Arcier*, une expérience *Jeannot*, avec sel marin, aurait fourni 9 1/2 heures au lieu de 92. A *Gellin*, un déversement de purin serait arrivé au captage deux fois plus vite que la fluorescéine. Il en serait de même de l'action de la levée des vannes et, enfin, des troubles et des crues microbiennes survenant après les pluies, le tout marchant plus vite, disent MM. Fournier et Magnin, que le flot coloré par la fluorescéine.

Mais n'aurions-nous pas, dans cette dernière partie des énoncés de MM. Fournier et Magnin, l'explication bien simple d'un des facteurs au moins du problème? La levée des vannes et le flux limoneux des pluies augmentant le volume d'eau et sa pente, considérés d'amont vers le déversement, le captage ou vers la source d'aval, doivent FORCÉMENT amener, non seulement *une rapidité de translation plus grande* que celle caractérisant le flux normal, coloré par la fluorescéine, mais encore le phénomène d'une *transmission instantanée de l'onde de relèvement*, mais sans transport corrélatif des molécules liquides.

Des expériences de ce genre, destinées à étudier les différences de translation de diverses substances soit colorantes, soit en suspension ou en flottaison, doivent être faites dans des conditions d'*identité parfaite de débit*, et elles doivent même être faites SIMULTANÉMENT. Aussi longtemps que cela n'aura pas été fait, on ne sera pas en droit de *conclure*, comme paraissent l'avoir fait un peu prématurément peut-être MM. Fournier et Magnin, qui terminent leur exposé en disant :

« Les manifestations de la circulation souterraine se succèdent dans l'ordre de vitesse décroissante suivant :

- A. Troubles et intumescences après les pluies ;
- B. Crues microbiennes correspondantes ;
- C. Intumescence après la levée des vannes et arrêt après leur fermeture ;
- D. Apparition du sel, de l'amidon, etc. ;
- E. Apparition de la fluorescéine. »

Si, pour des raisons faciles à comprendre, la succession *A-B-C* est possible, rien ne dit que si l'on faisait coïncider avec les pluies ou avec la levée des vannes le déversement de la fluorescéine, il y aurait un

retard de celle-ci — si retard il y a — comparable le moins du monde aux chiffres différentiels, si étranges, fournis par les expériences Desor ou Jeannot; et, en tout cas, le retard indiqué de la fluorescéine sur le sel et surtout sur l'amidon paraît pouvoir difficilement se justifier!

Fortement intrigué par de tels résultats, je n'ai pas hésité à m'informer auprès de M. le Prof^r Fournier lui-même, l'un des auteurs de la Note des *Comptes rendus*, et dont les très estimés travaux géologiques et spécialement tectoniques, dans le Jura et le Quercy, comme ceux qu'il a consacrés au Caucase, font autorité.

Mon obligeant correspondant veut bien m'écrire que les expériences avec amidon, sel et fluorescéine, auxquelles il a été fait allusion, ont été effectuées à la même époque (1) et pendant des périodes de sécheresse; de sorte, dit-il, que ni le débit ni la pression n'ont varié entre les expériences, qui seraient donc comparables. Mais il ajoute qu'il va faire mieux encore en versant simultanément fluorescéine, sel marin et amidon.

Telle est bien, en effet, la nouvelle marche à suivre, mais j'ajouterai qu'il faut être certain aussi de se trouver en possession des moyens pratiques et sûrs d'être à même de déceler, aussi bien les premiers indices de couleur que le moment de première apparition des autres substances employées. Il y a là tout un côté technique dont il convient de se rendre maître avant de tirer des conclusions. Témoin la couleur elle-même, qui paraît cependant s'imposer comme si nettement perceptible quand il s'agit de fluorescéine.

Depuis un certain temps déjà, M. Rahir et moi avons reconnu la nécessité d'une donnée d'ordre matériel conforme à ce que vient justement de nous signaler avec insistance M. Trillat, l'inventeur du fluorescope (2). C'est que de très légers troubles dans l'eau empêchent complètement le dichroïsme de se manifester dans le tube du fluorescope et voilent la couleur. S'il y a des troubles, — et c'est un cas assez fréquent dans des expériences de ce genre, — la fluorescéine pourra être arrivée *sans qu'on s'en doute le moins du monde*, non seule-

(1) Il résulte cependant des documentations complémentaires éclaircissant la question et dont il sera question ultérieurement, que s'il s'agit peut-être très exactement de mêmes époques de l'année, il s'agit aussi d'années *très largement espacées* les unes des autres, ce qui, contrairement à la déclaration de M. Fournier, rend les expériences absolument *non comparables*.
(Note ajoutée pendant l'impression.)

(2) L'auteur de cet instrument insiste vivement pour que l'on écrive, ainsi qu'il convient : *fluorescope* et non *fluoroscope*, qui, d'après lui, est incorrect et cependant fréquemment usité.

ment à l'œil nu, mais encore avec le meilleur tube du dispositif Trillat-Marboutin. Il faut *filtrer*; mon collaborateur M. Rahir l'a nettement reconnu dans plusieurs cas douteux, et aussitôt l'on voit, par cette séparation mécanique du trouble en suspension d'avec la matière en dissolution, apparaître nettement la fluorescéine, invisible auparavant.

MM. Fournier et Magnin, ou les observateurs dont ils relatent les expériences, sont-ils bien certains d'avoir toujours observé cette précaution, si nécessaire, lorsqu'ils se sont trouvés en présence d'eaux légèrement troubles, au sein desquelles, ni à l'œil nu, ni au point d'observation, ni dans le tube du fluorescope, ils ne soupçonnaient peut-être la présence, réelle cependant, de la fluorescéine?

Ne serait-ce pas tout simplement à l'oubli de cette précaution importante que serait dû, au moins en certains cas, l'écart si peu vraisemblable entre l'instant d'arrivée, mettons de perception, de la fluorescéine et celui des autres substances?

Il semble qu'il y ait réellement un défaut de ce genre à rechercher dans les expériences rapportées par les auteurs précités. C'est encore l'avis de M. Marboutin, lorsque, récemment consulté à ce sujet, il m'écrivit :

« Ces résultats : sel marin, amidon, fluorescéine, me semblent bien bizarres. N'y aurait-il pas un gros loup?... Je ne comprends pas qu'une molécule d'eau tenant en dissolution de la fluorescéine soit en retard sur la molécule contenant le sel marin; je comprends mieux que l'amidon en suspension dans l'eau soit *en retard* sur les substances dissoutes. »

Si la première des conclusions de la note de MM. Fournier et Magnin, consacrée à l'ordre de vitesse différente des manifestations de la circulation souterraine, soulève de multiples points de protestation, de doute ou d'interrogation, il n'en est pas de même des deux autres conclusions de leur suggestif travail, conclusions auxquelles il semble qu'on puisse se rallier complètement et qui sont :

« Que la vitesse des cours d'eau souterrains peut *varier brusquement* et considérablement avec les précipitations atmosphériques;

» Que de la lenteur de propagation de la fluorescéine, il ne faudrait pas conclure à une lenteur correspondante de propagation des cultures (1) microbiennes et que *les sources vaclusiennes sont sujettes à*

(1) L'expression « cultures » ici employée ne paraît guère appropriée, les auteurs ayant en vue, non des cultures proprement dites, mais des réserves ou emmagasine-ments d'éléments microbiens accidentellement réunis dans des cavités naturelles, ne se vidant que par intermittence.

une contamination brusque, impossible à prévoir à temps ; il ne faut donc pas les admettre comme eaux d'alimentation, même en temps de sécheresse, puisqu'il suffit d'une pluie d'orage pour les empoisonner brusquement. »

Or, ce que l'on qualifie généralement de « sources vauclusiennes », est-ce autre chose que les sources ordinaires, à plus grand débit simplement, des terrains fissurés calcaires ?

Dès lors, on comprend de quelles garanties, de quelles études minutieuses et prolongées il faut s'entourer avant d'émettre un avis qui ne soit pas défavorable à l'utilisation des eaux du calcaire et combien peu d'entre elles, même satisfaisantes pendant nombre d'années, offrent cependant des garanties absolues de *sécurité future* comparables à celle des ressources aquifères extraites des terrains homogènes perméables.

M. *Van den Broeck* rappelle que la note de M. *Le Couppey de la Forest* dont il va être question a été envoyée en *épreuve préalable* à ceux des membres que la chose intéresse particulièrement et qui ont ainsi pu étudier le problème à loisir ; il se borne donc à résumer brièvement en séance cette note, dont le texte complet suit.

CONSIDÉRATIONS

SUR LE

MODE DE PROPAGATION DE LA FLUORESCÉINE SOUS TERRE

PAR

M. LE COUPPEY DE LA FOREST

Ingénieur agronome,

Secrétaire de la Commission d'études des eaux de la ville de Paris.

A la suite de la très suggestive communication faite dernièrement à l'Académie des sciences par MM. Fournier et Magnin sur la vitesse d'écoulement des eaux souterraines (1), M. Van den Broeck a bien voulu nous demander si les expériences que nous avons effectuées dans les diverses régions où la ville de Paris a entrepris des recherches confirmaient pleinement les conclusions de cette communication. Il nous est impossible pour l'instant de discuter par nous-même en détail les différentes conclusions du travail de MM. Fournier et Magnin : nos études ne sont pas assez avancées pour nous permettre d'avoir déjà une opinion personnelle sur le plus grand nombre des points mis en relief par ces conclusions, quelque peu surprenantes.

Nous demanderons toutefois la permission d'exposer ici quelques observations sur le mode de propagation souterraine de la fluorescéine, en nous basant sur les expériences que nous avons faites ces derniers temps.

D'après MM. Fournier et Magnin, la lenteur de la propagation de la fluorescéine dans les réseaux à régime vaclusien serait toujours très grande : cette vitesse reste, en général, inférieure à 1 kilomètre par jour.

Nous ne répondrons pas à cette assertion par des observations tirées

(1) E. FOURNIER et A. MAGNIN, *Hydrologie*. — *Sur la vitesse d'écoulement des eaux souterraines*. (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, 1903, n° 14, 6 avril, p. 910.)

des expériences effectuées dans les régions crayeuses alimentant la ville de Paris, soit par M. Marboutin pour ce qui touche les sources de l'Avre et celles de la Vanne, soit par M. Dienert pour ce qui concerne les sources de l'Avre et celles du Loing et du Lunain, soit par nous-même pour ce qui regarde les sources de la Vanne : MM. Fournier et Magnin considèrent, en effet, les régions où apparaissent ces sources comme des régions à perméabilité homogène.

Mais nous y répondrons par des expériences personnelles effectuées sur une vingtaine d'émergences distinctes, dans la région dite des sources des vallées de l'Yonne et de la Cure, région pour laquelle l'expression terrains à perméabilité homogène serait absolument inapplicable.

Les sources des vallées de l'Yonne et de la Cure, sur lesquelles nos études ont porté, sont, en effet, alimentées par des eaux qui, depuis leur point d'infiltration dans le sol jusqu'à leur point de réapparition aux émergences, circulent dans une succession de calcaires jurassiques de perméabilités très diverses.

Pour ne citer que deux exemples, la source du Bief, à Druyes-les-Bellesfontaines (vallée du ruisseau d'Audryes) provient en partie d'eaux s'infiltrant sur le Séquanien, cheminant dans ce terrain, puis dans le Rauracien et émergeant enfin dans l'Oxfordien (1).

Inversement, la source de Réchimey, près de Lucy-sur-Yonne, est alimentée pour une part par des eaux qui s'infiltrent sur le Bathonien, circulent dans ce terrain et dans l'Oxfordien, et réapparaissent dans le Rauracien (2).

Or, ces différents calcaires sont loin de jouir d'une perméabilité homogène. Ils sont tantôt divisés en petits bancs de 2 à 3 centimètres d'épaisseur, tantôt déposés en lits compacts, puissants de 1 mètre à 1^m,50. C'est, en effet, dans le Séquanien des environs de Druyes que sont ouvertes les belles carrières de pierre de taille de Druyes, de Molesmes, de Courson, etc.

La meilleure preuve que nous puissions donner de la non-homogé-

(1) M. LE COUPPEY DE LA FOREST, *Étude des sources des vallées de l'Yonne et de la Cure. — Premier rapport.* Commission scientifique de perfectionnement de l'Observatoire municipal de Montsouris. Travaux des années 1900 et 1901 sur les eaux de sources alimentant la ville de Paris, p. 596.

(2) M. LE COUPPEY DE LA FOREST, *Étude des sources des vallées de l'Yonne et de la Cure. — Deuxième rapport.* Commission scientifique de perfectionnement de l'Observatoire municipal de Montsouris. Travaux de l'année 1902 sur les eaux d'alimentation et les eaux d'égouts de la ville de Paris, p. 267.

néité de ces terrains, c'est que l'eau souterraine ne s'y déplace pas en nappe uniforme et que, pour se rendre d'un point à un autre, elle a souvent différents trajets souterrains à sa disposition. Il lui arrive parfois de prendre simultanément plusieurs de ces trajets.

C'est ainsi que, lors de certaines de nos expériences de coloration, nous avons noté que les sources observées ont été atteintes par deux flots consécutifs de fluorescéine, espacés l'un de l'autre de 4 à 50 heures et durant chacun pendant plusieurs heures (1).

D'autre part, les sources de l'Yonne et de la Cure offrent souvent des régimes d'une variabilité extrême. C'est ainsi que la source du Bief à Druyes débite 2,000 litres à la seconde en saison humide et descend à 60 litres, si ce n'est à 5, en saison sèche.

Ces sources sont donc bien des sources à régime vaclusien, provenant d'eaux ayant circulé dans des terrains jurassiques de perméabilités très différentes, et les résultats des expériences effectuées sur ces sources peuvent être rapprochés des observations faites par MM. Fournier et Magnin lors de leurs études hydrologiques dans le Jura.

Le tableau ci-joint résume toutes les expériences à la fluorescéine que nous avons eu l'occasion de faire jusqu'à ce jour sur ces sources.

Il résulte de l'examen de ce tableau que jamais, lors de nos expériences sur les sources en question, nous n'avons observé de vitesse de propagation de la fluorescéine inférieure à 1 kilomètre par jour. Bien au contraire, les chiffres trouvés pour ces vitesses oscillent toujours entre 4 et 7 kilomètres par jour.

Mais il y a lieu de faire une remarque à propos de ces chiffres : ils sont en réalité toujours inférieurs à la valeur absolue des vitesses et ils s'en écartent d'autant plus que le point où la fluorescéine a été déversée était moins absorbant.

Pour calculer la vitesse de propagation souterraine de la fluorescéine, nous nous contentons, en effet, d'évaluer le rapport

$$v = \frac{D}{T},$$

dans lequel

D = la distance à vol d'oiseau entre le point du jet de la matière colorante et le point de prélèvement de l'eau examinée;

T = le temps qui s'est écoulé depuis le jet de la fluorescéine jusqu'à la réapparition de celle-ci au point de prélèvement.

(1) M. LE COUPPEY DE LA FOREST. *Deuxième rapport*, pp. 262, 286 et 287.

Numéro de l'expérience.	Date de l'expérience.	Nom de l'expérience.	Expérience faite dans un :	Quantité d'eau absorbée par le bétairo ou le lit poreux lors de l'expérience.	Nature lithologique des terrains traversés.	Age géologique des terrains traversés.	Vitesse de propagation de la fluorescéine		Distance parcourue par la fluorescéine en mètres.
							à l'heure en mètres.	par jour en mètres.	
1	10 mars 1902.	Petit-Banny.	lit poreux.	20 litres à la seconde sur 500 mètres de long.	Calcaires fendillés, lithographiques; calcaires largement fissurés.	Séquanien, Rauracien, Oxfordien.	176 262 287 276 271	4,224 6,168 6,868 6,254 6,504	6,000 8,400 11,550 11,600 11,650
2	28 mars 1902.	Vau-Pros.	lit poreux.	4-5 litres à la minute sur 80 mètres de long.	Calcaires lithographiques de Vermenton.	Rauracien.	150	3,600	3,000
3	4 avril 1902.	Les Goulettes.	bétairo.	300-400 litres à la seconde.	Calcaires largement crevassés.	Bathonien.	1,000	24,000	1,250
4	4 avril 1902.	Pourly.	bétairo.	3-4 litres à la seconde.	Calcaires légèrement marneux, compacts; calcaires lithographiques de Vermenton.	Oxfordien, Rauracien.	105	2,520	7,200
5	13 avril 1902.	Joux-la-Ville.	lit poreux.	5-8 litres à la minute sur 300 mètres de long.	Calcaires compacts, légèrement marneux; calcaires lithographiques de Vermenton.	Oxfordien, Rauracien.	103	2,472	10,240

6	15 avril 1902.	Fontenay-sur-Fouronnes.	lit poreux.	7-8 litres à la seconde sur 2 hectares de superficie.	Calcaires lithographiques de Mailly-la-Ville; calcaires lithographiques de Vermenton.	Séquanien, Rauracien.	47 48 68 83	1,098 4,800 1,632 5,120 1,992 6,000	4,780 4,800 5,120 6,000
7	23 avril 1902.	Vellery.	bétoire.	1 litre à la minute.	Calcaires fendillés, lithographiques, largement fissurés.	Séquanien, Rauracien, Oxfordien.	59 113	1,416 1,792	7,360 7,820
8	23 avril 1902.	Nangis.	bétoire.	5-6 litres à la seconde.	Calcaires fissurés du Barrois.	Argiles et sables panaches, Portlandien.	240 246	5,760 5,890	2,880 2,920
9	4 ^{er} mai 1902.	Dordres.	bétoire.	1-2 litres à la seconde.	Calcaires fissurés.	Bathonien.	123 151 151	2,952 3,624 3,624	1,600 2,880 2,950
10	6 mai 1902.	Chevroches.	lit poreux.	3-5 litres à la seconde sur 150 mètres de long.	Calcaires légèrement marneux, compacts; calcaires fissurés.	Oxfordien, Rauracien.	180	4,320	1,980
11	9 mai 1902.	Courson.	lit poreux.	2 litres à la seconde sur 200 mètres de long.	Calcaires lithographiques de Mailly-la-Ville; calcaires lithographiques de Vermenton.	Séquanien, Rauracien.	76 79	1,824 1,896	12,800 13,280
12	2 août 1902.	Vaux.	courant souterrain.	Impossible à jauger.	Calcaires fissurés.	Séquanien.	100	2,400	300
13	1 ^{er} avril 1903.	Charentennay.	lit poreux.	5 litres à la seconde sur 1 are.	Calcaires fissurés et lithographiques.	Séquanien.	192 114 124	2,828 2,736 2,976	3,840 8,640 8,860
14	4 ^{er} avril 1903.	Chitry.	lit poreux.	3 litres à la minute sur 100 mètres.	Calcaires fissurés et lithographiques.	Séquanien.	292	7,008	5,840

Mais ce temps T ne représente pas le temps exact mis par la fluorescéine pour effectuer son trajet. Car T doit se diviser en deux :

$$T = t_i + t_u,$$

dans lequel :

t = le temps employé par la fluorescéine pour s'infiltrer et traverser la couche de terrain qui sépare la surface du sol du niveau auquel circule l'eau souterraine;

t_u = le temps vraiment utilisé par la fluorescéine pour se rendre depuis le point où elle a atteint le niveau d'eau souterrain jusqu'au point de prélèvement.

La valeur réelle de la vitesse de propagation souterraine de la fluorescéine est alors donnée par la formule

$$V_r = \frac{D}{t_u} = \frac{D}{T - t_i},$$

qui montre que la vitesse réelle est toujours supérieure à la vitesse calculée

$$V = \frac{D}{T_i},$$

et la différence entre la vitesse réelle et la vitesse calculée est donnée par la formule

$$V_r - V = D \frac{t_i}{T t_u},$$

qui prouve que la différence entre ces vitesses s'accroît quand t_i augmente. Nous ne connaissons pas, il est vrai, la valeur de t_i , mais il est évident que t_i doit varier en raison inverse de la perméabilité du sol au point où la fluorescéine a été jetée. Par suite, la vitesse réelle de propagation de la fluorescéine est toujours supérieure à la vitesse calculée et s'en écarte d'autant plus que le sol est moins perméable là où la matière colorante est déversée.

Or, parmi nos expériences, les plus nombreuses ont été effectuées soit dans des bétoires très faiblement absorbants, soit dans des lits poreux de ruisseaux. Il s'ensuit que les valeurs données pour les vitesses de propagation de la fluorescéine sont pour la plupart très inférieures aux valeurs réelles de ces vitesses et s'en éloignent beaucoup plus pour ces expériences que pour celles qui ont été faites dans des bétoires à grand pouvoir absorbant.

Un autre fait d'observation vient à l'appui de ce que nous avançons. Dans certaines expériences où la fluorescéine a été jetée dans des lits poreux et dans lesquelles il y a eu plusieurs points de prélèvement, telles que l'expérience du Petit-Banny (expérience n° 4 du tableau) et l'expérience de Fontenay-sous-Fouronnes (expérience n° 6), on remarque que plus les points de prélèvement étaient éloignés du point de déversement de la solution colorante, plus la vitesse calculée a été trouvée grande. Ce fait s'explique aisément. La vitesse est en effet calculée par la formule

$$v = \frac{D}{T} = \frac{D}{t_i + t_u}.$$

Or, pour une même expérience, t_i est constant, tandis que t_u varie sensiblement proportionnellement à D . Si l'on pose $t_u = KD$ (K étant une constante indéterminée), l'équation précédente peut s'écrire sous la forme :

$$v = \frac{D}{t_i + KD} = \frac{1}{\frac{t_i}{D} + K},$$

qui montre que pour une même expérience la vitesse calculée doit varier en raison directe de la distance.

Il résulte de ces diverses considérations que les vitesses données sur le tableau précédent sont loin d'être toutes voisines de la véritable vitesse de propagation de la fluorescéine sous terre, et que celle-ci, pour les terrains jurassiques de la région dite de l'Yonne et de la Cure, doit être regardée comme toujours égale au moins à 3 ou 4 kilomètres par jour.

Il n'en est pas moins vrai toutefois, ainsi que le disent MM. Fournier et Magnin, que la fluorescéine éprouve dans sa marche souterraine un certain retard par rapport à l'eau qui la véhicule. Ce retard, dans certains cas spéciaux et dans certains terrains particuliers, doit être la cause de l'extrême lenteur de propagation signalée par MM. Fournier et Magnin. La fluorescéine, en effet, malgré son extrême puissance de diffusion, ne s'écoule pas aussi vite que l'eau dans laquelle elle a été déversée. Si même le courant de l'eau n'est pas très rapide, elle a toujours tendance à se déposer quelque peu.

Plusieurs faits d'expérience mettent ce phénomène en évidence. MM. Fournier et Magnin ont déjà cité ce qui se passe quand on colore

des ruisseaux superficiels : la fluorescéine reste toujours en retard sur les matériaux en suspension ou sur les particules flottantes.

Pour notre part, nous citerons un autre fait qui prouve cette tendance de la fluorescéine à s'accumuler dans les points bas : c'est celui qui se produit quand on vient à déverser une dissolution de fluorescéine dans un ruisseau à faible débit dans le lit duquel, en aval du point du jet, est aménagée une mare ou toute autre excavation dont le cube est important par rapport au débit du ruisseau.

Au début, la fluorescéine s'étale dans la fosse, se mélange plus ou moins intimement à l'eau de cette dernière, et au bout d'un certain temps la coloration est visible dans l'eau du ruisseau à la sortie du réservoir.

Mais si on n'agite pas l'eau de la fosse, peu à peu l'eau colorée, en vertu de sa plus grande densité, descend dans les parties profondes de l'excavation, si bien que 24 ou 48 heures après qu'on a cessé le déversement de la fluorescéine dans le lit du ruisseau, une grande quantité de cette substance se trouve déposée sur la paroi inférieure de la fosse : l'eau du ruisseau qui entre non colorée dans le réservoir en sort également non colorée. Même au fluoroscope, on n'y aperçoit pas trace de fluorescéine, quoiqu'il reste des masses relativement importantes de cette substance en réserve dans le fond de la fosse.

Voyons alors par analogie ce qui se passera s'il y a de grandes cavités souterraines interposées sur le parcours d'un filet d'eau souterrain et si l'on vient à colorer ce filet par le déversement d'une solution de fluorescéine en amont de ces cavités. Au début de l'expérience, l'eau du filet sera colorée en aval des cavités pendant un certain temps. Puis, peu à peu, la fluorescéine se déposant, la coloration cessera d'être perceptible. Mais si plus tard il survient, par suite de chutes pluviales intenses, un brusque flux souterrain dans les cavités, l'eau sera brassée dans ces dernières et le filet sera de nouveau coloré à sa sortie.

Il nous a été donné d'observer des faits de ce genre dans une de nos expériences.

Le 1^{er} mai 1902, nous avons jeté de la fluorescéine dans un bétoire situé à Dordres (expérience n° 9 du tableau précédent). Plusieurs puits de la localité furent colorés du 1^{er} au 3 mai. La coloration cessa. Le 17 mai, il tomba une pluie abondante (41^{mm},8). Les puits furent de-rechef colorés pendant cinq jours, et le même fait se reproduisit après une chute pluviale de 15 millimètres survenue le 30 mai et une autre de 14 millimètres arrivée le 7 juin.

Les cavités jouent donc un rôle considérable dans la propagation

souterraine de la fluorescéine par le retard qu'elles apportent dans la marche de cette substance par rapport à celle de l'eau. Ce retard sera très différent suivant les cas, suivant l'importance des cavités souterraines et suivant la nature des terrains traversés.

La question de savoir si ce retard est plus grand pour la fluorescéine que pour d'autres substances tenues en suspension dans l'eau, telles que la levure de bière, ou dissoutes dans l'eau, telles que le sel marin, semblerait élucidée par la communication de MM. Fournier et Magnin. Nous ne saurions toutefois adopter sans de très formelles réserves les conclusions de cette communication. Nous croyons surtout qu'il ne faut pas se hâter de généraliser.

Nous ne pouvons, il est vrai, citer aucune expérience personnelle dont nous puissions mettre les résultats en regard de ceux obtenus par MM. Fournier et Magnin, les expériences que nous devons entreprendre, tant au moyen de la levure de bière qu'au moyen du sel marin, dans la région de l'Yonne et de la Cure n'ayant pu être encore effectuées par suite de diverses circonstances. Mais nous pouvons nous reporter à celles auxquelles ont procédé M. le Dr Miquel et M. Dienert dans les régions de la Vanne et de l'Avre.

Si nous prenons, par exemple, l'expérience effectuée au ru de la Fontaine à l'Érable (région de la Vanne), nous voyons que la levure de bière a mis 168 heures pour parvenir à la source de Cérilly (1), alors que la fluorescéine, à quelques jours d'intervalle, et sans qu'il fût tombé de chute pluviale appréciable, n'avait mis que 69 heures pour effectuer le même trajet (2).

De même, dans la région de l'Avre, lors de l'expérience de Chennebrun, la levure de bière avait mis respectivement 157, 150 et 150 heures pour gagner les sources de Blaou, de Foisy et d'Erigny (3), alors que la fluorescéine n'avait mis que 106, 108 et 103 heures pour gagner les mêmes sources.

Nous pourrions multiplier les citations de ce genre, établissant que,

(1) MIQUEL, CAMBIER, MOUCHET, *Études de la Vanne. Recherches sur la communication directe des sources de la Vanne captées pour la ville de Paris, avec les cours d'eau superficiels et les nappes souterraines.* — Commission de Montsouris. Travaux des années 1899-1900, p. 346.

(2) ALBERT-LÉVY, *Études de la Vanne; Vallées de la Vanne et de l'Yonne; Communication entre les eaux superficielles, les eaux souterraines et les sources.* — Même volume, p. 298, graphique n° 2.

(3) F. DIENERT, *Études sur les sources de la ville de Paris captées dans la région de l'Avre.* — Commission de Montsouris. Travaux des années 1900-1901, p. 277.

dans les régions crayeuses de l'Avre et de la Vanne, et pour des expériences effectuées dans des saisons identiques au point de vue hydrologique, la levure de bière a toujours un retard sur la fluorescéine, retard important il est vrai, mais d'un tout autre ordre de grandeurs que le retard considérable de la fluorescéine sur l'amidon, noté par MM. Fournier et Magnin.

On pourrait objecter toutefois que ces citations ont trait à des expériences qui ont été faites dans des terrains à perméabilité homogène, quoique nous ne voyons pas l'influence que pourrait avoir l'homogénéité de la perméabilité sur le retard ou sur l'avance de l'arrivée de la fluorescéine par rapport à la levure de bière.

Mais si nous prenons les travaux effectués par M. Dienert sur le courant souterrain des Boscherons (1), là on ne pourra pas nous opposer qu'il s'agit de terrains à perméabilité homogène. Le courant souterrain des Boscherons est en effet une véritable rivière souterraine, qui circule dans une large diaclase de la craie. Il offre tous les caractères d'un courant vaclusien. Or, les expériences de M. Dienert, pratiquées avec du sel marin, ont toujours prouvé que le sel marin, déposé dans le lit de l'Iton, arrivait au courant des Boscherons avec une vitesse de propagation très notablement inférieure à celle de la fluorescéine (2).

Il semble par suite qu'il soit très difficile pour l'instant de poser les lois générales de propagation souterraine de la fluorescéine et qu'il faudrait étudier cette propagation terrain par terrain.

Mais avant de conclure, nous voudrions dire quelques mots sur certaines causes d'erreur qui peuvent se présenter lors des expériences à la fluorescéine et mettre en garde contre ces causes d'erreur ceux de nos collègues qui seraient désireux de faire de telles expériences et en particulier qui voudraient tenter de déterminer les lois de propagation de cette substance relativement à d'autres.

Nous voulons parler du danger qu'offre l'emploi de trop petites quantités de fluorescéine.

En théorie, on peut employer de très petits poids de cette matière, grâce à l'emploi du fluorescope, qui a été inventé par M. Trillat et que notre collègue, M. Marboutin, a perfectionné. Ainsi que

(1) F. DIENERT, *Loc. cit.*, p. 275.

(2) F. DIENERT, *Deuxième rapport sur le courant souterrain des Boscherons*. — Commission de Montsouris. Travaux de l'année 1902, p. 180.

M. Marboutin l'a exposé ici même (1), le fluorescope permet de déceler dans l'eau des traces de fluorescéine équivalentes au dix-milliardième. On pourrait être tenté, par suite, de n'employer que de très faibles quantités de matière colorante, quelques centaines de grammes seulement, et cela par une double raison : d'abord dans le but très louable de diminuer les dépenses lors des expériences, puis dans celui, très politique, de ne pas effrayer les populations par des colorations intempestives de leur eau de boisson ou même de leur eau de lavage.

Mais l'emploi de faibles quantités de fluorescéine présente de sérieux inconvénients. La fluorescéine est attaquée par les sels calcaires et décolorée par les acides. Si elle doit traverser une épaisseur de terrain assez considérable avant de parvenir au niveau souterrain auquel elle circule en définitive, et si elle doit fournir ensuite un long trajet souterrain à travers des formations calcaires, elle sera fortement influencée et en grande partie retenue par le sol ainsi que par le sous-sol, et la quantité qui atteindra les postes de prélèvement pourra être trop faible pour être décelable au fluorescope. Certaines expériences pourront alors donner faussement des résultats négatifs.

D'autre part, la fluorescéine, se diluant dans les cavités qu'elle traverse et s'y déposant, pourra, au début d'une expérience, arriver en trop faibles quantités aux sources pour que sa présence puisse être reconnue. Mais si subitement un grand afflux d'eau survient dans ces cavités et en chasse brusquement les réserves de fluorescéine qui s'y étaient emmagasinées, ces dernières pourront alors parvenir aux sources observées en masses telles que celles-ci soient colorées. N'ayant pas noté le premier passage de la fluorescéine, mais observant, au contraire, le second, on sera alors porté à attribuer à la vitesse de propagation de cette substance une valeur inexacte.

Un pareil fait a failli nous arriver dernièrement.

Le 1^{er} avril 1903, lors de l'expérience effectuée à Chitry (exp. n° 14 du tableau), nous avons employé 2 kilogrammes de fluorescéine, quantité grande si on la compare à la distance qui nous séparait de la source à étudier : 5 840 mètres. Nous fîmes effectuer des prélèvements à la source considérée. Les échantillons montrèrent dès le 2 avril au matin une coloration très intense au fluorescope, correspondant à une vitesse de propagation de 292 mètres à l'heure. Puis la

(1) F. MARBOUTIN, *Sur la propagation des eaux souterraines. Nouvelle méthode d'emploi de la fluorescéine.* (BULL. SOC. DE GÉOL., DE PALÉONTOL. ET D'HYDROL., t. XV, 1901, p. 208.)

coloration cessa. Mais les 6 et 7 avril, il tomba de fortes pluies. Subitement, la coloration reparut le 9 avril à la source, mais cette fois si nette que la fluorescéine fut visible à l'œil nu dans toute la zone où le bassin sourcier avait 1^m,50 de profondeur. Ce second flux coloré ne correspondait plus qu'à une vitesse de propagation de 32 mètres à l'heure.

Nous avons déjà eu l'occasion de parler plus haut de ce fait de deux flux d'eau colorée se présentant pour une même source dans certaines expériences. Mais tandis que nous avons attribué ceux que nous avons signalés précédemment à la diversité des chemins parcourus sous terre par la fluorescéine, nous croyons que celui-ci est plutôt imputable à la présence de grandes cavernes sur le trajet des filets d'eau colorée. Il convient, en effet, de remarquer que, dans cette expérience de Chitry, ces deux flux ne se présentèrent pas dans les mêmes conditions que dans les autres expériences où nous avons également constaté deux flux colorés.

Tandis que dans les expériences du Petit-Banny (exp. n° 1), de Vellery (exp. n° 7) et de Courson (exp. n° 11), les deux ondées n'avaient été séparées que de 26, 50 et 4 heures, et cela pour des distances de 11 600, 7 800 et 15 200 mètres, ici elles furent espacées de 168 heures, alors que la distance n'était que 5 800 mètres. D'autre part, dans les expériences 1, 7 et 11, le second flux n'avait coïncidé avec aucune chute pluviale, tandis que dans l'expérience de Chitry, il succéda directement à de grandes pluies. Il est par suite à penser que le second flux observé dans cette expérience tient à la présence de cavités souterraines qui avaient emmagasiné de grandes quantités de fluorescéine et qui tout d'un coup les abandonnèrent.

Quoi qu'il en soit de l'origine de ce second flux dans l'expérience de Chitry, il n'en reste pas moins évident que si, dans cette expérience, nous avons employé de faibles quantités de fluorescéine, le premier flux aurait passé inaperçu pour nous, nous n'aurions noté que le second et nous aurions attribué à la vitesse de propagation de la fluorescéine le chiffre 32 au lieu du chiffre 292.

CONCLUSION.

On voit d'après la communication de MM. Fournier et Magnin et d'après ce qui précède que les lois de propagation de la fluorescéine sont loin d'être uniformes, même pour des terrains où les réseaux souterrains sont également vaclusiens.

Tandis que, lors de l'étude hydrologique effectuée par MM. Fournier

et Magnin dans le Jura, la vitesse de propagation de cette substance était, en général, inférieure à 1 kilomètre par jour, elle est toujours égale, au moins, à 3 ou 4 kilomètres pour les terrains jurassiques à régime vaclusien de la région dite des vallées de l'Yonne et de la Cure.

Le retard de la fluorescéine par rapport aux autres substances ne semble pas non plus être constant, ni même définitivement démontré : le phénomène est en tout cas, dans les régions crayeuses alimentant la ville de Paris, inverse de celui constaté dans le Jura.

Il ne semble donc pas qu'on puisse, dès à présent, formuler les lois générales de la marche souterraine de cette substance et qu'il faille, au contraire, pour déterminer ces lois, procéder à de nombreuses expériences dans des terrains très différents au point de vue de leur constitution géologique et rechercher, lors de ces expériences, quelle peut être l'influence de ces terrains sur la conservation ou la destruction de la fluorescéine.

Ces diverses expériences devront, pour pouvoir être comparées, être non seulement effectuées dans des saisons analogues au point de vue hydrologique, mais autant que possible faites simultanément; ainsi qu'on le sait depuis longtemps, et ainsi que M. Fournier l'a montré lui-même dans le cas de la source d'Arcier (1), le parcours des eaux souterraines est parfois très différent en saison sèche de ce qu'il est en saison humide.

Successivement, M. Van den Broeck donne connaissance à l'assemblée des lettres suivantes qu'il a reçues au sujet de l'intéressant problème de la vitesse des eaux souterraines et de la fluorescéine.

Note de M. Trillat.

Je n'ai pas d'observations particulières à faire, sauf les suivantes :
1° J'ai indiqué (*Mém. de l'Institut Pasteur*, 1899, p. 44) qu'il y avait lieu de toujours *filtrer* les eaux avant leur examen au fluorescope;

2° L'objection de M. Le Couppey (p. 10 de sa note) concernant l'emploi de petites doses de fluorescéine est peu fondée. Rien n'empêche d'employer des doses minimales de fluorescéine en employant le fluorescope;

(1) E. FOURNIER, *Sur le mode de propagation des eaux dans les calcaires*. (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, 13 janvier 1902.)

3° Il est bon d'ammoniacaliser l'eau avant l'examen au fluorescope (1);

4° Je serais fort heureux que votre recueil voulût bien donner un résumé du travail que j'ai fait paraître dans les *Annales de l'Institut Pasteur* et dont je vous ai envoyé un tiré à part; je crois cet exposé utile pour vos discussions;

5° Je désigne l'appareil sous le nom de fluorescope (de fluorescéine) et non de fluoroscope.

(s.) TRILLAT,

Chef de service à l'Institut Pasteur.

NOTA. — J'ai souligné dans ma Note sur la fluorescéine, publiée dans les *Annales de l'Institut Pasteur*, le passage où je recommande instamment de *filtrer*, le moindre trouble empêchant le jeu du dichroïsme de se produire.

Rien ne vaut la fluorescéine pour les recherches dont vous vous occupez, sauf peut-être la *fuchsine acide*, dans des cas tout à fait exceptionnels.

Il est décidé par l'Assemblée, à la suite de la demande ci-dessus, que le travail de M. Trillat, publié dans les *Mémoires de l'Institut Pasteur* (*Note sur la fluorescéine*), sera inséré *en entier* et annexé au procès-verbal de la séance.

Extrait d'une lettre de M. le professeur Fournier.

Après avoir fourni, en réponse à diverses demandes de renseignements, quelques données sur le mode opératoire permettant de déceler pratiquement la présence de l'amidon, du sel et des levures, M. Fournier annonce qu'il continue ses études sur les différences de vitesse de propagation des diverses substances employées, mais qu'il n'a pu jusqu'ici reconnaître les causes de ces différences.

Il ajoute ensuite :

« Dans l'expérience de la levée des vannes, il faut tenir compte de

(1) Cette précaution n'est toutefois nullement nécessaire avec les qualités de fluorescéine généralement employées en France et qui sont rendues complètement solubles; telles les qualités fournies, en vue d'expériences de l'espèce, par la Société des produits chimiques et matières colorantes de Saint-Denis, 105, rue Lafayette, à Paris, et par la Société nationale de produits chimiques, 80, rue des Écoles, à Paris.

(Note du Secrétariat.)

la propagation du *mouvement ondulatoire*, qui est non seulement plus rapide que le mouvement de propagation d'une solution, mais plus rapide que le mouvement moléculaire de l'eau elle-même sous l'influence du courant.

» Cette propagation ondulatoire peut, en certains cas, troubler des eaux décantées dans des réservoirs souterrains et faire apparaître un trouble aux résurgences, bien avant que les eaux troublées de la surface n'y soient parvenues.

» Des expériences simultanées avec l'amidon, le sel et la fluorescéine vont être entreprises par moi incessamment; jusqu'ici, ces expériences ont été faites à des *époques différentes* (1), mais les variations entre deux expériences à la fluorescéine exécutées en grandes et en basses eaux n'ont jamais été aussi considérables que celles qui existent entre deux expériences faites l'une avec le sel, l'autre avec la fluorescéine, toutes deux exécutées en eaux moyennes. »

Note de M. Putzeys.

M. E. Van den Broeck, notre zélé Secrétaire général, ne s'est pas simplement borné à demander aux personnes qu'il estime spécialement compétentes en la matière, leur avis sur les conclusions de MM. Fournier et Magnin; désireux de savoir si les expériences étaient comparables entre elles, il s'est adressé à l'un des auteurs de la note, M. Fournier, et lui a demandé si les conditions dans lesquelles les expériences qui servent de base à ses conclusions sont comparables.

Nous venons d'entendre la réponse de M. Fournier.

Je regrette d'être amené à dire que l'interprétation à donner à la lettre de M. Fournier n'est pas du tout celle à laquelle, en bonne logique, on devrait s'arrêter. On devrait pouvoir conclure de cette lettre : Les expériences ont été faites le même jour, du moins à intervalles suffisamment rapprochés pour éviter des causes d'erreur.

Nous savons, en effet, que rien n'est capricieux comme le régime des eaux souterraines en terrain calcaire; qu'il suffit d'un orage, d'une pluie, d'une manœuvre de vanne dans un bief d'usine, de moulin,

(1) Cette déclaration est en contradiction avec un énoncé fourni par une lettre antérieure de M. le Prof^r Fournier à M. Van den Broeck, énoncé auquel il est fait allusion dans l'analyse de la Note de MM. Fournier et Magnin présentée par M. Van den Broeck. Il semble y avoir eu malentendu entre la donnée d'une même époque de l'année et celle de la notion d'années différentes : ce qui est le cas des expériences en discussion, qui n'étaient donc nullement comparables. (Note du Secrétariat.)

d'une modification dans la distribution d'eau d'irrigation, pour travestir une situation que l'on croyait avoir bien déterminée.

Je n'ai donc pas à insister sur la portée précise que l'on devrait pouvoir attribuer aux termes d'une lettre, venant à l'appui d'une note d'allure scientifique, qui renseigne comme fait acquis (pour une région calcaire tout au moins) des faits déconcertants.

Si la science amène de perpétuelles surprises, s'il est bien des choses qui, d'abord niées, se sont trouvées rigoureusement vraies par la suite, encore faut-il que quand des faits paradoxaux sont énoncés, ils s'appuient sur des données positives.

Ce n'est pas le cas ici; si je suis tenté de croire que MM. Fournier et Magnin, dans la chaleur de leurs recherches, se sont laissés entraîner trop loin, je dois, dans l'intérêt de la science, montrer ce que, dans sa première lettre, mentionnée page 246, M. Fournier nomme des conditions semblables pour des expériences qu'il reconnaît aujourd'hui avoir été faites à des époques différentes.

La note déposée en séance de l'Académie des sciences dit que la source d'Arcier, dans l'expérience Jeannot, a témoigné de la présence du sel marin après neuf heures trente minutes au lieu des nonante-deux heures qui s'écoulaient avant l'apparition de la fluorescéine.

Or, si l'on ouvre le travail de M. Fournier sur « les sources et les résurgences du Franc-Comtois », on voit que ces expériences ont été faites à huit ans d'intervalle!

Je dois confesser, Messieurs, que j'ai dû comparer les textes à plusieurs reprises avant de pouvoir me pénétrer de l'idée que les conclusions de la note à l'Académie des sciences étaient basées sur des phénomènes relevés par des expérimentateurs différents, à plusieurs années de distance...

Nous n'avons pas à regretter le temps que nous avons consacré à une discussion en soi fort puérile, puisque nous combattions des moulins à vent; le trop grand empressement de MM. Fournier et Magnin nous a valu, en effet, la lecture d'une série de notes du plus haut intérêt, comme suite à l'appel de notre savant Secrétaire général.

Mais il y a désormais, pour toute personne ayant étudié le mode de circulation si imprévu, si fantasque, serait-on tenté de dire, des eaux dans les calcaires, il y a, dans le travail de MM. Fournier et Magnin, une juxtaposition de faits tellement inconciliables que la plus extrême bienveillance ne parviendra pas à sauver leurs conclusions du naufrage.

Extrait d'une lettre de M. Le Couppey de la Forest.

« Pour ce qui regarde les substances en suspension, elles ne marchent guère plus vite que la fluorescéine quand le courant de l'eau est rapide et que la fluorescéine est bien mélangée à l'eau. Mais si l'eau colorée entre dans une mare pour ainsi dire dormante, l'eau colorée gagne les profondeurs de la mare, en vertu de sa plus grande densité, tandis que les substances en suspension flottent à la surface. Elles peuvent sortir alors de la mare avant l'eau colorée, suivant les courants qui les entraînent. C'est du reste une expérience très simple à faire. »

Extrait d'une lettre de M. le Prof^r Max Lohest.

« Je ne puis m'expliquer les résultats négatifs de certaines expériences à la fluorescéine que j'ai faites dans les calcaires carbonifères sans invoquer, ou une circulation très lente des eaux colorées, ou un dépôt de la fluorescéine en cours de route.

» Je suis partisan d'employer de grandes quantités de fluorescéine, surtout après une première expérience négative.

» Au point de vue de la possibilité de contamination, les expériences à la fluorescéine ne fournissent qu'une première indication.

» Elles doivent être complétées par d'autres expériences : à la levure de bière, par exemple. »

Note de M. E.-A. Martel.

Bien que MM. Fournier et Magnin soient d'excellents observateurs et de hardis pionniers souterrains, — que je me félicite d'avoir lancés dans les recherches spéléologiques, — je ne puis admettre leur dernière note *sans les plus formelles réserves, car certaines de leurs conclusions tout au moins sont prématurées.*

Au contraire, je ne puis que souscrire intégralement à *la plupart* des remarques et conclusions de M. Le Couppey de la Forest.

Depuis 1896, j'étudie la marche de la fluorescéine dans les eaux tant souterraines qu'extérieures, et j'ai dû faire à ce sujet près de deux cents expériences.

Je n'en ai pas encore coordonné les résultats, parce que, pour moi, *la question n'est pas au point*; j'espère l'y mettre cette année par une dernière série d'expériences.

Comme le dit M. Le Couppey et comme je l'ai déjà imprimé plusieurs fois (*Les Abîmes*, 1894, p. 555, — *Annales des Mines*, juillet 1896, p. 167, — *Spehunca*, 1898, p. 158, — *La Spéléologie*, 1900, p. 81) : « ce chapitre encore est des plus incomplets... et les vitesses varient en fonction du volume d'eau, de la pente et des obstacles souterrains (rétrécissements, éboulements, siphonnements, bassins de retenue, etc.) qui retardent l'écoulement, diminuent la section en multipliant les frottements. »

Le mois dernier, j'ai fait à Padirac une expérience des plus instructives, que j'ai moi-même suivie deux jours, et qui a été ensuite observée pendant quinze jours sur un parcours intérieur de 1 kilomètre, particulièrement bien varié et approprié. J'en déduis en ce moment les résultats pour les communiquer incessamment à l'Académie des sciences et vous en ferai part ultérieurement.

Comme limites extrêmes, j'ai pu constater des minima de moins de 10 mètres à l'heure et des maxima de plus de 1 kilomètre A L'HEURE au cours de mes diverses recherches.

Jusqu'à présent, les expérimentateurs ont observé le temps entre la perte et la réapparition; il faut aussi — et c'est ce que j'ai fait et continuerai de faire — suivre la marche sous la terre même dans les rivières souterraines où cela est possible.

Le retard de la fluorescéine, visible à l'œil nu, par rapport à la marche moyenne de l'eau est réel, mais bien difficile à apprécier; on devra chercher les moyens de le préciser. De même pour la remise en marche par les crues.

Il est évident que la nature diversifiée des terrains change les conditions du phénomène.

Il importe d'employer des quantités assez notables de substance, même si l'on se sert du fluorescope, de façon à assurer une *coloration* très abondante.

Quant au retard de la fluorescéine sur l'amidon, le sel, etc., c'est une assertion contraire à tous les faits que je connais, et il faudrait que MM. Fournier et Magnin, avant d'émettre cette trop hâtive conclusion, l'appuyassent sur des chiffres empiriques précis.

En résumé, il faut remettre toute généralisation à plus tard, continuer et multiplier les expériences, raisonner et interpréter les résultats de chacune d'elles. Et quand elles seront suffisamment nombreuses, on pourra tenter — ce que je me réserve de faire dans un travail d'ensemble en préparation — de formuler quelques règles ou lois générales sur ce sujet.

Pour le moment, la devise doit être : *festina lente*. Sinon la précipitation engendrera des erreurs.

Extrait d'une lettre de M. Imbeaux.

« Je n'ai pas d'expériences à vous citer pour la question qui vous intéresse, ou plutôt je n'ai que des expériences négatives.

» Nous avons, à plusieurs reprises, jeté des quantités énormes de fluorescéine dans un ruisseau qui rentre sous terre à 1 kilomètre environ à l'amont de notre galerie de captage souterrain de la Forêt de Haye, au-dessus de Nancy (calcaire bajocien). Mais nous n'avons pu en trouver aucune trace dans l'eau captée : et cependant c'est la même eau qui nous revient, mais sans doute elle se filtre dans les détritiques qui remplissent les fissures du calcaire.

» La preuve en est que plusieurs analyses bactériologiques nous donnent de l'eau à peu près aseptique. On pouvait aussi se demander si le contact du calcaire ne détruit pas la fluorescéine.

» Nous en avons toutefois mis de telles quantités que cela n'est pas probable. Nous sommes heureux de ce résultat négatif, car nous avons ainsi toute chance d'avoir de l'eau très pure.

» Je crois, comme M. Le Couppey, qu'il n'y a pas de règle générale ni de vitesse fixe. Cela dépend du trajet compliqué et souvent contourné que l'eau doit faire dans les divers terrains ; et quels sont les terrains, même de semblable origine géologique, qui se ressemblent sous ce rapport ? »

Au sujet de cette dernière lettre, M. *Van den Broeck* annonce qu'il a demandé à son correspondant des renseignements complémentaires sur divers points qu'il lui paraît intéressant de préciser davantage dans cette communication, qui semble admettre une filtration suffisante des eaux dans un massif calcaire fissuré, et cela au sein d'un massif de peu d'étendue, cas qui paraît assez exceptionnel pour mériter une étude plus approfondie.

Note de M. Léon Janet.

Dans leur exposé relatif à la *vitesse d'écoulement des eaux souterraines*, MM. Fournier et Magnin arrivent à cette conclusion que, dans le Jura, la fluorescéine parcourt en général moins de 1 kilomètre par jour, et

chemine plus lentement que le sel, l'amidon, les particules argileuses et les bactéries.

Ils tirent en outre des formules usuelles de l'hydraulique cette conclusion que, par les grandes eaux, lorsque les galeries se remplissent complètement et que l'ensemble du système fonctionne comme une conduite en pression, *la vitesse s'accroît dans les portions dilatées.*

Il me paraît y avoir dans cette dernière affirmation une erreur évidente; le débit étant constant, la vitesse variera en raison inverse de la section et, par conséquent, *elle diminue dans les portions dilatées.*

Quant à la vitesse de propagation de la fluorescéine, les résultats énoncés pour le Jura par MM. Fournier et Magnin n'ont nullement le caractère de lois générales.

Tout d'abord, il y a lieu de remarquer que la craie, à travers laquelle circulent les eaux alimentant les sources de l'Avre, de la Vanne, du Loing et du Lunain, n'est pas, comme le disent MM. Fournier et Magnin, un terrain à perméabilité homogène. Sans doute les grandes cavernes sont beaucoup plus rares dans la craie que dans les terrains jurassiques, mais la propagation de la matière colorante s'effectue dans les diverses directions avec des vitesses très différentes, et l'on ne doit considérer comme terrains à perméabilité homogène que les sables.

Il est essentiel de faire remarquer, comme le dit M. Le Couppey de la Forest dans son intéressante communication, que les résultats obtenus sont faussés par le temps que met la matière à gagner la nappe ou les canaux souterrains. Lorsqu'on opère sur un bétouille engouffrant un grand volume d'eau, celle-ci arrive très rapidement à la nappe, mais il en est tout autrement quand l'expérience est faite dans un lit poreux faiblement absorbant.

Dans le bassin de Paris, les vitesses de propagation surpassent de beaucoup 1 kilomètre par jour.

Lorsqu'on observe deux flux successifs de fluorescéine, le phénomène peut être attribué, tantôt à des pluies chassant la matière colorante des cavités dans lesquelles elle s'était accumulée, tantôt à deux trajets souterrains différents.

Dans la craie, contrairement à ce qui semble se passer dans le Jura, la vitesse de propagation de la fluorescéine est plus grande que celle de la levure de bière et du sel marin.

Il est tout naturel de trouver de semblables divergences, parce que le régime des eaux souterraines est entièrement variable, suivant la nature des terrains dans lesquels elles circulent,

Dans les sables, les eaux souterraines forment des *nappes homogènes.*

Le débit d'un puits qu'on y creuse dépend principalement de la dépression produite.

Dans les calcaires très diaclasés, comme la craie, un puits trouve toujours de l'eau, quel que soit son emplacement, du moment qu'il descend au-dessous de la *surface piézométrique*, mais le débit est extrêmement variable avec la nature de la craie. Les eaux souterraines forment, en ce cas, des *nappes inhomogènes*.

Enfin, dans certains calcaires très compacts, il n'y a plus de surface piézométrique discontinue, et les eaux circulent dans des cavités souterraines de plus ou moins grandes dimensions. Les eaux souterraines forment alors non des *nappes*, mais des *canaux aquifères*.

Dans les deux premiers cas, la propagation de la fluorescéine peut être observée dans un grand nombre de puits et permettre la construction de *courbes isochronochromatiques*. Dans le dernier cas, la fluorescéine ne se propage que suivant un ou plusieurs canaux souterrains, et l'on ne peut guère la retrouver qu'aux points d'émergence.

En résumé, les résultats énoncés par MM. Fournier et Magnin pour le Jura ne doivent pas être généralisés, et, comme le dit M. Le Couppey de la Forest, de minutieuses observations, faites dans chaque région, sont seules susceptibles de donner les lois de propagation souterraine des divers réactifs employés pour les étudier.

Il est ensuite donné lecture de la note suivante envoyée par MM. Fournier et Magnin :

S U R

LA

PROPAGATION DES EAUX SOUTERRAINES

PAR

E. FOURNIER et A. MAGNIN.

Les résultats obtenus dans les intéressantes expériences signalées par M. Le Couppey de la Forest, et qui ont donné des vitesses de propagation beaucoup plus grandes que celles observées par nous dans le Jura, peuvent, à notre avis, s'expliquer facilement par des considérations géologiques. Les calcaires dans lesquels ont été faites les expériences de M. Le Couppey de la Forest sont, dit l'auteur, « tantôt divisés en petits bancs de 2 à 3 centimètres d'épaisseur, tantôt déposés en lits compacts puissants de 1 mètre à 1^m,50 » ; en un mot, ce sont

des calcaires bien stratifiés et dans lesquels l'épaisseur de chaque strate est toujours faible et inférieure, d'après l'auteur, à 4^m,50.

Il s'ensuit que l'eau, empruntant successivement les diaclases et les joints, atteint les résurgences par gradins successifs multiples, ainsi que le montre le schéma ci-dessous (fig. 1.)

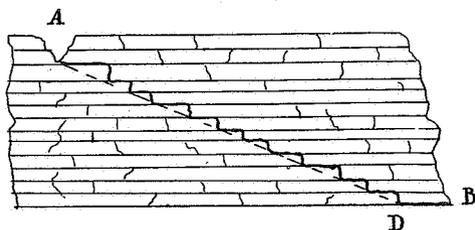


FIG. 1.

Nota. — La lettre C, qui manque sur la figure, doit se trouver sous la lettre A, et au sein du troisième banc figuré, à l'origine de la ligne pointillée.

Il résulte de la multiplicité des échelons que la pente entre la perte A et la résurgence B se trouve répartie sur une ligne CD, le long de laquelle la pente moyenne, bien que brisée par les échelons successifs, demeure néanmoins assez considérable (1). Dans les calcaires du Jura, auxquels s'appliquent nos expériences, les bancs compacts, sans joints de stratification, atteignent des épaisseurs allant de 10 à 50 mètres (voir fig. 2), de sorte que, depuis la perte, l'eau descend brusquement en trois ou quatre échelons verticaux jusqu'à un niveau N, à peine supérieur à celui de la résurgence R, et que le parcours NR s'effectue avec une pente *presque nulle*; la vitesse se trouve ainsi considérablement réduite.

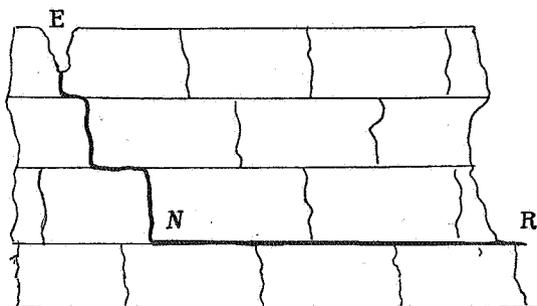


FIG. 2.

La faible valeur de la pente NR a été vérifiée par nous *de visu* dans de nombreuses explorations souterraines. Je citerai comme exemple le gouffre du Gros Godeau, pour lequel le parcours EN donne une

(1) Les échelons étant très rapprochés les uns des autres, il s'en suit que leur surface ne peut demeurer longtemps horizontale.

dénivellation de 80 mètres de verticale pour une soixantaine de mètres de projection horizontale, tandis que N R ne donne que 5 à 6 mètres de dénivellation pour environ 3 kilomètres de projection horizontale; le puits de la Belle Louise, où E N donne 115 mètres de dénivellation pour une centaine de mètres de projection et N R une vingtaine de mètres pour une dizaine de kilomètres; nous pourrions citer *des centaines* d'autres exemples; nous nous contenterons de renvoyer le lecteur aux n^{os} 21, 24, 27 et 29 du *Spelunca* et au n^o 89 du *Bulletin* du Service de la Carte géologique, où nous avons publié un grand nombre de coupes à l'échelle.

En outre, le volume des cavités souterraines des terrains de bordure du bassin de Paris (1) n'est pas comparable à l'immense volume de certaines cavités du Jura. Nos conclusions ne peuvent donc être appliquées qu'au Jura ou à des régions à constitution identique; nous n'avons d'ailleurs jamais eu l'intention de les généraliser davantage.

Elles reposent sur plus de CENT EXPÉRIENCES, qui ont toutes donné des RÉSULTATS CONCORDANTS et dont nous n'avons pu, limités par l'espace accordé aux auteurs, publier qu'une faible partie dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences.

Nous les publierons prochainement *in extenso*.

Nous avons fait aussi des expériences dans des conduites d'eau à diamètre constant, dans des canaux en ciment, des canaux en bois, etc.; la propagation a toujours été plus lente que la vitesse calculée sur les éléments connus (pente, pression, section), sans être cependant aussi lente que dans les réseaux vauclusiens.

Dans des terrains filtrants, sables d'alluvions et dans le Glaciaire, la vitesse a été encore bien plus faible que dans les galeries vauclusiennes. Dans les sables glaciaires, elle n'a fait que 0^m,80 en trois heures; dans des alluvions anciennes, elle n'a fait, dans une expérience, que 25 mètres par jour.

Nous sommes d'ailleurs persuadés que la vitesse n'est pas la même pour les diverses substances et qu'il intervient là des facteurs très complexes, dont l'action est encore loin d'être élucidée.

Nous avons tenu surtout à attirer l'attention sur l'inconvénient qu'il y aurait à considérer les expériences de coloration à la fluorescéine comme susceptibles de fournir des données exactes ou même comparables entre elles sur la vitesse réelle de la circulation souterraine; nous avons voulu montrer aussi que cette circulation est éminemment sujette à des variations brusques et d'une intensité considérable. Ces diverses considérations ressortiront d'une façon plus nette et plus

(1) Les sources de cette région sont aussi beaucoup plus rarement siphonnées.

précise de la lecture du mémoire détaillé que nous avons l'intention de publier et dont il nous était impossible de présenter tous les résultats dans la note condensée, et par suite forcément incomplète, présentée par nous à l'Académie des sciences.

Relativement à cette communication, M. le capitaine *Mathieu* relève le passage où les auteurs avancent que « dans les calcaires du Jura, les bancs compacts, sans joints de stratification, atteignant des épaisseurs allant de 10 à 50 mètres, l'eau descend brusquement en trois ou quatre échelons verticaux jusqu'à un niveau à peine supérieur à celui de la résurgence et que le parcours s'effectue ensuite avec une pente presque nulle; la vitesse se trouve ainsi considérablement réduite ».

Il fait remarquer que cette assertion est absolument contraire aux lois de l'Hydraulique, si l'on suppose que la différence de niveau et la distance horizontale entre la perte A et la résurgence B sont les mêmes dans les deux cas et si l'on admet une même section et une même pente pour les parties voisines de l'horizontale (voir le schéma I de la note ci-dessus). Une discussion s'élève ensuite, à laquelle prennent part MM. *Willems, Mathieu, Putzeys, Van den Broeck*, de laquelle il résulte que l'application que MM. Fournier et Magnin font des formules de Prony et de Darcy est complètement erronée (1). Ces formules sont établies pour des canalisations régulières et de section uniforme; elles ne donnent pas une « vitesse moyenne » comme le disent les auteurs, mais bien la vitesse d'écoulement de l'eau dans toutes les sections de la canalisation ou de la portion de canalisation considérée.

Il est du reste évident que la conclusion tirée de ces formules, mal comprises par les auteurs, est inexacte. Soit un réseau de galeries avec portions dilatées, tel qu'ils le supposent, et considérons le cas où, aux grandes eaux, les galeries se remplissent complètement et fonctionnent comme une conduite en charge. Il est clair qu'une fois le régime établi, il doit passer par chaque section du réseau le même volume d'eau pendant un même temps, ce volume correspondant au débit, c'est-à-dire au produit de la section par la vitesse. Ce produit étant constant pour un régime donné, il est clair que si la section augmente, la vitesse diminue.

(1) Il y a lieu de noter aussi que ces formules sont *inexactement reproduites* dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. Il faut lire :

$$V = 53.58 \sqrt{\frac{D\delta}{4L}} - 0.02\delta \text{ et } Q = \frac{\pi}{8} \sqrt{\frac{D^5\delta}{b_1L}}$$

au lieu de :

$$V = 53.58 \sqrt{\frac{DL}{4\delta}} - 0.02\delta \text{ et } Q = \frac{\pi}{8} \sqrt{\frac{D^5\delta}{b_1}}$$

Nous ne croyons pas devoir insister sur ce point d'hydraulique élémentaire, la fausse interprétation des auteurs ne pouvant résulter que d'une inattention dont ils se seront déjà rendu compte sans doute.

M. le capitaine Rabozée donne lecture du travail ci-dessous :

ESSAI

SUR LA

PROPAGATION DES EAUX SOUTERRAINES

PAR

Félix MARBOUTIN

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Chef de la mission hydrologique du Val d'Orléans.

PLANCHE B DES PROCÈS-VERBAUX.

Lorsque l'on jette une solution de fluorescéine dans un canal découvert à mouvement permanent, on remarque :

1° Au point où s'est opéré le jet, la formation de veines liquides filamenteuses, d'une fluorescence verte, qui se répandent en tout sens en aval du point où s'est effectué le jet.

Quelques-unes de ces veines fluides paraissent gagner le fond et s'étaler entre deux eaux en couches plus ou moins ondulées; d'autres se propagent dans le sens de l'écoulement, un peu au-dessous de la surface; toutes s'épanouissent au fur et à mesure de leur avancement;

2° A plusieurs centaines de mètres en aval, on voit d'abord apparaître des veines filamenteuses entre deux eaux; puis les eaux du canal présentent un reflet vert à peu près uniforme, dont l'intensité passe rapidement par un maximum, puis décroît très lentement;

3° Lorsque le canal traverse une cavité importante par rapport à son débit, des phénomènes analogues se produisent; des veines liquides à reflet vert paraissent gagner le fond et s'y étaler, tandis que d'autres gagnent peu à peu l'orifice de sortie entre deux eaux, puis l'eau emmagasinée dans la cavité prend lentement un reflet vert uniforme.

Il peut arriver, si la cavité est assez vaste, que les eaux affluentes et effluentes ne paraissent plus fluorescentes, quoique la fluorescence verte soit encore visible dans les eaux emmagasinées dans la cavité.

Le passage d'une crue donne dans ce cas un nouveau flot de fluorescéine, qui est observable en aval dans les eaux effluentes.

Ces phénomènes sont le résultat *prévu* et *obligatoire* de l'écoulement des eaux en nappe libre.

Considérons, en effet, la section d'un canal découvert à mouvement permanent :

Les molécules d'eau de cette section qui ont la vitesse de propagation la plus élevée sont placées sur l'axe du canal à une certaine distance au-dessous de la surface libre et les vitesses décroissent de ce point vers les parois.

L'arrivée d'un flot d'eau colorée, jeté dans ce canal, cause des remous; il se produit des veines filamenteuses qui se dispersent dans tous les sens, pendant que les molécules d'eau qui sont entraînées dans la région des vitesses maxima se déplacent dans le sens du courant. Ce n'est qu'après un temps très appréciable que l'homogénéité est rétablie; tout se passe comme lorsqu'une crue d'un affluent arrive dans l'émissaire principal.

Si le canal découvert traverse une gare d'eau, un réservoir ou un élargissement brusque de section, des remous se produisent, un nouveau régime tend à s'établir; il y a diffusion entre les substances dissoutes dans les molécules d'eau affluentes et les molécules d'eau de la section élargie, et pendant que les molécules fluides, qui sont dans la zone des vitesses maxima, gagnent la sortie, d'autres molécules gagnent le fond.

Ce sont les phénomènes que nous avons observés avec la fluorescéine.

Il arrive un moment où l'intensité de coloration des veines liquides affluentes sera moindre que l'intensité de coloration des molécules d'eau contenues dans le réservoir. Une diffusion en sens inverse de la précédente se produira, et il pourra arriver que les molécules effluentes ne présentent qu'une coloration assez faible pour passer inaperçue, tandis que les eaux du réservoir paraîtront encore colorées, la diffusion ne prélevant à chaque instant qu'une fraction de la matière colorante du réservoir; le temps nécessaire pour décolorer le réservoir est théoriquement infini.

L'écoulement en conduit forcé présente des phénomènes du même ordre, quoique les lois de l'écoulement ne soient pas les mêmes.

Dans la circulation souterraine, les fissures, diaclases, canaux ou cavernes peuvent, suivant la hauteur du niveau piézométrique de la nappe, fonctionner alternativement comme des canaux découverts ou comme des conduites forcées. Le passage de l'un de ces états au second ne se fera pas, en général, brusquement; mais les remous causés par

ces changements d'état seront toujours importants et entraîneront des phénomènes du même ordre que ceux que nous venons d'exposer.

L'étude de ces phénomènes présente de graves difficultés, et si cette étude, jusqu'aujourd'hui, a été conduite un peu au hasard, cela n'est dû qu'à l'incertitude qui existe toujours au début des nouvelles études scientifiques. L'hydrologie souterraine est une science expérimentale trop nouvelle pour qu'il en soit autrement.

On a proposé, pour suivre les eaux dans leur parcours souterrain, de leur adjoindre des corps que l'on peut facilement retrouver dans les résurgences. Les matières qui ont été soumises aux essais appartiennent à trois catégories :

1° Des substances susceptibles de flotter : balle d'avoine, de seigle, de blé, flotteurs de toutes formes et de toutes espèces;

2° Des matières pouvant rester en suspension dans l'eau pendant un temps assez long : flotteur lesté, amidon, micro-organismes (bacilles chromogènes, *Saccharomyces*, *Mycoderma aceti*);

3° Des matières solubles dans l'eau (sel de fer, chlorures, matières colorantes).

Du choix des substances à employer dans l'étude de la circulation souterraine.

Les substances qui sont susceptibles de rendre les meilleurs services paraissent devoir répondre aux conditions suivantes :

1° Être facilement entraînées par les eaux courantes ou faire corps avec elles;

2° Ne pas être contenues en quantité trop forte dans les eaux soumises à l'expérience;

3° Être très faciles à reconnaître;

4° Ne pas être altérées par un séjour plus ou moins long dans les diverses formations géologiques;

5° N'avoir pas un prix trop élevé.

Parmi les substances qui ont été proposées, seules les substances solubles dans l'eau répondent à ces conditions.

Les substances qui flottent ont l'inconvénient d'indiquer la vitesse superficielle, qui est moindre que la vitesse maximum, et elles sont retenues dans les parties siphonnantes. Elles ne sont utilisées scientifiquement que pour les jaugeages des cours d'eau superficiels.

Les substances en suspension ont des inconvénients moindres, elles tendent en général à se déplacer dans la zone des vitesses maxima;

mais elles sont susceptibles de se déposer dans les parties élargies et les lacs souterrains. Certaines de ces substances ont cependant été employées avec succès.

L'*amidon de pomme de terre* n'existe pas en général dans les eaux, il se reconnaît facilement au microscope en lumière polarisée, où chaque grain donne une croix noire, et la teinte bleue que lui communique l'iode en fait un auxiliaire précieux; mais ses grains ont des dimensions considérables (140 microns).

Il ne peut être utilisé que dans des cas très spéciaux où la vitesse de propagation est considérable.

Les micro-organismes ont été employés avec succès; on a proposé d'employer des bacilles chromogènes inoffensifs. M. le Dr Miquel, chef du service bactériologique, et M. Cambier, chef adjoint du service bactériologique à l'Observatoire de Montsouris, ont employé avec succès le *Saccharomyces cerevisiae* (levure de bière) (8 à 9 microns) et le *Mycoderma aceti* (1.5 μ) pour les études des eaux de sources qui alimentent Paris.

La levure de bière a donné d'excellents résultats, mais elle exige l'étude préalable des eaux de sources pour s'assurer que ces eaux ne contiennent pas le *Saccharomyces* employé.

Le *Mycoderma aceti* est d'un emploi plus délicat; ce mycoderme existe, en effet, dans beaucoup d'eaux de source, il nécessite une étude plus complète que les *Saccharomyces*. Ces germes ont l'avantage de pouvoir se multiplier dans des bouillons de cultures appropriés; ils peuvent par suite être décelés à une dilution que peuvent difficilement atteindre les substances minérales solubles.

Les substances dissoutes paraissent résoudre le problème dans toute sa généralité. Si on introduit dans la nappe, à l'état de *mélange intime*, un volume d'eau renfermant une substance en solution, les molécules d'eau qui auront reçu une modification dans leur composition, chemineront, en se diffusant, il est vrai; mais la substance dissoute ne semble pouvoir arriver aux résurgences qu'avec les eaux qui ont été utilisées pour sa dissolution.

Ce phénomène a été expérimentalement mis en évidence par M. Th. Schloesing pour l'étude des dissolutions dans les sols :

« J'ai mouillé (1), dit-il, 1^{kg},2 de sable lavé et séché avec 200 centimètres cubes d'une solution de sel marin contenant 10 grammes de

(1) TH. SCHLOESING, *Contribution à l'étude de la chimie agricole*. Paris, Dunod, 1885, p. 125.

chlorure par centimètre cube ; j'ai introduit et tassé légèrement le sable dans une allonge cylindrique ; au-dessus j'ai étalé du coton mouillé, chargé de répartir également de l'eau pure, que j'ai débitée à raison de 40 centimètres cubes par heure. Le liquide chassé de l'allonge a été recueilli par lots de 10 centimètres cubes ; de trois en trois lots, on a dosé le chlore.

	3 ^e lot.	6 ^e lot.	9 ^e lot.	12 ^e lot.	15 ^e lot.	18 ^e lot.	21 ^e lot.	29 ^e lot.
Chlore. . .	100.2	99.8	99.8	100	100	84	8	0

» On voit que les trois quarts au moins de la dissolution ont été déplacés sans mélange avec l'eau. »

M. Schlœsing ajoute que le sable n'a pas besoin d'être saturé d'eau : il peut exister des espaces libres entre les grains, le phénomène persiste.

« On se rend compte aisément de la manière dont se passe le phénomène. Qu'on divise le sable par la pensée en couches horizontales, très minces, et qu'on suppose que l'eau y descende par tranches parallèles. La couche supérieure abreuvée d'eau va céder à la suivante un premier mélange d'eau et de la dissolution saline ; la seconde cédera à la troisième un mélange un peu plus riche, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'une certaine couche reçoive de la précédente une dissolution dont la composition sera infiniment voisine de celle de la dissolution préexistante. A partir de cette couche, la portion de dissolution contenue dans les couches sous-jacentes sera simplement déplacée et chassée finalement hors du vase. »

Parmi les substances solubles, les sels de fer, les chlorures et les matières colorantes paraissent seuls avoir été employés.

Les sels de fer ont l'inconvénient de ne pas être assez stables.

Les chlorures se prêtent merveilleusement aux expériences, principalement le chlorure de sodium, qui paraît très bien résister aux agents de décomposition. Les gisements d'eaux géologiques chargées de sel, la prédominance du sel marin dans les eaux de la mer, nous montrent que ce corps est un des résidus ultimes de la désagrégation des roches, et qu'il est véhiculé sans altération au milieu des formations géologiques. Il est facile à déceler à l'aide du nitrate d'argent ; malheureusement, la présence normale du chlore dans les eaux exige un dosage exact au moyen d'une solution titrée d'azotate d'argent équivalente à 3^{sr},5 de chlore par litre, et du chromate de potasse comme indicateur.

Parmi les matières colorantes, la fluorescéine a été employée avec succès. M. Camille Vincent, professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures de Paris, préconise cette substance depuis plus de vingt ans pour cet usage. M. Ferray, d'Évreux, l'a employée avec succès en 1882, pour les études des sources de la région de l'Avre et de l'Iton, et M. A. Trillat a montré (1) qu'elle résiste mieux aux agents de décomposition que les fuchsines neutres ou acides, le violet de Paris, le bleu de méthylène, le vert malachite, l'auranine, le rouge Congo, l'éosine, la safranine.

Nous préférons cette substance à toutes les autres, à cause de ses propriétés :

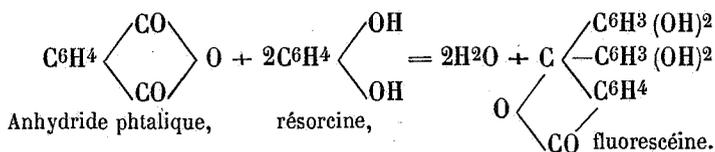
1° Elle est très facile à reconnaître à l'œil nu, sans avoir besoin de recourir à une manipulation, quelque simple qu'elle soit.

2° La visibilité seule permet de la distinguer de la coloration propre des eaux à condition, toutefois, que l'on mette en jeu la propriété fluorescente qui la caractérise.

3° Elle résiste d'une manière très suffisante aux agents de décomposition qu'elle rencontre dans le sous-sol. Dans nos expériences personnelles, dans celles de M. Fournier et de M. Le Couppey de la Forest, on a pu retrouver cette substance après un séjour de dix jours dans des sols crayeux ou calcaires.

4° Elle n'a pas pu être fixée sur les fibres textiles et, par suite, on n'a pas à craindre de la voir disparaître comme beaucoup de substances tinctoriales.

La fluorescéine que nous employons n'est pas la fluorescéine chimique, qui résulte de l'action de l'anhydride phtalique sur la résorcine à 195°-200°.

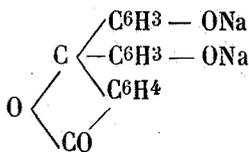


Cette substance (tétraoxyphtalophénone) est insoluble dans l'eau, mais si on la dissout dans un alcali potasse, soude ou ammoniacque,

(1) A. TRILLAT. *Sur l'emploi des matières colorantes pour la recherche de l'origine des sources et des eaux d'infiltration*. (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, 13 mars 1899.) — Voir aussi dans les Annexes du présent procès-verbal la reproduction de l'étude de M. TRILLAT : *Essai sur l'emploi des matières colorantes pour la recherche des eaux d'infiltration*, publiée dans les ANNALES DE L'INSTITUT PASTEUR, t. XVIII, pp. 444-451.

elle perd deux molécules d'eau et donne des composés stables solubles dans l'eau; ce sont les sels de la tétraoxyphthalophénone anhydride.

Le sel de soude que nous employons



est une substance solide d'une couleur jaune orange quand elle est pure et rouge-brun si elle contient des impuretés (excès d'alcali).

Ses solutions dans l'eau sont rouges par transparence et elles présentent, par réflexion, une belle FLUORESCENCE verte qui est caractéristique de la fluorescéine et qu'il ne faut pas confondre avec la coloration.

L'intensité de la fluorescence est telle qu'elle est encore visible à l'œil nu à la dilution du *deux cent millionième* et qu'elle peut être décelée au moyen de notre fluoroscope au *dix-milliardième*.

Emploi de la fluorescéine.

L'emploi de la fluorescéine est assez délicat; il ne donnera les résultats que l'on est en droit d'en attendre que si certaines précautions sont prises.

1° On désire connaître si une perte d'eau contribue à l'alimentation d'une source.

Il suffira de diluer un poids déterminé de fluorescéine dans l'eau et de la *mélanger intimement* avec l'eau qui se perd.

Il y a intérêt à opérer sur un volume d'eau perdue assez considérable et par suite à exécuter le jet de la fluorescéine pendant un temps assez long, la quantité de fluorescéine versée à l'heure étant calculée d'après le débit de la nappe et le volume d'eau emmagasinés dans le sous-sol.

2° On désire connaître la propagation des eaux souterraines dans une région déterminée.

Ici le problème est tout autre; il faut modifier profondément la composition de la nappe en un point déterminé et assurer la diffusion de la matière employée.

Dans ce dernier cas, la surélévation d'un niveau piézométrique de la nappe au point où se fait le jet est indispensable; on y parvient en faisant arriver en ce point une quantité d'eau supérieure à celle qui se

perd en temps normal, par exemple en effectuant la levée des vannes d'un moulin pendant un temps plus ou moins long.

Cette surélévation du niveau piézométrique n'a qu'un but : *assurer la dispersion de la matière dissoute dans un grand volume d'eau de la nappe.*

Il peut se faire que cette arrivée d'eau supplémentaire cause une intumescence dans la nappe aquifère; cette intumescence se propagera en suivant les lois de l'écoulement des eaux et pourra se traduire aux sources par une augmentation de débit ou une surélévation du plan d'eau.

Il ne faut pas confondre ce phénomène avec l'arrivée des molécules liquides. C'est un phénomène d'ordre mécanique, qui peut être comparé à celui de la transmission des vitesses dans un milieu parfaitement élastique dont l'expérience classique de Mariotte montre les effets.

Il n'y a pas plus de relation entre ce phénomène et la circulation des molécules d'eau qu'il n'y en a entre la transmission du son ou de la lumière et le déplacement de molécules d'air ou de l'éther.

Les phénomènes d'intumescence produits après les pluies ou après une crue sont du même ordre. Dans nos études sur la circulation des eaux souterraines du val d'Orléans, nous avons montré que les intumescences produites sur la Loire, par les crues, sont reproduites sans retard de phases à la source du Loiret et dans les puits forés qui atteignent la nappe du Calcaire de Beauce. Cela nous a permis d'établir que la nappe du Calcaire de Beauce circule sous pression au droit du val d'Orléans, c'est une *nappe captive* ou *ascendante*, mais nous ne croyons pas pouvoir comparer la vitesse de propagation des molécules d'eau perdue en Loire avec la vitesse de propagation de l'intumescence.

Quantité de fluorescéine à employer.

La quantité de fluorescéine à employer est très variable avec chaque cas particulier, c'est une question d'espèce. Nous avons souvent employé avec succès des quantités très faibles de cette substance (500 à 400 grammes); mais nous n'avons jamais hésité à employer des poids considérables lorsque cela était nécessaire; c'est ainsi que dans une expérience faite sur la Loire, nous avons jeté 50 kilogrammes de fluorescéine en une demi-heure, soit 100 kilogrammes à l'heure. La fluorescéine a été retrouvée à la source du Loiret quelques jours après.

Il faut employer la fluorescéine avec assez de prudence pour ne pas colorer d'une manière trop intense les sources et les puits du voisinage; l'expérience est le meilleur guide.

Un poids de 0^{kg},500 jeté par heure et par mètre cube-seconde de débit de la nappe nous a donné de bons résultats.

Si la distance est faible, on peut réduire ce chiffre; on l'augmentera avec la distance.

La durée du jet gagne à être longue si l'absorption des eaux est rapide, elle sera courte pour les lits poreux ou les rivières à pertes partielles. Une durée de quinze à trente minutes donne en général de bonnes indications.

Nous croyons devoir ajouter que la quantité de fluorescéine à employer dépend essentiellement de la qualité de cette substance. Nous avons montré que le commerce livre des fluorescéines ayant un pouvoir fluorescent variable dans la proportion de *un à mille* (1).

De la vitesse de propagation de la fluorescéine.

MM. E. Fournier et A. Magnin, dans une note parue aux *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, le 6 avril 1903, ont mis en relief la lenteur de propagation de la fluorescéine.

La vitesse de propagation resterait en général inférieure à 1 kilogramme par jour, et d'autres substances : amidon, sel marin, donneraient des vitesses de propagation supérieures à celle qui serait accusée par la fluorescéine.

Les conditions locales déterminant le mode d'écoulement des eaux sont très variables, elles varient d'un jour à l'autre; mais nous croyons devoir faire nos réserves au sujet de la lenteur de la fluorescéine indiquée par ces savants.

Dans les régions de l'Avre, de la Vanne, du Loiret, où nous avons opéré, la vitesse de propagation de la fluorescéine n'a jamais été inférieure à 40 mètres par heure, soit 960 mètres par jour, et la vitesse moyenne apparente a été de 120 mètres à 160 mètres à l'heure, soit 2800 à 4500 par jour, la distance entre le béttoire et les sources étant mesurée à vol d'oiseau, ce qui représente une vitesse moyenne réelle supérieure aux chiffres indiqués.

Nous croyons devoir insister sur la nécessité de comparer entre elles des expériences faites au même lieu et à la même époque : l'expérience

(1) *Fournisseurs* auxquels on peut s'adresser en confiance : Société de produits chimiques et matières colorantes de Saint-Denis, 105, rue Lafayette, à Paris, et Société nationale de produits chimiques, 50, rue des Écoles, à Paris. (*Note du Secrétariat.*)

Desor, amidon, 8 heures, faite à Noiraigue, date de 1864, et l'expérience à la fluorescéine, 204 heures, est récente (1).

L'expérience *Jeannot*, sel marin, 9 1/2 heures, date de 1886; l'expérience à la fluorescéine, 92 heures, est de 1894 (1).

Ces expériences prouveraient tout au plus que le régime souterrain a changé à Noiraigue de 1864 à nos jours et à Arcier de 1886 à 1894; elles ne sauraient montrer la différence de vitesse de propagation accusée par le sel marin, l'amidon d'une part et la fluorescéine d'autre part.

Nous avons entrepris des expériences simultanées comparatives entre l'amidon, le sel marin et la fluorescéine. (*Voir les tableaux qui suivent le présent texte et les diagrammes [planche B], qui l'accompagnent.*)

Nous avons fait dissoudre dans l'eau le sel marin, puis nous délayons à la main l'amidon dans la solution salée et nous ajoutons la fluorescéine à la solution amido-salée. Le jet est effectué au seau à la volée dans le moins de temps possible sur le ruisseau de Dhuy, affluent du Loiret, qui a une pente moyenne de 0^m,30 par kilomètre, une largeur moyenne de 3 à 5 mètres et une profondeur de 0^m,20 à 0^m,50; ce ruisseau est très sinueux et il est semé de cavités qui atteignent 2 à 3 mètres de profondeur.

Des observateurs placés en aval du point où s'est effectué le jet prennent des échantillons tous les quarts d'heure.

Deux expériences ont déjà été exécutées; nous n'avons jamais trouvé d'amidon ni de sel marin avant l'arrivée de la fluorescéine.

Un tableau que l'on trouvera plus loin donne les résultats de l'expérience effectuée le 29 mai 1905; on y a consigné les observations faites à 510, 770, 980, 2200, 5200 mètres du point où s'est effectué le jet.

On remarquera que la fluorescéine a toujours été décelée au fluorescope avant qu'une augmentation sensible de la teneur en chlore ait été reconnue, et cette substance est encore décelée longtemps après le moment où la teneur en chlore paraît être redevenue normale. Cela ne veut pas dire que la propagation des deux substances a différé: ces résultats ne sont dus qu'à la sensibilité du fluorescope, qui permet de déceler *un millième de milligramme* de fluorescéine par litre, tandis que dans cette expérience le dosage du chlore ne permettait de déceler que des augmentations de 1 milligramme par litre.

Dans les expériences à la fluorescéine que nous avons eu l'occasion d'exécuter soit dans la région de l'Avre (craie turonienne), soit dans la région de la Vanne (craie senonienne), la vitesse de propagation

(1) Expériences citées par MM. Fournier et Magnin

donnée par la fluorescéine a toujours été pratiquement identique à celle obtenue par MM. les D^s Miquel et Cambier au moyen de la levure de bière, quand la vitesse de propagation de la fluorescéine n'a pas été supérieure à celle indiquée par la levure (1).

L'arrivée des troubles après les pluies et les crues microbiennes sont des renseignements précieux, mais ces deux éléments ne sont pas liés entre eux; il est même rare d'observer une crue bactérienne au moment où les eaux deviennent troubles.

Pour les sources qui alimentent Paris, on peut même établir qu'une eau trouble est peu riche en bactéries; dans le bassin du Loiret, les crues bactériennes précèdent en général les eaux troubles, et ces deux phénomènes ne sont pas dus aux mêmes causes.

Indépendamment des crues microbiennes causées par l'arrivée des micro-organismes charriés par les molécules d'eau de surface qui n'ont pas le temps de s'épurer, il existe des crues microbiennes causées par les remous, les changements de vitesse, les intumescences, qui amènent aux émergences ce que l'on peut appeler les *dépôts microbiens de décantation* et les boues déposées dans les conduites naturelles souterraines qui entrent en service à la suite de ces phénomènes.

Ces crues microbiennes, ces troubles n'ont pas de liens directs avec la propagation des eaux souterraines accusées par les substances dissoutes; ils peuvent provenir de points *beaucoup plus rapprochés* que les points d'absorption des eaux superficielles soumis à l'expérience, il n'y a entre eux qu'un rapport de cause à effet.

C'est ainsi que dans le val d'Orléans, la fluorescéine déversée en Loire se retrouve dans les puits forés de l'usine élévatoire d'Orléans au bout de trois à cinq jours, suivant le point où elle a été déversée, tandis que les crues de la Loire causent :

1° Une crue bactérienne au moment où la crue arrive devant Orléans, c'est-à-dire avant l'arrivée des eaux de la crue; elle provient du changement de sens des courants;

2° Un minimum de bactéries, un minimum de matières organiques, un abaissement du degré hydrotimétrique et de la température vers le dixième jour;

3° Une crue bactérienne vers le vingtième jour qui provient des eaux phréatiques et superficielles qui se trouvent dans un rayon de 200 mètres de l'usine, la Loire étant à 7 000 mètres;

4° Les troubles ne se produisent que si les crues atteignent une valeur suffisante pour entraîner les dépôts boueux de décantation.

(1) Voir pour le détail de ces faits le tableau de la page 284.

BÊTOIRES.	DISTANCES en MÈTRES.	FLUORESCÈNE.			LEVURE DE BIÈRE.		
		Dates.	Durée du trajet en heures.	Sources.	Dates.	Durée du trajet en heures.	Sources.
Veau-Renard (Avre) Fontaine à l'Érable. Le Jon- cheroy (Vanne)	4 700	40 avril 1900.	31	Nouvet.	3 avril 1900.	32	Chambre de jauge des sources.
	6 300	17 juill. 1900.	69	Cerilly.	22 juill. 1900.	168	Cerilly.
	11 800	Id.	87	Patures.	Id.	144	Usine éléva- toire de Chigy.
	11 800	Id.	90	Maroy.			
	13 400	Id.	98	Miroir.			
	13 000	Id.	85	Auge.			
	12 800	Id.	86	Malhortie.			
	12 400	Id.	85	Saint-Philibert.			
	12 400	Id.	85	Saint-Marcouf.			
	1 800	16 sept. 1900.	9	Miroir.			
Lavoir de Vaumort (Vanne)			40	Auge.	16 sept. 1900.	45	Miroir.
			12	Malhortie.			

PROPAGATION DES EAUX COURANTES

Ruisseau le Dhuy, affluent du Loiret

Jet à 7 h du matin, le 29 mai 1903 : 40 kilogr. sel marin et 0^{ks} 600 fluorescéine. — Débit à la seconde : 18 litres. Pente moyenne : 0^m,30 par kilomètre.

Heures des prélèvements.	Durée du trajet.	A 510 mètres.			A 770 mètres.			A 980 mètres.		
		Fluorescéine.		Chlore par litre.	Fluorescéine.		Chlore par litre.	Fluorescéine.		Chlore par litre.
		Fluorescope.	Oeil nu.		Fluorescope.	Oeil nu.		Fluorescope.	Oeil nu.	
Matin. 10 ^h 00	3 ^h 00	?	0	Milligr. 10.8	0	0	Milligr.	»	»	Milligr.
15	15	visible	?	12.6	0	0	»	»	»	»
30	30	id.	visible	19.8	0	0	»	»	»	»
45	45	id.	très forte	28.8	0	0	»	»	»	»
11 ^h 00	4 ^h 00	id.	id.	32.4	0	0	9.0	0	0	»
15	15	id.	id.	34.2	0	0	»	0	0	»
30	30	id.	id.	30.6	0	0	»	0	0	10.8
45	45	id.	id.	27.0	0	0	»	0	0	»
12 ^h 00	5 ^h 00	id.	forte	21.6	0	0	9.0	0	0	10.8
15	15	id.	id.	18.0	visible	0	12.6	0	0	»
30	30	id.	id.	14.4	id.	visible	18.0	0	0	10.8
45	45	id.	faible	14.4	id.	très forte	27.0	0	0	»
Soir. 1 ^h 00	6 ^h 00	id.	id.	»	id.	id.	25.2	visible	0	10.8
15	15	id.	?	10.8	id.	id.	25.2	id.	visible	14.4
30	30	id.	0	12.6	id.	id.	25.2	id.	forte	14.4
45	45	id.	0	10.8	id.	forte	23.4	id.	id.	23.4
2 ^h 00	7 ^h 00	id.	0	10.8	id.	id.	23.4	id.	id.	»
15	15	»	»	»	id.	id.	16.2	id.	id.	25.2
30	30	»	»	»	id.	faible	14.4	id.	id.	25.2
45	45	»	»	»	id.	?	»	id.	faible	23.4
3 ^h 00	8 ^h 00	»	»	»	id.	0	14.4	id.	id.	23.4
15	15	»	»	»	id.	0	»	id.	id.	»
30	30	»	»	»	id.	0	12.6	id.	id.	16.2
45	45	»	»	»	id.	0	»	id.	id.	»
4 ^h 00	9 ^h 00	»	»	»	id.	0	10.8	id.	id.	12.6
15	15	»	»	»	id.	0	»	id.	?	»
30	30	»	»	»	id.	0	»	id.	0	14.4
45	45	»	»	»	id.	0	»	id.	0	»
5 ^h 00	10 ^h 00	»	»	»	?	0	10.8	id.	0	12.6
15	15	»	»	»	»	»	»	id.	0	»
30	30	»	»	»	»	»	»	id.	0	10.8
45	45	»	»	»	»	»	»	id.	0	»
6 ^h 00	11 ^h 00	»	»	»	»	»	»	id.	0	10.8

Note. Les observations ont cessé : à 510 m. à la 7^e heure; à 770 m. à la 10^e heure; à 980 m. à la 11^e heure; à 2 200 m. à la 22^e heure; à 3 200 m. à 23 h. 45'.

Heures des prélèvements.	Durée du trajet.	A 2,200 mètres.			A 3,200 mètres.		
		Fluorescéine.		Chlore par litre.	Fluorescéine.		Chlore par litre.
		Fluoroscope.	OÛil nu.		Fluoroscope.	OÛil nu.	
Soir.				Milligr.			Milligr.
3 ^h 45	8 ^h 45	0	0	12.6	»	»	»
5 ^h 15	10 ^h 15	0	0	10.8	»	»	»
6 ^h 00	11 ^h 00	?	0	12.6	»	»	»
15	15	visible	visible	12.6	»	»	»
30	30	id.	id.	12.6	»	»	»
45	45	id.	id.	10.8	»	»	»
7 ^h 00	12 ^h 00	id.	forte	12.6	0	0	10.8
15	15	id.	id.	14.4	0	0	»
30	30	id.	très forte	18.0	0	0	»
45	45	id.	id.	19.8	0	0	»
8 ^h 00	13 ^h 00	id.	id.	21.6	0	0	10.8
15	15	id.	id.	18.0	0	0	»
30	30	id.	forte	16.2	0	0	»
45	45	id.	id.	14.4	0	0	»
9 ^h 00	14 ^h 00	id.	id.	12.6	0	0	10.8
15	15	id.	id.	12.6	0	0	10.8
30	30	id.	faible	12.6	visible	0	10.8
45	45	id.	0	»	id.	0	10.8
10 ^h 00	15 ^h 00	id.	0	12.6	id.	visible	12.2
15	15	id.	0	»	id.	forte	14.4
30	30	id.	0	10.8	id.	id.	14.8
45	45	id.	0	»	id.	id.	15.8
11 ^h 00	16 ^h 00	id.	0	10.8	id.	id.	14.4
15	15	id.	0	»	id.	id.	16.2
30	30	id.	0	»	id.	id.	16.2
45	45	id.	0	»	id.	id.	16.2
12 ^h 00	17 ^h 00	?	0	10.8	id.	id.	12.6
15	15	?	0	»	id.	faible	12.6
30	30	?	0	»	id.	id.	11.5
45	45	?	0	»	id.	id.	10.8
Matin.							
1 ^h 00	18 ^h 00	??	0	9.0	id.	id.	11.9
15	15	»	0	»	id.	id.	»
30	30	»	0	»	id.	0	10.8
45	45	»	0	»	id.	0	»
2 ^h 00	19 ^h 00	??	0	10.8	id.	0	10.8
15	15	»	0	»	»	0	»
30	30	»	0	»	»	0	»
45	45	»	0	»	»	0	»
3 ^h 00	20 ^h 00	0	0	10.8	id.	0	10.8
30	30	»	0	»	»	0	»
4 ^h 00	21 ^h 00	»	0	10.8	?	0	10.8
30	30	»	0	»	»	0	»
5 ^h 00	22 ^h 00	0	0	10.8	»	0	10.8
30	30	»	»	»	0	0	»
6 ^h 00	23 ^h 00	»	»	»	0	0	10.8
45	45	»	»	»	0	0	10.8

(Voir dans la planche B ces résultats transformés en graphiques.)

Nouvelle expérience du 12 juin 1903 au ruisseau le Dhuy.

Jet. — Solution amidon et fluorescéine. -- Distance parcourue : 100 mètres.

Heures des prélèvements.	FLUORESCÉINE.		AMIDON.	Observations.
	Fluorescope.	Oeil nu.		
Soir.				
6 ^h 00	0	0	pas vu	Les observations pour l'amidon ont été réguliè- rement faites toutes les cinq minutes.
15	0	0	id.	
25	0	0	id.	
30	0	0	id.	
35	0	0	id.	
40	vu	0	id.	
45	id.	vu	présence	
50	id.	forte	»	
55	id.	id.	»	
7 ^h 00	id.	très forte	présence	
5	id.	id.	id.	
10	id.	id.	»	
15	id.	id.	»	
30	id.	forte	»	
45	id.	faible	»	
8 ^h 00	id.	id.	»	

Nouvelles expériences, du 13 juin 1903, au ruisseau le Dhuy.

Jet à 40 h. du matin : 45 kilogr. sel marin, 5 kilogr. amidon, 0^{kg},300 fluorescéine et 1 kilogr. de confetti en papier rose.

Heures des prélèvements.	Durée du trajet.	A 650 mètres.				A 1 150 mètres.				
		Coloration de la fluorescéine.		Chlore par litre.	Amidon.	Confetti.	Coloration de la fluorescéine.		Chlore par litre.	Confetti.
		Fluorescope.	Oeil nu.				Fluorescope.	Oeil nu.		
Matin.				Milligr.					Milligr.	
10 ^h 00	0 ^h 00	0	0	10.8	»	»	»	»	»	
15	15	0	0	»	»	»	»	»	»	
30	30	0	0	»	»	»	»	»	»	
45	45	0	0	»	»	»	»	»	»	
11 ^h 00	1 ^h 00	0	0	10.8	»	»	»	»	»	
15	15	0	0	»	»	»	»	»	»	
30	30	0	0	»	»	»	»	»	»	
45	45	0	0	»	»	»	»	»	»	
12 ^h 00	2 ^h 00	0	0	10.8	»	»	»	»	»	
15	45	0	0	»	»	»	»	»	»	
30	30	0	0	»	pas vu	»	»	»	»	
45	15	0	0	»	id.	»	»	»	»	
Soir.										
1 ^h 00	3 ^h 00	0	0	10.8	id.	»	»	»	»	
15	15	0	0	»	id.	»	»	»	»	
30	30	0	0	»	id.	»	»	»	»	
45	45	0	0	»	id.	»	»	»	»	
2 ^h 00	4 ^h 00	?	0	10.8	vu	»	»	»	»	
15	15	visible	?	14.6	pas vu	»	»	»	»	
30	30	»	»	»	»	»	»	»	»	
45	45	visible	forte	23.4	vu	»	0	0	10.8	
3 ^h 00	5 ^h 00	id.	très forte	27.0	?	»	0	0	10.8	
15	15	id.	id.	29.2	?	»	0	0	»	
30	30	id.	id.	31.0	vu	»	0	0	10.8	
45	45	id.	id.	29.2	id.	»	0	0	»	

Heures des prélèvements.	Durée du trajet.	Après 650 mètres.					A 1 150 mètres.			
		Coloration de la fluoresceïne.		Chlore par litre.	Amidon.	Confetti.	Coloration de la fluoresceïne.		Chlore par litre.	Confetti.
		Fluorescope.	Oeil nu.				Fluorescope.	Oeil nu.		
Soir.				Milligr.					Milligr.	
4 ^h 00	6 ^h 00	visible	forte	27.0	pas vu	»	0	0	10.8	»
15	15	id.	id.	19.8	vu	»	0	0	10.8	»
30	30	id.	id.	16.4	pas vu	»	0	0	10.8	»
45	45	id.	id.	16.4	id.	arrivée des papiers flottants	0	0	10.8	»
5 ^h 00	7 ^h 00	id.	légère	10.8	»	»	?	0	10.8	»
15	15	id.	id.	»	»	»	visible	?	10.8	»
30	30	id.	id.	»	»	»	id.	faible	12.6	»
45	45	id.	id.	»	»	»	id.	id.	12.6	»
6 ^h 00	8 ^h 00	id.	très légère	10.8	»	»	id.	forte	18.0	»
15	15	id.	id.	»	»	»	id.	id.	18.0	»
30	30	id.	id.	»	»	»	id.	très forte	19.8	»
45	45	id.	id.	»	»	»	id.	id.	23.4	»
7 ^h 00	9 ^h 00	»	0	10.8	»	»	id.	id.	21.6	»
15	15	»	»	»	»	»	id.	id.	21.6	»
30	30	»	»	»	»	»	id.	id.	23.4	»
45	45	»	»	»	»	»	id.	id.	19.8	arrivée des papiers flottants
8 ^h 00	10 ^h 00	»	»	»	»	»	id.	id.	18.0	»
15	15	»	»	»	»	»	id.	id.	18.0	»
30	30	»	»	»	»	»	id.	id.	18.0	»
45	45	»	»	»	»	»	id.	id.	16.2	»
9 ^h 00	11 ^h 00	»	»	»	»	»	id.	forte	14.4	»

Les observations ont cessé à 7 heures au poste 650 mètres et à 9 heures au poste 1 150 mètres.

Au moment où se termine l'impression de la présente note, nous sommes à même de fournir en complément les tableaux insérés dans les trois pages qui précèdent, exposant les résultats d'expériences toutes récentes. Celles-ci, effectuées, comme celles du 29 mai dernier, dans le ruisseau le Dhuy, ont eu pour but : 1° d'étudier avec le plus de précision possible la marche comparative de l'amidon et de la fluorescéine ; 2° de comparer à la marche des corps flottants, représentés par de légers et nombreux *confetti*, celle de la fluorescéine, du chlore et de l'amidon, le tout déversé simultanément.

Dans l'expérience du 12 juin, répondant à l'objectif n° 1, la marche de l'amidon et celle de la fluorescéine ont été observées de cinq en cinq minutes. Le tableau de la page 287 montre que déjà après un parcours de 100 mètres de long, la fluorescéine a été décelée par le fluorescope cinq minutes avant l'apparition de coloration à l'œil nu et que celle-ci a été constatée simultanément avec la présence de l'amidon.

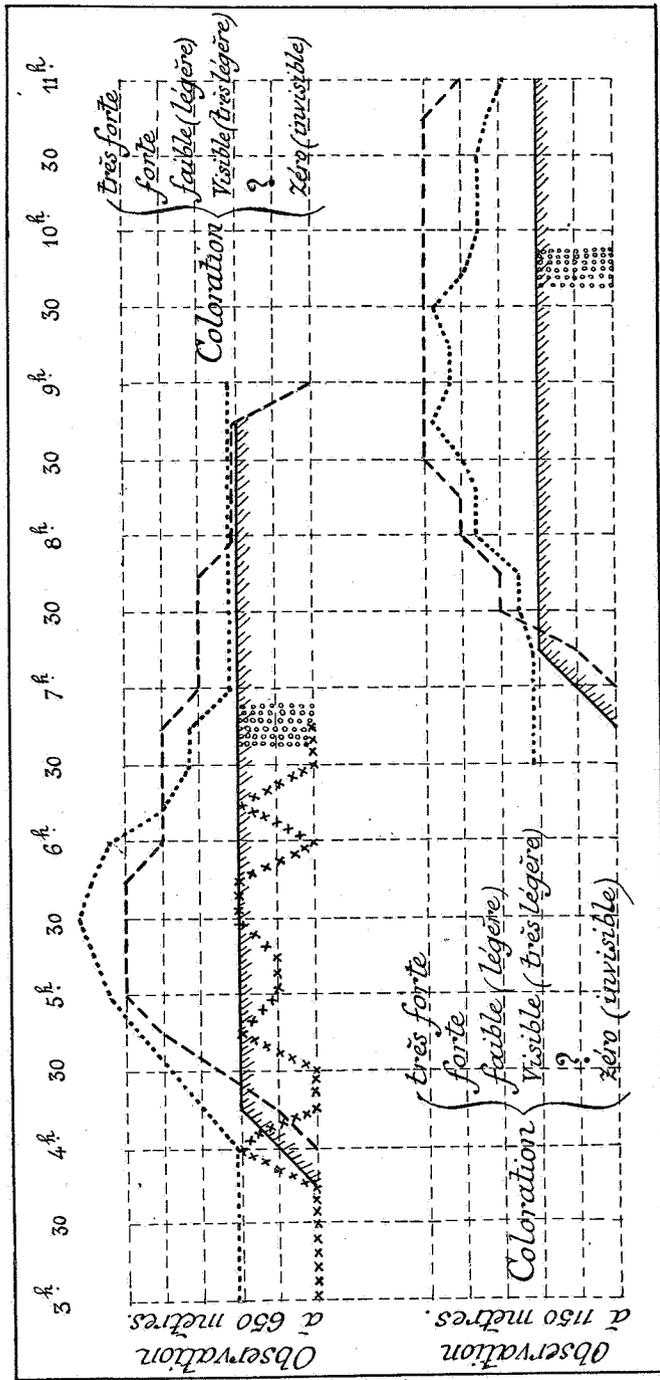
Dans la deuxième expérience, exécutée le 13 juin, en deux postes, respectivement éloignés de 650 et 1 150 mètres du point de déversement, on constate qu'à ces distances plus grandes, l'avance de la fluorescéine invisible à l'œil nu sur celle clairement décelée par sa coloration varie d'un quart d'heure à une demi-heure. L'amidon et le sel marin apparaissent en coïncidence avec la visibilité de la fluorescéine, et à 1 150 mètres, cette coïncidence est encore nettement constatée pour ce qui concerne le sel marin.

Quant à l'arrivée des corps flottants, elle s'est effectuée avec un retard d'environ deux heures et demie, aussi bien à 1 150 mètres qu'à 650 mètres.

Afin de montrer les résultats obtenus sous une forme plus tangible que dans le fatras de chiffres de ces divers tableaux, nous avons, sur l'initiative de notre zélé Secrétaire général, fait transformer en graphiques les résultats des expériences des 29 mai et 13 juin.

La planche hors texte B fournit une série de diagrammes montrant les résultats de l'expérience du 29 mai (voir le tableau p. 285-286) qui comporte cinq postes d'observation à 510, 770, 980, 2 200 et 3 200 mètres du point de déversement.

Le diagramme figure 1, ci-contre, fournit les données complètes de l'expérience du 13 juin. L'amidon, décelé au poste de 650 mètres après 4 heures et 4 h. 45 d'attente, n'a pas été observé 4 h. $\frac{1}{4}$ ni 4 h. $\frac{1}{2}$ ni 6 heures après l'instant du déversement, ainsi que l'indique aussi le tableau page 287. Il paraît probable cependant qu'il n'y a pas eu d'interruptions proprement dites et qu'il s'agit ici du passage de proportions minimes, difficiles à déceler.



LÉGENDE.

Durée du trajet : longueurs 20 m pour 1 heure.

1 m hauteur

Chlore par litre pour 1 milligramme.

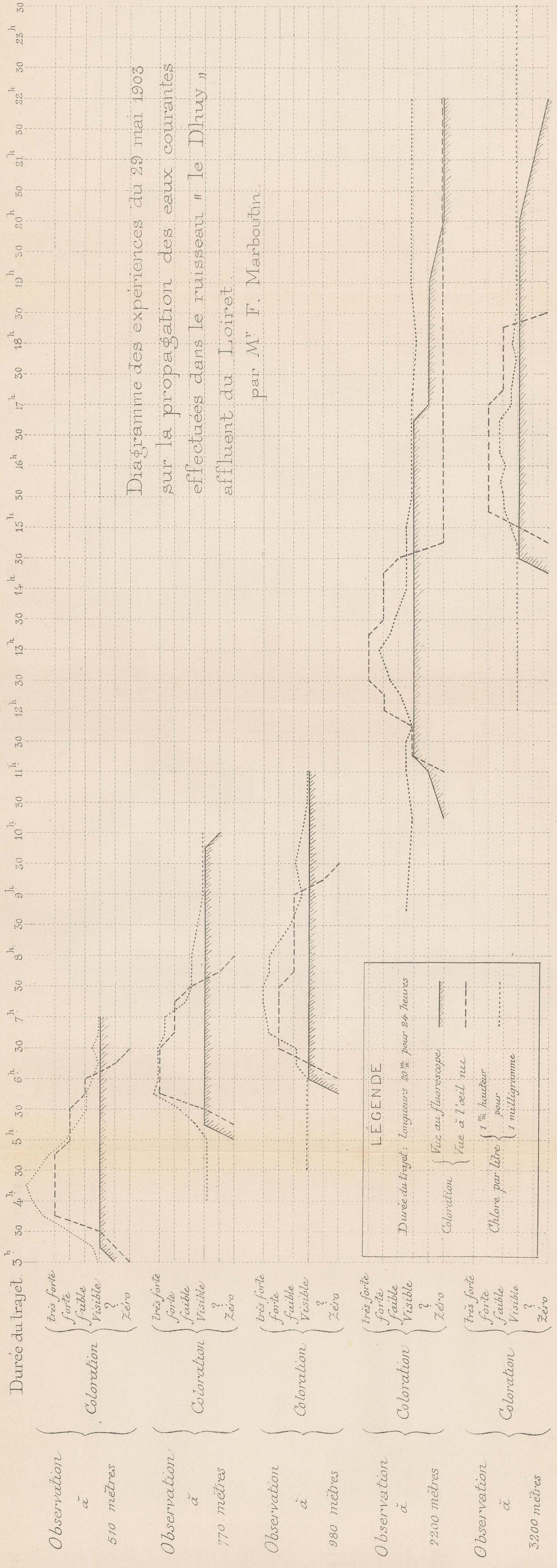
Amidon : vu à l'œil nu

Confettis : id

Coloration { Vue au fluoroscope
Vue à l'œil nu

Fig. 1. — DIAGRAMME DES RÉSULTATS DE L'EXPÉRIENCE DU 15 JUIN 1905, DANS LE RUISSEAU LE DHUY, EXÉCUTÉE PAR M. F. MARBOUTIN.

(Les données horaires sont ici comptées à partir de l'instant du déversement.)



M. KEMNA fait la communication suivante sur la question des différences de vitesse et de densité des eaux et sur les obstacles au mélange.

Le point essentiel dans la communication de M. *Le Couppey* est la perturbation des résultats expérimentaux causée par l'augmentation de densité de l'eau contenant de la fluorescéine dissoute. Cette eau plus dense ne se mélange que difficilement avec l'eau ordinaire, souvent seulement longtemps après, par brassage à la suite du courant plus fort des pluies d'orage.

Voici d'autres exemples d'eaux restant séparées. A marée remontante, les eaux du Rupel, souillées par la Senne (recevant les égouts de l'agglomération bruxelloise), refoulent les eaux des rivières tributaires sans se mélanger avec elles; la distinction est généralement fort nette, la zone intermédiaire n'occupant qu'un espace de quelques mètres.

Le fascicule 5 du tome V de la *Zeitschrift für Gewässerkunde* de Gravelius (paru le 11 juin 1903) reproduit un travail du Prof^r Dr C. Weigelt, sur la façon d'introduire les eaux résiduaires dans les cours d'eau. L'auteur rappelle des constatations faites sur l'Elbe, où les eaux chlorurées de la Saale restent longtemps sur le bord par où elles sont entrées.

Je me rappelle que lors d'une excursion de la Société à Remouchamps, l'eau de la grotte, colorée à la fluorescéine, allait jusqu'à Aywaille, à 3 kilomètres de là, mais seulement le long de la rive droite.

Le Prof^r Weigelt a fait des expériences avec de l'eau colorée introduite dans un grand cylindre en verre, au milieu d'une autre eau courante. Des photographies du tube permettent de suivre le phénomène. L'eau salée, plus dense, suit le fond du tube, et si l'on prélevait au même endroit un échantillon au-dessus et un au-dessous, on trouverait une grande différence. Le mélange se fait le plus rapidement quand l'eau est introduite en un jet vertical sous une pression suffisante. La question a une grande importance pratique, car il s'agit d'obtenir au plus vite une dilution permettant l'autopurification. Les expériences démontrent la complexité des phénomènes et la prudence qu'il faut apporter à conclure.

M. Kemna résume ensuite en séance le travail ci-après de M. le Prof^r H. Schardt sur le même sujet.

Notes concernant la vitesse de propagation de la fluorescéine dans les eaux souterraines, à propos de la note de MM. Fournier et Magnin et de la notice de M. Le Couppey de la Forest, par le Prof^r H. SCHARDT.

RETARD DE LA FLUORESCÉINE. — J'ai également constaté que la fluorescéine chemine dans l'eau courante *moins vite* que l'eau, c'est-à-dire que les corps flottants dans celle-ci. On est surpris de la lenteur apparente avec laquelle la coloration avance dans une rivière au cours en apparence assez rapide. Pour aller de la source de l'Orbe jusqu'au pont de Vallorbe, distant de 3 kilomètres, il a fallu cinq heures! Il serait vraiment intéressant de faire des essais, afin de déterminer quelle est la différence de vitesse entre l'eau et la fluorescéine ou d'autres réactifs, en opérant sur des canaux à *calibre connu* et avec des *vitesse exactement connues* également. Après cela seulement, on pourra tirer des conclusions des observations faites sur les cours d'eau souterrains, et encore faudrait-il auparavant expérimenter aussi sur des canaux artificiels avec calibre inégal, ou dont certaines parties représentent les conditions de l'écoulement libre et d'autres celles des siphons renversés.

J'ai toujours attribué la grande lenteur de la propagation souterraine de la fluorescéine à la présence de grandes cavités sur le parcours des eaux souterraines, cavités placées soit sur la partie à écoulement libre, soit sur les canaux en siphon.

L'influence de ces évasements est absolument manifeste, lorsqu'on expérimente sur des ruisseaux traversant une succession de bassins ou marmites de géant. C'est ainsi que le ruisseau de l'Eau-Froide, près de Roche, vallée du Rhône, sur lequel j'ai fait toute une série d'essais de coloration, m'a donné, suivant le débit, des différences absolument énormes. Pour parcourir 1 kilomètre de longueur, avec une différence de hauteur de 400 mètres, donc une très forte chute, il a fallu aux basses eaux (débit 35 L. s.) douze heures au complet; une seule marmite de 2 mètres de diamètre a causé parfois trente à quarante minutes d'arrêt avant que l'eau en sortît fluorescente! Aux hautes eaux (300 à 400 L. s.), la coloration descend en trente à quarante minutes. La vague de crue, lors des orages, met à peine vingt minutes pour

parcourir la même longueur. Voilà qui explique suffisamment les différences de vitesse observées et surtout la *grande lenteur aux basses eaux* dans la propagation de l'eau fluorescente.

Toutefois, est-il bien prouvé que la fluorescéine coule si notablement moins vite que l'eau? *Théoriquement, elle ne doit pas se propager moins vite que le trouble que nous produisons en agitant la vase au fond de l'eau, ou en y introduisant une dissolution de gomme laque dans de l'alcool.* Si cette différence de propagation était réelle, il faudrait admettre que, par une influence encore inconnue, la couleur se *détruit* à la *tête* de la colonne colorée, ce que je ne puis croire; car la persistance de la coloration faible à la fin du maximum, souvent pendant des semaines, prouve justement *la longue conservation de la fluorescéine dans l'eau.*

Je crois, au contraire, que la différence de vitesse de propagation entre l'eau et la fluorescéine n'est qu'une *apparence*, revenant au même ordre de faits que la différence de la perception des odeurs dans l'air lors des incendies par exemple. C'est en partie aussi le fait de l'*imperfection de nos sens*. Le fait qu'une petite dose de fluorescéine, jetée en une seule fois, soit en une infime fraction de seconde, colore bientôt *plusieurs centaines de mètres de la veine liquide*, prouve que la vitesse de l'eau n'est pas la même dans toute la section, ce qui est d'ailleurs bien connu. Mais il s'ensuit de cette observation que cet éparpillement de la coloration est dû au retard que subit l'eau sur ses bords. La tête de la colonne colorée marche vite, les flancs traînent. Souvent, quand tout paraît passé, nous trouvons encore de la fluorescence intense, pendant des heures, dans les anses tranquilles des ruisseaux. Malgré sa vitesse plus grande, la tête *colorée* de la colonne paraît en retard sur la vitesse propre de l'eau. C'est ce que je crois être une apparence, et voici pourquoi : La zone de forte coloration de l'expérience citée suit au début nécessairement et manifestement *le milieu du courant et la tête de la colonne*; la queue est de plus en plus diluée. Mais la tête de la colonne, qui pénètre dans de l'eau non colorée occupant les bords et le fond du courant, se diffuse avec celle-ci et *la fluorescence devient rapidement invisible à l'œil, sur une zone qui doit rapidement croître en longueur.* Ce n'est que la tête *fortement* colorée qui est en retard sur la vitesse de l'eau; en avant de cette tête fortement colorée existe une zone de diffusion, où le fluorescope permettrait facilement de constater la fluorescéine. Dans divers essais de coloration de ruisseaux et de sources, j'ai constaté la fluorescéine avec le fluorescope *longtemps avant* l'arrivée de la forte coloration correspondant à *la tête apparente de la colonne colorée* ! Des essais faits sur des canaux avec vitesse d'écoulement connue

devront donner pour la coloration et l'eau des vitesses sensiblement égales; les différences deviendront d'autant plus faibles *que nous utiliserons des fluorescopes plus sensibles.*

J'arrive maintenant AUX DIFFÉRENCES DE VITESSE DE PROPAGATION ENTRE LES CRUES ET LA FLUORESCÉINE.

En soutenant que la différence apparente de ces vitesses correspond à la différence de vitesse observée entre l'eau et la tête de la colonne colorée, on est évidemment dans l'erreur. Une partie du cours souterrain des eaux est, dans presque tous les cas, je dirai même dans tous, formée soit de vastes cavités où l'eau est presque stagnante, soit de canaux en siphon renversé, que l'onde de crue traverse presque *instantanément*, conformément aux lois de l'hydraulique. La crue observée aux résurgences n'est pas la réapparition de la plus forte quantité d'eau elle-même, mais elle est due à la *hausse du niveau* de l'eau souterraine ou à la *transmission instantanée de la hausse de pression* dans les canaux en charge ou en siphon renversé! La propagation de la fluorescéine, ou de toute autre substance, devra cheminer avec la vitesse de l'eau et ne subir que le *retard apparent* dont j'ai parlé plus haut, retard dû à la dilution de la tête de la colonne *colorée*! Ce fait a été nettement constaté au lac de Joux, où la vague de crue se montre à la source de l'Orbe, deux heures après l'ouverture des vannes de Bonport, et atteint le maximum seulement sept heures plus tard, tandis que la fluorescéine, introduite en même temps, n'a apparu que *vingt-deux heures* après. Le même essai fait précédemment *sans ouvrir les vannes*, en ne colorant que le débordement normal de l'eau, avait donné *cinquante heures* pour le même trajet. La différence entre cinquante heures et vingt-deux heures est due au fait que l'ouverture des vannes constitue une *crue*, d'où augmentation de la *vitesse d'écoulement* de l'eau, comme cela se produit dans chaque ruisseau. Mais il y a à côté de cela encore le phénomène de la crue *hydrostatique* (conduite sous pression), qui est bien plus rapide que la vitesse propre de l'eau; elle est presque instantanée! Quant AUX VITESSES D'ÉCOULEMENT de l'eau, suivant la SECTION DES CANAUX SOUTERRAINS, dont parlent MM. Fournier et Magnin, je ne puis partager leur raisonnement quant à l'application des formules hydrodynamiques sur lesquelles ils se basent pour soutenir que l'existence de grandes cavités sur une conduite sous pression, plutôt que de ralentir la vitesse de l'eau, comme c'est le cas lors de l'écoulement libre, doit augmenter, au contraire, cette vitesse. Ces formules ne s'appliquent qu'à des *conduites à calibre uniforme et non au cas de canaux aussi variables de forme que les réseaux des eaux souterraines.* La

présence de canaux à grande section ou de vastes cavités exercera, lors de la mise sous pression, la *même influence retardatrice* que lors de l'écoulement libre; ici rien ne sera changé, mais c'est dans les canaux à *petite section* que la vitesse augmentera en raison de la *pression*, qui sera plus forte! Dans les parties à grande section, la vitesse n'augmente pas dans une aussi forte proportion; le renouvellement de l'eau qui doit se faire là, avant que la coloration n'arrive à l'ouverture de sortie, constitue un *ralentissement* de la vitesse, qu'il y ait pression ou non; cela saute aux yeux!

Il est étrange que les DIVERS RÉACTIFS employés aient donné jusqu'ici des résultats si différents. Je ne crois pas qu'il y ait là une différence dans la vitesse de translation réelle de la couleur ou du réactif, qui doit cheminer avec une vitesse sensiblement égale à celle de l'eau, mais cela doit tenir à la *différence de sensibilité des réactifs*, c'est-à-dire à la manière de constater la présence du réactif. Pour la fluorescéine, on se contente le plus souvent d'attendre le résultat visible à *l'œil nu*; il est certain que l'observation d'épreuves prélevées à courts intervalles donnerait des traces de fluorescence, au moyen du fluorescope, *longtemps avant l'apparition du maximum visible à l'œil nu*. Les méthodes chimiques, sel de cuisine, amidon, levure de bière, amidon et iode, etc., qui exigent le prélèvement d'échantillons et leur étude au laboratoire, donnent de ce chef des trajets plus rapides. Sous ce rapport, les trois essais faits par M. Knop sur la *source de l'Aach*, alimentée pour une moitié de son débit par une perte du Danube, sont absolument démonstratifs. En effet :

a. L'*huile de goudron* a été constatée par son goût et chimiquement au bout de soixante-deux heures après son introduction et pendant six heures.

b. Le *sel de cuisine* a été constaté au bout de vingt heures déjà; mais le maximum n'a été atteint que soixante et une heures après l'introduction et a duré environ six heures. Durée totale : 90 heures.

c. La *fluorescéine* est devenue nettement visible au bout de soixante heures et la coloration dura trente-six heures.

Il est certain qu'un contrôle au moyen du fluorescope sur des échantillons prélevés aurait donné un temps beaucoup plus court pour la translation et plus long pour la durée de la coloration.

Il en découle néanmoins que l'apparition *visible* à l'œil nu de la fluorescéine *ne donne en aucun cas la vitesse réelle de l'eau*, mais que, par l'emploi du fluorescope de plus en plus sensible, on peut s'en rapprocher sensiblement.

M. Knop remarque déjà dans sa notice que les essais *a* et *c* ne sont devenus perceptibles aux sens qu'*au moment du maximum de leur effet*.

Je constate à ce propos que les indications de MM. Fournier et Magnin concernant le trajet de l'amidon de l'entonnoir des Ponts à la source de la *Noiraigue* ne sont pas démontrées. Cette constatation n'a jamais été faite *positivement*. Desor avoue qu'il lui *a paru* que l'éprouvette de huit heures avait une légère teinte bleuâtre. C'est la main inexpérimentée du surveillant chargé de prélever les échantillons qui avait introduit la teinture d'iode. *L'essai en question ne mérite aucune confiance* (1). Quant à celui de l'Areuse, il n'a jamais été fait avec de l'amidon! Le chiffre de douze heures se rapporte à la *crue* de la source, après l'ouverture des vannes du lac des Taillières.

Pour pouvoir affirmer que tel ou tel réactif chemine plus vite qu'un autre, il faudrait au moins que les expériences sur lesquelles on base les affirmations, eussent été faites dans les mêmes conditions de débit, ce qui n'est apparemment pas le cas. Les trois essais de M. Knop sur la source de l'Aach montrent clairement que dans les mêmes conditions de débit, ce qui fut le cas du 22 septembre au 12 octobre 1877, l'apparition du *maximum* de l'effet des réactifs (goudron, sel de cuisine, fluorescéine) a lieu sensiblement au bout du même *laps de temps*, environ trois fois plus tard que les premières traces percevables du sel de cuisine.

La variabilité de la vitesse de l'eau, donc de la durée du trajet souterrain, ressort des divers essais que j'ai faits au sujet des sources du *Mont de Chamblon* où, en eaux moyennes, le trajet a duré quarante et quarante-deux heures et, en eaux basses, cent cinquante heures. De même, le trajet de la fluorescéine entre les entonnoirs du plateau de la Brévine et la source de l'Areuse a exigé en basses eaux (septembre) treize jours et dix heures, soit près de trois cents heures, en eaux moyennes (mai) cent trente-deux heures et, un peu plus tard, le même mois, cent quatre-vingt douze heures. Lors du troisième de ces essais, lorsque, après quarante-huit heures de coloration, la rivière de l'Areuse avait repris son aspect normal, un violent orage éclata sur la montagne; le lendemain, on revit apparaître la fluorescéine à la source et se maintenir avec la même intensité que précédemment pendant plusieurs heures. Ceci confirme l'idée de M. L. Couppey sur le rôle des cavités, soit que la couleur s'y dépose en raison de sa

(1) Les essais avec la fluorescéine ont donné aux hautes eaux deux cent quatre et cent cinquante-six heures (mai et juillet 1901).

densité (ce qui me paraît moins probable), soit par suite d'un mouvement en tourbillon, comme dans les anses tranquilles des cours d'eau. Il faut une affluence d'eau subite pour expurger cette réserve de couleur.

J'ai toujours remarqué que les essais de coloration réussissent plus sûrement au moment des hautes eaux ou des eaux moyennes, en raison de la vitesse plus grande qui produit un renouvellement plus prompt de l'eau dans les cavités souterraines, sans que l'eau accumulée dans celles-ci soit bien plus considérable. La colonne colorée s'allonge moins et conserve, malgré le plus fort débit, une coloration très intense; puis il y a l'avantage d'un trajet plus court, qui n'oblige pas à une attente trop longue et parfois impatientante, comme celle du premier essai entre le lac des Taillières et l'Areuse, qui a duré treize jours pour 6 kilomètres.

Conclusions. — Dans l'état actuel de mes connaissances sur la marche souterraine de la fluorescéine, je ne pense pas que la vitesse réelle de celle-ci soit sensiblement plus faible que celle du véhicule, l'eau. Le retard qui se produit est *purement apparent* et dû aux moyens d'observation mis en pratique. Pour avoir la vitesse approximative de l'eau, il faut procéder par prélèvement d'échantillons et examiner ceux-ci avec un fluoescopie très sensible, à la lumière directe du soleil, ce qui permet de discerner jusqu'à un dix-milliardième de fluorescéine. Le retard apparent (coloration visible à l'œil nu) peut atteindre le double de la durée réelle du trajet.

Il est possible cependant que certaines substances ou terrains détruisent la fluorescéine; aussi des recherches sur ce point seraient à désirer. Les eaux tourbeuses, chargées d'acide ulmique, exercent certainement une action destructive sur la fluorescéine, qui est un sel basique; la faiblesse de la coloration de la source de la Noiraigue, dont l'eau a une teinte ambrée, peut être attribuée à cette influence.

Neuchâtel, le 14 juin 1903.

D^r SCHARDT.

La question du prétendu « retard » de la fluorescéine fait ensuite l'objet d'un débat complémentaire auquel prennent part MM. *J. Dufief, Kemna, Putzeys, Rabozée, Van den Broeck et Willems.*

Nous extrayons des notes de séance les passages suivants :

M. Kemna. — Le retard dans la première arrivée de fluorescéine visible pourrait résulter d'une rétention de la substance colorante par les parois. Plus tard, ces mêmes parois abandonnent de la fluorescéine à l'eau pure, et il en résulte une prolongation de la période de coloration.

tion, résultant, non d'un retard de l'eau ou de la matière colorante, mais du lavage des parois. Il faudrait déterminer la réalité et l'intensité de cette action d'absorption des parois.

M. Putzeys. — Rien ne dit que la vitesse n'est pas la même. Le retard peut être simplement une apparence, les premières traces de coloration pouvant échapper à l'observation.

M. Van den Broeck. — Dans un canal, les eaux proches de la surface libre coulent plus vite que celles du thalweg ; si la fluorescéine allait au fond, le retard se comprendrait. Le fait du retard est affirmé par tous les expérimentateurs, mais il est certainement apparent. Pour une solution salée, — nettement plus dense, — le retard réel se comprendrait à la rigueur. Quant au fluorescope employé par M. Schardt, il est à noter qu'il est moins sensible que l'appareil Trillat-Marboutin, du moins en l'absence de l'éclairage par les rayons solaires. Il y a urgence à élucider, à l'aide des appareils les plus précis, suppléant à l'insuffisance de la vision directe, ce problème, qui est d'une importance capitale pour l'étude judicieuse des alimentations d'eau.

Cap. Willems. — Des expériences de laboratoire confirmeraient-elles ce qui a été dit, notamment par M. Le Couppey, au cours de la discussion : que la fluorescéine se dépose ?

M. Kemna. — Il n'y a pas de dépôt, mais on a invoqué la densité plus grande de la solution comme devant amener les couches d'eau très colorées dans une situation inférieure.

M. Dufief. — Une solution très longtemps conservée dans une éprouvette de mon laboratoire n'a absolument rien déposé.

M. Van den Broeck. — La coloration plus marquée constatée au cours de mes expériences dans des fonds irréguliers de ruisseau, plus profonds par places, provient, M. Rahir et moi nous en sommes assurés, uniquement de la plus grande épaisseur du liquide. Une faible différence en plus dans certains endroits localisés, un peu plus profonds, peut amener, à la simple vue et si l'on néglige de vérifier avec soin, la notion inexacte d'un dépôt matériel de fluorescéine *semblant* localisé dans ces fonds. C'est une pure illusion.

La discussion porte ensuite sur le degré de rapidité d'arrivée des crues bactériennes aux points d'émergence.

M. Putzeys, au cours de cette discussion, fait remarquer que la première pluie amène aux bétouilles des eaux souillées. Le terrain calcaire n'est pas fissuré *seulement* dans la région des bétouilles, mais également au-dessus du débouché des sources, où la moindre pluie peut

donc amener une poussée bactérienne, pouvant précéder l'arrivée des éléments : eaux, fluorescéine, bactéries et souillures, provenant de la région, plus lointaine, des bétoires expérimentés. Il importe donc de rechercher et de déterminer avec le plus grand soin les points rapprochés des plus minimes infiltrations possibles, tout autant que les limites les plus lointaines de l'aire d'influence des bétoires dont l'examen s'impose tout d'abord.

Vu l'heure avancée, M. le *Secrétaire général* se borne à déposer sur le Bureau, pour l'insertion au procès-verbal, un articulet qu'il a extrait d'une courte étude publiée par M. H. Cuony dans le volume X (1902) du *Bulletin de la Société fribourgeoise des Sciences naturelles* et intitulée : *L'emploi de la fluorescéine dans l'hydrographie*.

En attirant l'attention sur l'un des faits relatés dans cette Note, M. Van den Broeck comptait faire s'ouvrir une discussion sur l'examen des nombreux cas dans lesquels on pouvait utiliser la fluorescéine dans les études relatives aux travaux publics, cas dont les recherches de M. le Prof^r *Schardt*, en ce qui concerne les venues d'eau du Simplon, constituent un remarquable et si suggestif exemple.

Faute de temps pour pouvoir aborder aujourd'hui l'examen de ce point de vue, M. Van den Broeck croit cependant utile de l'amorcer en relatant, d'après M. H. Cuony, les données suivantes :

A Fribourg, à la suite de l'éboulement d'une partie des remblais de l'avenue de Pérolles, le viaduc souterrain qui traverse ce remblai avait été obstrué et un lac s'était formé en amont.

M. Gremaud, ingénieur cantonal, tenait à profiter de cette occasion pour s'assurer si le remblai laissait filtrer l'eau et, éventuellement, où ces filtrations émergeaient.

Une solution ammoniacale de fluorescéine fut versée dans le lac le samedi 5 avril 1902, vers 9 heures du matin. Quelques ouvriers furent chargés de brasser l'eau pour opérer le mélange et le lac prit aussitôt un magnifique coloration vert-émeraude. A 1 heure, on dut ouvrir le canal d'écoulement parce que le niveau de l'eau devenait trop élevé. Aucune infiltration ne put être remarquée et la coloration avait persisté encore presque tout le jour suivant.

La masse d'eau contenue dans le lac avait été évaluée à environ 2 000 mètres cubes, et l'on a effectivement employé à peu près 100 grammes de fluorescéine.

La séance est levée à 10 h. 45.

ANNEXES A LA SÉANCE DU 16 JUIN 1903.

ESSAI

SUR

L'EMPLOI DES MATIÈRES COLORANTES

POUR LA RECHERCHE DES EAUX D'INFILTRATION

PAR

M. A. TRILLAT (1)

L'emploi des matières colorantes et de la fluorescéine pour la recherche de l'origine des cours d'eau et de leurs relations n'est pas nouveau. Cependant, on peut être surpris que ce procédé se soit si peu généralisé.

J'ai pensé que cet état de choses pouvait provenir de l'ignorance des conditions dans lesquelles on devait se placer pour appliquer efficacement la méthode.

Une expertise ayant eu pour objet la recherche de l'origine d'une eau m'a fourni l'occasion d'étudier cette question; je crois utile de publier le résultat de mes observations.

Les exemples relatés dans les diverses revues scientifiques concernant les recherches d'eaux effectuées au moyen des colorants sont peu nombreux.

Une remarquable expérience couronnée de succès fut tentée en 1877 par Knop pour établir la relation qui existait entre les eaux du lac de Constance et les deux fleuves voisins, le Rhin et le Danube. Dix kilogrammes de fluorescéine furent jetés dans le Danube entre Mœhringen et Immendingen : après soixante heures, on vit la fluorescence apparaître dans l'Aach, l'un des affluents du lac : le phénomène dura trente-six heures.

MM. Forel et Gollier rapportent des expériences tentées le

(1) Note publiée dans les *Annales de l'Institut Pasteur*, t. XVIII, pp. 444-451, et reproduite ici avec l'autorisation de l'auteur.

3 décembre 1892 pour rechercher les relations entre les eaux du lac Brenet et la source de l'Orbe; 1 kilogramme de violet d'aniline, dissous dans l'eau acidifiée par de l'acide acétique, fut jeté dans l'entonnoir de Bonport : une surveillance attentive fut établie à la source de l'Orbe; le débit de l'entonnoir était de 200 litres par seconde; celui de l'Orbe de 2 000 litres. Aucune coloration ne put être constatée (1).

La même expérience fut répétée par M. Piccard, en remplaçant le violet d'aniline par la fluorescéine; il jeta la solution colorante dans les entonnoirs de Bonport : les premiers phénomènes de coloration parurent cinquante heures après dans la rivière de l'Orbe, dont l'origine put être ainsi définitivement établie.

Après ces exemples, et d'autres que je pourrais citer, je crois intéressant de signaler le résultat de l'expérience suivante :

La municipalité d'une ville importante des environs de Paris avait fait construire une galerie filtrante juxtaposée pour ainsi dire le long de la Seine. Au moyen d'une pompe élévatoire, l'eau filtrée était distribuée dans la ville.

Or, l'analyse chimique de deux prélèvements d'eau, l'un effectué chez l'habitant, l'autre en pleine Seine, démontra que la composition des deux échantillons était différente. Les prélèvements faits dans divers points de la ville confirmèrent les premiers résultats; cette eau se distinguait de l'eau de Seine par un degré hydrotimétrique beaucoup plus élevé. Il s'éleva à ce propos un procès curieux entre les habitants, d'une part, et la municipalité qui s'était engagée à fournir de l'eau de Seine filtrée.

A ce sujet, les suppositions les plus invraisemblables surgirent, notamment celle de la désagrégation des matériaux de la galerie filtrante.

Désigné comme expert pour étudier cette question, après avoir constaté la différence de composition chimique entre les deux eaux, je parvins à identifier partiellement l'eau prélevée chez l'habitant avec l'eau d'une source située à environ 600 mètres de la galerie filtrante. Une vive polémique s'étant engagée, je tentai de démontrer d'une manière plus palpable la relation qui existait entre les eaux de la source et l'eau distribuée en ville.

Une solution ammoniacale de 100 grammes de fluorescéine fut jetée

(1) Comme le fait remarquer M. H. Cuony, relatant cette expérience avec d'autres, la matière colorante employée a été entièrement décomposée dans le sol calcaire. Voir H. CUONY, *L'emploi de la fluorescéine dans l'hydrographie* (BULL. DE LA SOC. FRIBOURG. DES SC. NAT., C. R. 1901-1902, vol. X, 1902, pp. 34-36). (Note du Secrétariat.)

en une seule fois dans un puits communiquant avec la source. Quelques heures après, je commençai à prélever des échantillons d'eau en ville, que je comparai avec le prélèvement type effectué avant l'addition de fluorescéine. Au moyen du *fluorescope* décrit plus loin, je parvins à distinguer après dix heures la fluorescence de l'eau, parfaitement invisible à l'œil nu à ce moment. Elle ne devint apparente en ville qu'après vingt-quatre heures.

Je pus donc ainsi démontrer que la galerie filtrante avait été construite sur une nappe d'eau souterraine, et qu'elle ne recueillait en grande partie que l'eau calcaire de la source, quoiqu'elle ne fût placée qu'à une dizaine de mètres de la Seine.

A côté de ces essais effectués avec la fluorescéine, on peut citer un certain nombre d'expériences tentées avec de la fuchsine et dont la plupart donnèrent des résultats négatifs, ce qui n'a pas lieu d'étonner, la fuchsine étant, comme on le verra plus loin, facilement décolorée par les eaux calcaires.

Il était à supposer que la nature de l'eau soumise aux expériences ou que la filtration des solutions colorées à travers des terrains sablonneux, argileux, calcaires ou tourbeux, pouvaient avoir comme résultat de décolorer partiellement ou même totalement certaines couleurs.

Il était surtout important d'examiner l'action des matières ammoniacales sur les solutions colorées, de manière à savoir si le procédé était applicable à la recherche des infiltrations des fosses.

Pour élucider ces questions, j'ai d'abord déterminé la valeur comparative des principaux colorants dans l'eau distillée et dans diverses eaux. J'ai ensuite examiné l'influence de la nature des sols et des produits ammoniacaux sur les solutions colorées. Enfin, j'ai cherché quel pourrait être le meilleur mode d'emploi des matières colorantes, au moyen d'un dispositif spécial.

INFLUENCE DES EAUX.

Les matières colorantes expérimentées sont les suivantes : auramine, safranine, rouge Congo, fuchsine neutre, éosine, vert malachite, violet de Paris, bleu méthylène et fluorescéine. Comme couleur acide, j'ai choisi la fuchsine sulfonée.

Pour déterminer proportionnellement l'intensité de coloration dans l'eau distillée, elles ont été préalablement purifiées et séchées plusieurs jours à une température de 90°. Les observations ont été faites sur

1 litre d'eau, dans des flacons en verre blanc de 7 centimètres de diamètre intérieur.

Les dissolutions colorées au $\frac{1}{100\,000}$ sont encore intenses. A la dose de $\frac{1}{1\,000\,000}$, elles sont toutes plus ou moins appréciables, mais à une dilution cinquante fois plus faible, soit à la dilution de $\frac{1}{50\,000\,000}$, l'éosine, l'auramine et la fuchsine acide deviennent invisibles. Les autres couleurs, à part la fluorescéine, deviennent difficilement appréciables. On peut les disposer ainsi, par ordre décroissant d'intensité pour cette dose de $\frac{1}{50\,000\,000}$: fluorescéine, vert malachite, bleu méthylène, violet, fuchsine neutre, safranine, rouge Congo.

Si l'on remplace l'eau distillée par de l'eau marquant 15° hydrotimétriques, on peut observer que les solutions au $\frac{1}{1\,000\,000}$ sont encore visibles après vingt-quatre heures; mais avec une eau marquant 40° et riche en carbonates, la décoloration est totale pour les couleurs suivantes : auramine, fuchsine acide et neutre, vert malachite et violet; elle est atténuée, mais encore visible pour le rouge Congo, l'éosine. Enfin, la safranine et le bleu de méthylène ont été les couleurs les moins influencées par la présence des sels calcaires en dissolution dans l'eau. La fluorescéine perd un peu de sa fluorescence : cela peut être attribué à un léger précipité formé dans l'eau.

J'ai constaté que si l'observation de la fluorescence a lieu dans une eau contenant des matériaux en suspension ou même *dans une eau très légèrement trouble, le dichroïsme devient difficilement décelable. Il est donc nécessaire, dans ce cas, de filtrer l'eau afin d'avoir un liquide clair et transparent.*

On peut donc conclure que la plupart des matières colorantes sont précipitées en bases par les sels calcaires des eaux.

INFLUENCE DES TERRAINS.

Il peut arriver que les eaux sur lesquelles on doit expérimenter filtrent à travers des sols de natures diverses. On peut se demander dès lors si les solutions colorées seront modifiées ou arrêtées et si on pourrait régénérer leur coloration.

Pour étudier cette question, j'ai préparé des solutions de matières colorantes au $\frac{1}{1\,000\,000}$, et je les ai filtrées à travers des couches de sols de composition différente. La couche dont la composition correspondait à la nature du sol à étudier était placée dans une allonge, de manière à former une épaisseur de 30 centimètres; la solution colorée était ajoutée goutte à goutte et recueillie après filtration.

J'ai expérimenté des sols calcaires, sablonneux, argileux et tourbeux, correspondant à la composition centésimale suivante :

	Matière organique.	Argile.	Carbonate.
Sol calcaire	0	6.090	73.80
Sol argileux	7.94	79.20	
Sol tourbeux	49.07	35 »	
Sol sablonneux	4 56	0	

Le sol calcaire a décoloré entièrement toutes les solutions, sauf la fluorescéine. Les solutions filtrées restent incolores par une addition d'acide acétique, excepté la fuchsine acide, dont la coloration rouge réapparaît.

Les sols argileux et sablonneux laissent passer les solutions colorées, mais dans un état plus ou moins affaibli.

Le sol tourbeux a décoloré toutes les dissolutions, y compris celle de la fluorescéine. La fuchsine acide, comme dans le cas précédent, a pu cependant être régénérée.

Des résultats analogues ont été obtenus en filtrant les solutions colorées à travers des couches de terre de jardin légère et de terre arable.

Les matières colorantes sont donc précipitées en base incolore par les sels calcaires, et la base précipitée se trouve arrêtée dans le sol : la fuchsine acide (il doit en être de même des autres couleurs sulfonées) est décolorée et transformée en base soluble, qui n'est pas arrêtée. Il en résulte que, pour ce dernier cas, l'addition d'acide acétique régénère la coloration.

Je me suis servi du même procédé pour me rendre compte de l'action de l'ammoniaque libre et des sels ammoniacaux. Pour cela, j'ai utilisé le fumier de ferme, qui a été disposé en couches de 40 centimètres de hauteur. Les résultats sont analogues aux précédents : la fuchsine acide a pu être régénérée et la fluorescéine a pu être décelée facilement, après avoir eu soin de clarifier le liquide. — Le tableau de la page 506 résume les résultats observés.

L'intensité de coloration des solutions varie donc beaucoup, non seulement selon les eaux, mais surtout selon la nature des sols.

En me basant sur la propriété que possède la fluorescéine, d'être rendue plus visible lorsqu'on observe sa solution contre une surface noire, j'ai imaginé un dispositif qui permet de la reconnaître à des doses infiniment faibles. L'appareil se compose de deux tubes en verre

blanc disposés verticalement et à la même hauteur le long d'un support, au moyen de deux pinces. Ils ont une longueur de 1^m,20, sur une largeur de 2 centimètres, et sont ouverts à la partie supérieure, tandis que la partie inférieure est fermée par un bouchon dont la face interne a été préalablement passée au vernis noir. Plus simplement, on peut disposer sur cette face un petit disque de papier noir glacé.

Tableau des essais.

MATIÈRES COLORANTES EMPLOYÉES : *Fluorescéine, vert malachite, bleu méthylène, violet de Paris, safranine, fuchsine neutre, fuchsine acide, éosine, rouge Congo, auramine.*

DILUTION des COLORANTS.	EAU DISTILLÉE et EAU A 15° HYDROTMI.	EAU A 40° HYDROT.	SOL CALCAIRE.	SOL ARGILEUX et sablonneux.	SOL TOURBEUX.	FUMIER DE FERME.	TERRE ARABLE et terre de jardin.
Millionième.	Visible.	Après vingt-quatre heures, fluorescéine très visible. Décoloration totale pour auramine, fuchsine neutre et acide, vert malachite. Décoloration partielle pour safranine, rouge Congo, éosine.	Fluorescence atténuée. Décoloration pour les couleurs. La fuchsine acide est régénérée par addition d'acide acétique.	Atténuation de coloration dans toutes les solutions.	Décoloration totale pour toutes les matières colorantes, y compris fluorescéine. Par acidification, régénération de la fuchsine acide.	Fluorescence nettement appréciable, mais après clarification de liquide filtré. La fuchsine acide peut être régénérée par acidification. Décoloration totale pour toutes les autres matières colorantes.	Résultats semblables à ceux donnés sur le sol calcaire.
Dix-millionième.	Id.						
Cinquante-millionième.	Fluorescéine visible. Les autres couleurs très atténuées par ordre décroissant: vert malachite, bleu violet, fuchsine neutre, safranine, rouge Congo, éosine, auramine et fuchsine acide invisibles.						
Cent-millionième.	Invisible sauf fluorescéine.						
Cinq cent-millionième.	id.						
Deux-milliardième.	Fluorescence visible seulement au fluoroscope.						

Si l'on remplit ces deux tubes jusqu'à 1 centimètre du bord, l'un avec de l'eau naturelle, l'autre avec cette même eau contenant des traces de fluorescéine, on peut observer, en plaçant l'œil dans l'axe de chaque tube, que l'eau naturelle se projette suivant une couleur bleu sombre, tandis que l'autre a une teinte vert clair. Cette différence se manifeste pour une solution dont la fluorescéine n'est plus visible à l'œil sans cet appareil.

La limite de la visibilité de la fluorescéine étant environ de $\frac{1}{200\ 000\ 000}$, le fluoscopes permet de décupler cette visibilité, en sorte qu'elle peut être évaluée à $\frac{1}{2\ 000\ 000\ 000}$, soit 1 gramme de fluorescéine dans 2 000 mètres cubes d'eau.

On peut donc tirer profit de l'emploi de cet appareil dans le cas où la fluorescéine aurait été invisible à l'œil nu. Il permet, en outre, de reconnaître la fluorescence longtemps avant la visibilité normale : il pourra ainsi donner des renseignements plus exacts sur la vitesse du débit des eaux.

Dans l'application de la méthode, on pourra suivre la marche ci-après : La fluorescéine sera dissoute dans l'alcool additionné d'un peu d'ammoniaque (1) : quant à la quantité à employer, elle peut être variable selon les circonstances, et il est difficile de fixer une limite à ce sujet.

Un prélèvement de l'eau à examiner sera effectué avant l'addition de la fluorescéine, et le liquide sera placé dans l'un des deux tubes de l'appareil. Après l'addition de la matière colorante et après un premier laps de temps variant suivant les distances, de nouveaux prélèvements seront faits toutes les deux heures, par exemple, et examinés comparativement au prélèvement type.

Voici comment on pourrait résumer les résultats que j'ai obtenus dans mes expériences :

a) Les matières colorantes autres que les couleurs sulfoconjuguées, telles que la fuchsine acide et la fluorescéine, sont à rejeter.

b) Avant l'addition de la matière colorante, il sera nécessaire de déterminer la nature du terrain : j'ai démontré plus haut qu'elle avait une grande influence sur l'intensité de la coloration, qui peut même devenir nulle dans certains cas.

(1) Cette recommandation s'applique assez spécialement à la fluorescéine chimiquement pure, vendue dans le commerce sous forme d'une poudre d'un beau jaune, non directement soluble dans l'eau. Mais si l'on se sert des fluorescéines habituellement employées dans les expériences de coloration et qui renferment des poudres d'un brun rougeâtre et légèrement orangée, se vendant, à Paris, par exemple, à des prix variant de 11 à 15 francs le kilogramme (pris par 50 kilogrammes à la fois), on peut se dispenser de ces opérations préliminaires, ces poudres étant rapidement et complètement solubles dans l'eau.

(Note du Secrétariat.)

c) Il est impossible de donner une indication précise sur la quantité de fluorescéine ou de fuchsine acide à employer : elle est subordonnée à l'importance des cours d'eau, de la composition des terrains, des nappes souterraines, de la distance à franchir, etc. La dose de 100 grammes de fluorescéine peut déjà donner des résultats dans beaucoup de cas, comme dans l'exemple que j'ai relaté; la dose de 1 kilogramme est énorme, car elle peut être, par l'emploi du fluorescope, décelée dans la dilution d'environ 2 000 000 de mètres cubes.

d) La fluorescéine sera dissoute dans de l'alcool additionné d'environ 5 % d'ammoniaque (1).

e) Les eaux de vidanges, le passage à travers des fosses ou du fumier, atténuent la fluorescence : la fuchsine acide est momentanément décolorée, mais sa couleur réapparaît par addition d'acide acétique. Il s'ensuit que son usage peut être utilisé dans ces cas, même conjointement avec celui de la fluorescéine.

USAGES.

Outre la recherche de l'origine des sources, on peut se servir des solutions des colorants pour établir les relations entre deux cours d'eau ou entre des lacs, pour l'étude des glaciers et, en général, pour les études géologiques.

Étant donné la quantité de fluorescéine employée, le temps nécessaire pour apercevoir au fluorescope la première fluorescence, le moment où la fluorescence devient le plus intense et la durée du phénomène, on peut avoir, sinon une idée exacte, du moins la notion du volume d'une source, de sa vitesse, de l'existence et de l'importance des nappes d'eau souterraines.

Dans l'hygiène, on peut s'en servir pour reconnaître, comme cela a déjà été fait, les fuites d'eau dans les canalisations douteuses, et vice versa, pour reconnaître dans ces mêmes canalisations les infiltrations extérieures. En temps de contamination, l'emploi combiné de la fluorescéine et de la fuchsine sulfonée, dont les propriétés colorantes, ainsi que je viens de le démontrer, ne sont pas entièrement détruites par les matériaux de la décomposition, pourra rendre les plus grands services pour découvrir les infiltrations et les suintements provenant des fosses des maisons ou des quartiers contaminés.

Dans l'industrie, on pourrait souvent avoir recours aux colorants pour les questions, si controversées par les intéressés, des infiltrations des eaux résiduaires provenant des établissements classés.

(1) Voir note (1) de la page précédente.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

CH. RABOT. — **Diminution de la nappe phréatique en Angleterre.** (Extrait de *La Géographie*, VII, n° 5, 1903, 15 mai, pp. 376-377.)

Dans ces dernières années, le niveau de la nappe phréatique s'est abaissé dans toute l'Angleterre, et, en plusieurs localités, avec une rapidité alarmante. Dans une réunion tenue à Londres, le 11 février, sous les auspices du « Sanitary Institute », pour envisager cette question de l'eau, plusieurs orateurs ont mis en lumière des faits très intéressants que rapporte le *Symon's meteorological Magazine*, publié par notre savant collègue, le Dr Hugh Robert Mill (n° CCCCXLVII, vol. XXXVIII, avril 1903; Londres, p. 45). La disette d'eau a été signalée comme particulièrement remarquable dans le Hertfordshire, notamment dans la vallée de la Lea; dans la région crayeuse du Kent septentrional, l'abaissement du niveau de la nappe souterraine se manifeste avec non moins d'évidence, à la grande inquiétude de la population, et les cours d'eau tarissent. M. W. Whitaker, après avoir montré la généralité du phénomène dans toute l'Angleterre, a attribué le déficit, pour une part, à une diminution des précipitations, et, pour une autre, à l'usage abusif de la nappe souterraine par les usines et par des travaux. M. R. H. Mill, avec sa compétence toute particulière, a démontré à l'assemblée que l'Angleterre passe actuellement par une phase de sécheresse.

Pendant la dernière période de trente-sept ans (1865-1901), durant laquelle a fonctionné le service pluviométrique dû à l'initiative privée (*British Rainfall*), seulement les sept années qui s'étendent de 1865 à 1871, les précipitations ont atteint la moyenne de toute la période; durant les quinze années suivantes (1871-1886), il y a eu excès de

pluie (8 % en moyenne) par rapport à la moyenne de toute la période, tandis que de 1886 à 1901, il y a eu déficit (8 % en moyenne).

Durant cette dernière période, seulement trois années les précipitations ont été supérieures à la moyenne. Le déficit est particulièrement remarquable en Irlande et dans le pays de Galles; dans le centre de l'Angleterre, il est très important et atteint 16 ou 17 % pour la période décennale 1890-1899. En revanche, actuellement, on relève une augmentation des précipitations dans l'Ouest de l'Écosse, dans le district des Lacs et dans le Nord-Ouest du Yorkshire.

CH. RABOT.

ROGERS ET SCHWARZ. — Une période glaciaire pendant l'époque devonienne dans l'Afrique du Sud. (*Ann. Rep. Geol. Comm. Cape of Good Hope, 1900.*)

A peine l'étude géologique des formations du Karroo a-t-elle établi l'existence d'une période glaciaire pendant le Trias dans l'Afrique du Sud, que voici, dans le rapport de la Commission géologique du Cap pour 1900, MM. Rogers et Schwarz signalant, à leur tour, l'existence d'un conglomérat glaciaire avec roches striées dans les couches d'âge devonien (Table Mountain Sandstone) des Cederbergen : une chaîne de montagnes qui court parallèlement à la côte de l'Atlantique, au Nord-Est de la colonie du Cap.

Le conglomérat, que, par suite de sa position stratigraphique, il faut rattacher au Devonien inférieur, est constitué par un *Boulderclay* durci, renfermant des galets de quartzite veinés, de quartzite homogène, de felsite et de granite, dont les plus volumineux peuvent atteindre un diamètre de 1 décimètre. La grande majorité de ces galets présentent des facettes avec des stries très caractéristiques. Le conglomérat a été déposé en concordance avec les roches sous et sus-jacentes; on peut donc en conclure qu'il a été déposé sous l'eau, et que les galets auraient été amenés par le transport des blocs de glace provenant d'un glacier voisin.

M. Costorphine, le directeur du Service géologique du Cap, rappelle du reste qu'on a trouvé également des traces de striation glaciaire dans les conglomérats du *Old Red Sandstone* d'Écosse.

Le sol sur lequel on a découvert les traces d'une accumulation glaciaire pendant la période devonienne n'a plus subi d'immersion depuis cette époque éloignée, et c'est à ce point de vue la partie la

plus ancienne du continent africain actuel. Les grès du Table Mountain proviennent de la dénudation des *Malmesbury beds*, et l'on ignore de quelles régions provenaient les sédiments, arénacés et vaseux, constituant cette dernière formation, qui représente le sol de cette partie de l'Afrique pendant les temps prédevoniens. C'est sans doute aussi de cette dernière formation que proviennent les roches striées qui font partie du conglomérat glaciaire devonien des Cederbergen.

V. DE W.

REUSCH HANS. — La structure géologique du Telemarken.
(*Naturen*, Bd 27, Bergen, 1903.)

Le district de Telemarken se trouve à l'Ouest de Christiana. Les dépôts algonkiens y représentent une épaisseur remarquable, qui, d'après Dahll, atteindrait au moins 9 500 mètres. L'auteur a représenté, sur une carte, le gisement des quartzites, des roches volcaniques superficielles et des roches ignées profondes qui y correspondent.

Il est manifeste que la période algonkienne a été d'une très longue durée. Il semble qu'il faille remonter aux temps obscurs de la période archéenne pour découvrir l'apparition de la vie sur le globe. Il survint ensuite une étape pendant laquelle l'essor des organismes fut arrêté, et ceux-ci furent détruits pour la plupart. C'est pendant la période algonkienne que les espèces qui étaient parvenues à se maintenir purent se développer pour atteindre la période cambrienne.

V. DE W.

NOTES ET INFORMATIONS DIVERSES

Conférence de M. le Prof^r Lacroix à la Société de Géographie de Paris. — Les éruptions de la Montagne Pelée et de Saint-Vincent.

Dans une conférence donnée à l'Assemblée générale du 24 avril 1903 de la *Société de Géologie* de Paris, et qui se trouve résumée dans le numéro du 15 mai de la *Géographie*, par M. *Fréd. Lemoine*, M. A. LACROIX, professeur au Muséum, a traité des résultats synthétiques de ses études et observations tant à la Montagne Pelée de la Martinique qu'à la Soufrière de Saint-Vincent.

L'orateur a commencé par indiquer magistralement les grands traits de la topographie et de la géologie de la Martinique. Le sol en est généralement volcanique et le point culminant du relief est la Montagne Pelée, dont le volcan, endormi depuis 1851, s'est réveillé en 1902. Avant l'éruption, ce volcan offrait comme appareil extérieur un cratère, situé sur le revers occidental de la montagne, à une altitude de quelques centaines de mètres au-dessous de l'ancien lac des Palmistes. Les crêtes du Morne la Croix, du Morne Martin et du Petit Bonhomme le bordaient. Ce cratère unique est formé par une ancienne *caldeira*, dont le fond était occupé par l'Étang Sec. On désigne sous le nom de *caldeiras* des cavités abruptes, environnées d'une sorte de rempart conique, résultant d'une explosion exceptionnellement violente accompagnée d'effondrement. Les parois intérieures des caldeiras sont généralement verticales, décelant, comme découpées à l'emporte-pièce, les roches de l'ancien sol. Le rempart conique extérieur est constitué par l'accumulation des matériaux projetés. La caldeira de la Montagne Pelée s'ouvrait au sommet, mais présentait du côté Nord-Ouest une profonde échancrure qui a eu une influence néfaste sur les résultats de l'éruption. Elle est, en effet, dirigée vers Saint-Pierre. De cet unique cratère sont parties, sillonnées d'éclairs pendant les paroxysmes, les projections de gaz et de vapeur d'eau chargée de cendres, de boue, de lapilli, de blocs et bombes que l'on observe dans toute éruption.

En effet, l'éruption actuelle, jusqu'au 31 juillet 1902, date du départ de la mission Lacroix, a consisté exclusivement dans une phase explosive; elle n'a produit aucune coulée de laves. On n'a constaté, en dehors du cratère, ni fente béante, ni changement de niveau du rivage, ni affaissement, ni soulèvement notables dans l'intérieur des terres, ni modifications appréciables des fonds au voisinage de la côte, ni tremblement de terre. Les grandes explosions ont été accompagnées d'une dépression barométrique subite et de petits raz de marée, parfois meurtriers, se faisant sentir jusqu'à Fort-de-France. Les blocs de lave incandescente n'ont été projetés qu'à quelques centaines de mètres du cratère, mais les cendres et les lapilli sont tombés sur toute la

Martinique. La dévastation n'était complète, au 31 juillet, que sur une zone de 2 à 3 kilomètres autour du cratère et sur toute la côte Ouest entre l'îlot de la Perle et les premières maisons du Carbet. Au milieu de la zone dévastée, dans le prolongement de la large brèche ouverte près du sommet de la Montagne Pelée, abondent, dirigées vers le Sud-Ouest, les fumerolles sulfhydriques. Ces fumerolles jalonnent, dans la vallée de la Rivière Blanche, une ligne de fissures se trouvant vraisemblablement sur la prolongation de la fente du cratère. La destruction de Saint-Pierre doit être attribuée, sans doute, à la position de cette fente, profonde échancrure en forme de V, qui s'ouvre vers le Sud-Ouest, au-dessous de la Rivière Blanche, et par laquelle des poussées obliques se sont dirigées en éventail sur la malheureuse ville. Enfin, la direction des fissures se prolonge sous la mer et doit être la cause de la rupture du câble sous-marin français.

Mais, outre ces faits ordinaires, deux phénomènes spéciaux caractérisent l'éruption actuelle. La description de ces deux phénomènes et l'explication de la catastrophe de Saint-Pierre font plus particulièrement l'objet de la conférence. A l'aide de nombreuses projections photographiques, M. Lacroix fait renaître sous les yeux de ses auditeurs ces phénomènes et le déplorable événement qui attriste la France.

Le premier de ces phénomènes est la formation, par accumulation, d'un dôme de lave sur l'orifice de sortie de la bouche souterraine du volcan. Il se produit dans les éruptions de laves acides, trachytes ou andésites; l'intérieur de l'amas est rempli de lave en fusion; celle-ci, à cause de sa faible fusibilité, est très visqueuse. Sa surface est revêtue de blocs qui s'éboulent au fur et à mesure de leur solidification, et qui lui constituent ainsi une sorte de carapace pierreuse. Les dômes trachytiques des volcans éteints du Puy sont de ce genre. Mais c'est la première fois que des savants assistent à ce phénomène.

Grâce à des profils datés avec exactitude, et à de curieuses photographies, M. Lacroix fait assister ses auditeurs étonnés à la naissance et à la croissance de ce dôme de lave. Dès les premiers jours de l'éruption, un amas de laves, que les géologues américains prirent à tort pour un cône de débris, constitué par de la lave compacte et continue, s'est édifié dans l'ancien cratère (Étang Sec). Aujourd'hui ce dôme dépasse la crête de la montagne de 300 mètres. Il s'élevait parfois de plus de 40 mètres en vingt-quatre heures, mais souvent son ascension était compensée par des éboulements. Voici quel est son mode d'accroissement. La lave visqueuse afflue d'abord dans les fissures du cône déjà existant; son incandescence la rend visible la nuit. Ensuite, toute la masse, ou seulement une partie, se soulève avec lenteur. Des aiguilles hérissent sa surface et au sommet se dresse une dent. Vue de la mer, cette dent a la forme d'un obélisque aigu; des bords du cratère, elle est, en réalité, recourbée vers le Sud-Ouest, limitée au Nord, à l'Est et au Sud-Est par une surface cylindrique, polie et striée verticalement par frottement. La face Sud-Ouest, qui ne suit pas régulièrement le lent mouvement d'ascension, s'écrase, prend l'aspect ruini-forme, pendant que la courbure de la dent s'accroît. Ce dôme, que l'orateur a vu surgir des bords du cratère, fait de la Montagne Pelée le plus haut volcan des Antilles; puis élevé au milieu de l'ancienne caldeira, il en comble peu à peu la cavité et s'est déjà soudé à sa paroi occidentale. Ainsi deux types volcaniques différents se sont greffés l'un sur l'autre et se confondront peut-être.

L'autre phénomène, non encore observé scientifiquement, est la production de nuées ardentes, l'un des traits essentiels de l'éruption actuelle. Ces nuées, ou nuages denses à haute température, qui, rasant le sol, brûlent et asphyxient les êtres vivants et détruisent tout sur leur passage, sont produites par une projection de gaz et de vapeurs, entraînant dans une direction longeante une énorme quantité de cendres et

de blocs ; elles partent actuellement de la base Sud-Ouest de la dent terminale du dôme, dont elles entraînent toujours une portion. Une de ces nuées, observée de la mer, le 16 décembre dernier, marchait à la vitesse de 1 $\frac{1}{2}$ kilomètre à la minute ; ses volutes, arrivées à la mer, s'élevèrent à plus de 4 000 mètres. Une heure après l'éruption, l'eau de mer, près du rivage, avait 40° C. ; les 30 centimètres de cendres déposées sur la roche sèche dépassaient 115° C. Sur la cendre sèche, de petites cavités cratériformes existaient ; la cendre y bouillonnait, entraînant avec rapidité de menus lapilli. Le nuage, à son arrivée sur la mer, à plus de 5 kilomètres du cratère, avait une température inférieure à 230° C., car il n'avait pas fondu une lame d'étain, mais supérieure à 125° constatés quarante-huit heures après l'éruption. A 3 ou 4 milles de la côte, le nuage couvrit un bateau de cendres et de lapilli refroidis. Ces nuages, sortis du dôme en formation, se précipitent à l'extérieur, quand la poussée interne, trop violente, brise les parois du cône fissuré, entraînant un lambeau de ce cône. La nuit, la cicatrice du cône paraît brillante et des blocs s'en détachent encore quand le nuage a été dissipé. Or, tout l'hiver, le trajet de ces nuages denses est resté constamment limité à la vallée de la Rivière Blanche. C'est assurément un phénomène de ce genre qui s'est produit dans les grandes éruptions du 8 et du 20 mai, du 9 juillet et du 30 août 1902. La nuée ardente s'est alors étendue sur une surface beaucoup plus grande que celle ravagée le 16 décembre et s'est dirigée en partie sur la malheureuse ville de Saint-Pierre, déterminant d'abord, parachevant ensuite sa destruction. Ces grandes éruptions, du 8 et du 20 mai, ont été, il est vrai, accompagnées de violentes projections verticales de cendres, de lapilli et de bombes, faisant beaucoup de bruit et jetant la terreur dans l'île, mais n'y causant que de minces dommages. Les nuées ardentes ont été seules vraiment destructives. Elles seules expliquent donc la catastrophe de Saint-Pierre, que M. Lacroix décrit d'une façon intéressante.

Le savant conférencier passe en revue les désastres dus à l'action torrentielle des vapeurs transformées en pluies et des précipitations tropicales. L'aspect actuel de la zone ravagée est celui d'un relief nu, où se creusent les gouffres, les fondrières, les failles profondes. Toute vie a disparu de cette région de la mort. Après avoir complété cet exposé par une comparaison de l'éruption de la Montagne Pelée et de celle de Saint-Vincent, à laquelle il assista, M. Lacroix conclut en ces termes : « A la Martinique, l'éruption du volcan continue ; son régime se maintient constant ; l'élément destructeur principal, les nuées ardentes, persiste. Les flancs de la Montagne Pelée et la zone avoisinante doivent donc rester évacués pendant un temps indéterminé. Mais, cela proclamé et affirmé, il convient de remarquer et de publier hautement que la zone dévastée ou dangereuse n'est qu'une faible partie de la Martinique. Le sort de notre belle colonie, notre joyau des Antilles, n'est donc point désespéré. Sous l'égide de la France, la Martinique veut et doit vivre. Elle vivra ! »

FRÉDÉRIC LEMOINE.