

SÉANCE MENSUELLE DE MAI

remise au 3 juin 1902 et consacrée aux études sur le « Boulant ».

Présidence de M. A. Rutot, président.

Correspondance :

M. *Élisée Reclus* remercie pour sa nomination en qualité de membre associé étranger et promet à la Société, pour la fin du présent exercice, une étude sur une question d'hydrologie.

M. le *Ministre des Finances et des Travaux publics* fait connaître que la collection des matériaux de construction provenant de l'Exposition internationale de 1897 a été, conformément au vœu de la Société, remise à l'État pour être utilisée lors de la création du Musée spécial à établir éventuellement.

La Société campinoise de recherches et d'exploitation de houille a fait parvenir, grâce à l'obligeance de M. *Cavallier*, un échantillon (2 litres) de l'eau jaillissante et chaude (actuellement descendue à 22°) rencontrée, à 520 mètres environ, lors de travaux de sondage effectués près de Beeringen. (*Remerciements.*) Cet échantillon est à la disposition de ceux des membres qui voudraient en faire l'analyse.

La *Société zoologique de Londres* accepte l'échange de ses publications contre celles de la Société.

M. le docteur *Florentino Ameghino* porte à la connaissance de la Société qu'il a été nommé Directeur du Musée national de Buenos-Ayres, comme successeur de feu le professeur *Charles Berg*.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

3744. ... *International Engineers Congress Glasgow, 1901. Proceedings of Section I. Railways.* London, 1902. Volume in-8° de 89 pages et 10 planches. (*Don du Comité.*)

3745. ... *International Engineers Congress Glasgow, 1901. Proceedings of Section II. Waterways and maritime works.* London, 1902. Volume in-8° de 214 pages et 17 planches. (Don du Comité.)
3746. ... *Index bibliographique de la Faculté des sciences. Publications des professeurs et privat-docents, avec une notice sur l'histoire et l'organisation actuelle de la Faculté des sciences de l'Université de Lausanne.* Lausanne, 1896. Brochure in-8° de 116 pages.
3747. De Leener, G. *Les trusts en Belgique.* Bruxelles, 1902. Extrait in-8° de 18 pages.
3748. Credner, H. *Die vogtländischen Erderschütterungen in dem Zeitraume vom September 1900 bis zum März 1902, insbesondere die Erdbebenschwärme im Frühjahr und Sommer 1901.* Leipzig, 1902. Extrait in-8° de 17 pages.
3749. Demaret, L. *Les principaux gisements de minerais de fer du monde. Les réserves de l'Europe et celles des États-Unis d'Amérique.* Bruxelles, 1902. Extrait in-8° de 61 pages, 2 planches et 59 figures.
3750. Gosselet, J. *Notes d'excursions géologiques sur la feuille de Laon. II.* Lille, 1901. Extrait in-8° de 50 pages.
3751. Grulich, O. *Geschichte der Bibliothek und Naturaliensammlung der Kaiserlichen Leopoldinisch Carolinischen deutschen Akademie der Naturforscher.* Halle, 1894. Volume in-8° de 300 pages.
3752. Hoernes, R. *Mitteilungen der Erdbeben-Commission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Neue Folge. Nr VII. Erdbeben und Stosslinien Steiermarks.* Wien, 1902. Extrait in-8° de 115 pages.
3753. Issel, A. *Il concetto della direzione nelle montagne.* Firenze, 1902. Extrait in-8° de 28 pages et 9 figures.
3754. Koken, E. *Die deutsche geologische Gesellschaft in den Jahren 1848-1898, mit einem Lebensabriss von Ernst Beyrich.* Berlin, 1901. Extrait in-8° de 69 pages.
3755. Láska, W. *Mittheilungen der Erdbeben-Commission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Neue Folge. Nr IX. Bericht über die Erdbeben-Beobachtungen in Lemberg während des Jahres 1901.* Vienne, 1902. Extrait in-8° de 55 pages.
3756. Láska, W. *Mittheilungen der Erdbeben-Commission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Neue Folge. Nr VIII. Die Erdbeben Polens. Des historischen Theiles I. Abtheilung.* Vienne, 1902. Extrait in-8° de 36 pages.

3757. ... *British Association for the Advancement of Science. Hand-Book on the Industries of Glasgow and the West of Scotland.* Glasgow, 1901. Volume in-8° de 288 pages.
3758. **Ramond, G., et Dollot, A.** *Études géologiques dans Paris et sa banlieue, II.* Paris, 1901. Extrait in-8° de 5 pages, 1 planche et 2 figures.
3759. **Rutot, A.** *Les industries primitives. Défense des éolithes. Les actions naturelles possibles sont inaptes à produire des effets semblables à la retouche intentionnelle.* Bruxelles, 1902. Extrait in-4° de 68 pages et 5 figures.
3760. **Schardt, H.** *Rapport sur les venues d'eau rencontrées dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle.* Lausanne, 1902. Brochure gr. in-8° de 27 pages et 1 planche.
3761. **Willi Ule.** *Geschichte der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinischen deutschen Akademie der Naturforscher während der Jahre 1852-1887, mit einem Rückblick auf die frühere Zeit ihres Bestehens im Auftrage des Präsidenten Herrngeheimen Rathes Professors Dr Hermann Knoblauch.* Halle, 1889. Volume in-4° de 258 pages.
3762. **Labat, Dr A.** *Climat et eaux minérales d'Allemagne.* Paris, 1902. Volume in-8° de 94 pages.

2° Extraits des publications de la Société :

- 3762^{bis}. ... *Assemblée générale annuelle de clôture de l'exercice 1898 de la Société.* Séance du 26 février 1899. Procès-Verbaux de 1898, 16 pages. (2 exemplaires.)
3763. *Catalogue des matériaux de construction réunis et exhibés à l'Exposition de Bruxelles en 1897 par la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie.* Mémoires de 1898, 28 pages. (2 exemplaires.)
3764. **J. Cornet et G. Schmitz, S. J.** *Notes sur les puits naturels du terrain houiller du Hainaut et le gisement des Iguanodons de Bernissart.* Mémoires de 1898, 18 pages. (2 exemplaires.)
3765. **Ramond, G.** *Le « Chronomètre » de l'Étang-Vert dans les bois de Meudon près de Paris.* Procès-Verbaux de 1898, 2 pages.

3766. **Van den Broeck, E.** *Les coupes du gisement de Bernissart. Caractères et dispositions sédimentaires de l'argile ossifère du Cran aux Iguanodons*. Procès-Verbaux de 1892, 28 pages et 4 figures. (2 exemplaires.)
3767. **Van den Broeck, E.** *Le Wealdien du Bas-Bouloonnais et le Wealdien de Bernissart considérés comme se rapportant au Jurassique supérieur (facies purbeckien du Portlandien supérieur)*. Procès-Verbaux de 1898, 7 pages. (2 exemplaires.)
3768. **Van den Broeck, E.** *Les coupes du gisement de Bernissart. Caractères et dispositions sédimentaires de l'argile ossifère du Cran aux Iguanodons. — Étude précédée : 1° d'un résumé du mémoire de MM. J. Cornet et G. Schmitz, intitulé : « Note sur les puits naturels du terrain houiller du Hainaut et sur le gisement des iguanodons de Bernissart » ; 2° d'une note de M. L. De Pauw, intitulée : « Observations sur le gisement de Bernissart. »*
- *Le Wealdien du Bas-Bouloonnais et le Wealdien de Bernissart considérés comme se rapportant au Jurassique supérieur (facies purbeckien du Portlandien supérieur) ; étude suivie de la reproduction de la note de M. Munier-Chalmas, intitulée : « Les assises supérieures du terrain jurassique du Bas-Bouloonnais »*. Procès-Verbaux de 1898, 253 pages, 1 planche et 4 figures. (2 exemplaires.)
3769. **Van den Broeck, E.** *Note sur une nouvelle méthode de reconnaissance de l'origine des eaux captées dans les calcaires pour l'alimentation en eaux potables*. Procès-Verbaux de 1898, 4 pages. (2 exemplaires.)
3770. **Van den Broeck, E., et Martel, E.-A.** *Nouvelles recherches et constatations à Han-sur-Lesse*. Procès-Verbaux de 1898, 20 pages. (2 exemplaires.)

3° Périodique nouveau :

3771. *Société des Ingénieurs civils de France*. Paris, Annuaire, 1902.

Présentation et élection d'un nouveau membre effectif :

Est présenté et élu par le vote unanime de l'Assemblée :

M. EUGÈNE MAILLEUX, membre de diverses sociétés savantes, à Couvin.

Communications des membres :

ANALYSE DES RÉSULTATS FOURNIS PAR LES RECHERCHES EXPÉRIMENTALES DE M. SPRING

SUR

LA FILTRATION ET LA PÉNÉTRATION DE L'EAU**DANS LE SABLE ET LE LIMON**

PAR

H. RABOZÉE

Capitaine du Génie.

1. Dans un mémoire publié dans les *Annales de la Société géologique de Belgique* (*), M. le professeur W. Spring expose, comme suite à une précédente étude (**), les résultats de ses recherches expérimentales sur la filtration et la pénétration de l'eau dans le sable et le limon.

Le point de départ de ces recherches se trouve, dit l'auteur, « dans la question de savoir de quelle façon a lieu la pénétration des eaux météoriques dans les profondeurs du sol ».

Et les expériences qu'il a faites « ont pour objet de vérifier le degré de perméabilité des terres et de reconnaître si des facteurs spéciaux interviennent dans la descente de l'eau, soit pour la faciliter, soit pour l'enrayer ».

Ce remarquable travail, dont nous voulons rendre compte ici, est en conséquence subdivisé en plusieurs parties, savoir :

- I. Passage de l'eau à travers le sable.
- II. — — le limon.
- III. — — l'argile.
- IV. Résumé et conclusions.

L'auteur décrit en détail ses expériences, en attirant l'attention sur les multiples précautions à prendre pour éliminer les éléments perturbateurs qui sont de nature à fausser les résultats. La mise en évidence de ces nombreuses difficultés et la façon dont elles ont été écartées

(*) *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXIX, M p. 48, 1902.

(**) *Ibidem*, t. XXVIII, M p. 417, 1901.

par l'habile expérimentateur constituent l'un des points intéressants de cette belle étude.

Le problème à résoudre a naturellement amené l'auteur à conduire ses expériences de façon à faire varier les éléments dont dépend le débit : position et longueur du filtre, pression motrice.

Les résultats des mesures directes du débit sont consignés dans des tableaux numériques et interprétés ensuite de façon à montrer l'influence que les variations dans la longueur filtrante et dans la pression motrice déterminent dans le débit de l'appareil.

Nous allons suivre l'auteur, pas à pas, dans son exposé. Nous passerons d'ailleurs rapidement sur la partie expérimentale, pour nous arrêter plus longuement à la discussion des conséquences que l'on peut tirer de ces expériences.

I. — PASSAGE DE L'EAU A TRAVERS LE SABLE.

2. Avec un sentiment fort juste des choses de l'hydraulique, M. Spring examine d'abord les filtres horizontaux.

Dans les filtres verticaux expérimentés jusqu'à ce jour, l'eau était, dit-il, « sollicitée à descendre par une force non constante, mais croissante de couche en couche ».

Il faut entendre par là que dans un filtre vertical, si l'on allonge par exemple la couche filtrante sans changer la colonne d'eau qui la surmonte, on fait varier non seulement la résistance au passage du liquide, mais aussi le travail moteur provenant de l'action de la pesanteur sur l'eau qui traverse le sable.

Dans l'équation du mouvement, on augmentera donc en même temps deux termes qui agissent en sens inverse sur la variation du débit : la résistance du filtre et le travail moteur.

Cet inconvénient disparaît avec les filtres horizontaux, puisque leurs variations de longueur n'affectent que la résistance au passage du liquide, sans atteindre le travail moteur. Les variations du débit permettront ainsi de se rendre compte de la loi qui relie la résistance d'un filtre à sa longueur.

Filtres horizontaux.

3. EXPÉRIENCES. L'auteur indique les précautions prises pour constituer le filtre : préparation du sable (sable de Rocour), remplissage du tube, dispositif à l'orifice d'évacuation.

Cinq tubes de longueurs différentes ont fonctionné d'abord avec une pression d'eau de $0^m,182$, ensuite la charge a été portée à $2^m,70$. Les tubes avaient 2 centimètres de diamètre, soit une section de $3,1416$ centimètres carrés; le débit a été évalué en grammes pendant dix minutes.

4. RÉSULTATS OBTENUS. Nous avons pensé qu'il était avantageux de rapporter ces débits à l'unité de temps et à l'unité de section, de façon à pouvoir rapprocher les chiffres obtenus de ceux qui seraient fournis par d'autres expériences où la section du filtre et la durée de l'observation seraient différentes (*).

Nous avons pris comme *unités* de capacité, de section et de temps, respectivement le litre, le décimètre carré et l'heure. Les chiffres des tableaux suivants, obtenus en multipliant ceux de l'auteur par un nombre constant,

$$\frac{6 \times 100}{3,1416 \times 1000} = 0,1909,$$

expriment donc les débits, en litres, par décimètre carré et par heure.

TABLEAUX N^{OS} 1 ET 2.

LONGUEURS des FILTRES <i>l.</i> en mètres.	CHARGE D'EAU $p_1 = 0^m,182$.		CHARGE D'EAU $p_2 = 2^m,70$.	
	q_1 .	α_1 .	q_2 .	α_2 .
$0^m\ 090$	1,875	0,927	35,00	1,16
$0^m,178$	1,390	1,358	20,50	1,36
$0^m,420$	0,966	2,220	9,85	1,53
$0^m,890$	0,543	2,650	5,12	1,69
$1^m,960$	0,254	2,730	2,50	1,81

Les débits sont représentés pas les notations q_1 ou q_2 , suivant qu'il s'agit des filtres fonctionnant sous les pressions d'eau $p_1 = 0^m,182$ ou $p_2 = 2^m,270$.

(*) Nous admettons donc que, toutes choses égales. le débit est proportionnel à la section du filtre et à la durée de filtration. Les conclusions que nous formulerons dans la suite sont d'ailleurs indépendantes de cette supposition.

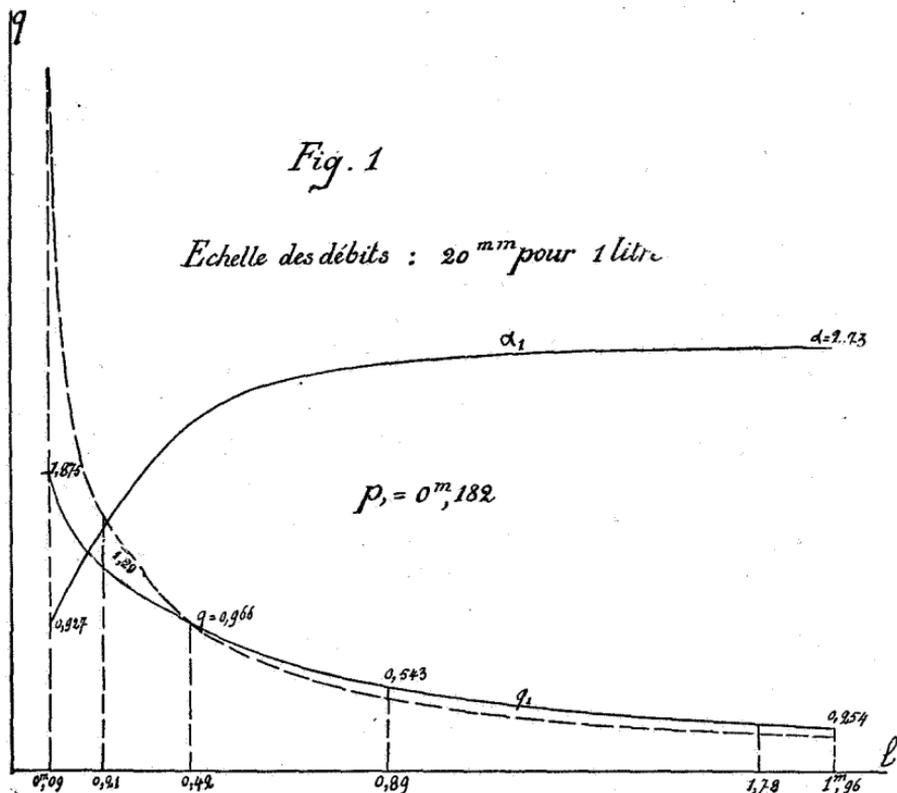
Les notations α_1 et α_2 ont une signification que nous définirons dans la suite.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.

Filtres fonctionnant sous une pression d'eau $p_1 = 0^m,182$.

5. Pour mieux interpréter les résultats, il nous a paru avantageux de les traduire graphiquement.

Le diagramme (fig. 1) a été construit d'après les chiffres du tableau n° 1. Les longueurs de filtres sont représentées par les abscisses l ; les débits q_1 par les ordonnées verticales (*).



L'examen de ce diagramme permet de voir comment varie le débit quand la longueur du filtre augmente.

Comme il fallait s'y attendre, le débit diminue quand l'épaisseur

(*) L'étude qui suit a été faite et présentée en séance en utilisant des diagrammes exécutés à une échelle beaucoup plus grande.

filtrante s'accroît; mais, fait remarquer M. Spring, « *ce n'est en aucune façon en raison inverse de cette épaisseur* ».

On constate, dit l'auteur, « qu'au début, c'est-à-dire avec des filtres courts, le débit diminue moins vite que l'augmentation de l'épaisseur du filtre.

» En d'autres termes, la résistance opposée par le filtre à la circulation de l'eau se marque davantage dans un filtre peu épais.

» La cause de ce fait peut se trouver, entre autres, dans cette circonstance que le frottement de l'eau contre les grains de sable du filtre est, toutes choses égales, proportionnellement plus fort quand la circulation est rapide que quand elle est ralentie. »

6. M. Spring compare ensuite la loi suivant laquelle varie le débit à celle qui est fournie par la formule de Poiseuille, relative aux tubes capillaires :

$$Q = ND^4 \frac{P}{L}$$

Dans cette formule,

- Q est le débit,
- N une constante,
- D le diamètre du tube,
- P la pression,
- L la longueur.

On le voit, pour un tube capillaire donné, *le débit est proportionnel à la pression et en raison inverse de la longueur* (*).

C'est à cette loi simple que M. Spring va comparer tous ses résultats.

Dans ces conditions, il nous paraît encore avantageux de construire, sur la figure 1, le diagramme représentant cette loi de Poiseuille (**). C'est ce que nous allons faire.

Si les débits suivaient la loi que nous venons de rappeler, ils pourraient s'exprimer par la formule

$$q = \alpha \frac{p}{l},$$

(*) Il nous paraît utile de rappeler, dès maintenant, que cette loi n'est vraie que si le tube considéré dépasse une certaine limite de longueur, variable avec le diamètre de ce tube. Au-dessous de la limite, le débit augmente plus rapidement que la pression. Voir à ce sujet la note ajoutée pendant l'impression, qui fait suite au présent travail (p. 294).

(**) Cette loi est aussi celle qui régit le passage des courants électriques dans les conducteurs. Pour un fil donné, $I = K \frac{E}{l}$.

dans laquelle α serait une constante pour un sable donné, mais varierait nécessairement avec la nature de la masse filtrante.

Le graphique traduisant cette formule, dans laquelle q et l sont des variables, est une hyperbole équilatère rapportée à ses asymptotes.

Construisons cette courbe de façon qu'elle passe par exemple par le point $l = 0,42$ et $q = 0,966$ du diagramme réel du débit.

Cette hyperbole est représentée en traits interrompus. On voit qu'elle diffère notablement du diagramme résultant de l'expérience directe, et l'allure des deux courbes montre bien en quoi la loi du débit réel diffère de la loi de Poiseuille.

Il résulte de ces constatations que si l'on voulait représenter le débit réel d'un filtre horizontal fonctionnant sous une pression p_1 par la formule

$$q = \alpha \frac{p_1}{l},$$

il faudrait y regarder α comme variable avec l ; on aurait donc :

$$\alpha = f(l).$$

7. La marche du phénomène sera bien mieux mise en évidence si nous traduisons graphiquement la loi de variation de α avec l .

Nous appellerons α_1 les valeurs de α relatives à la charge d'eau $p_1 = 0^m,182$.

Partant des chiffres du tableau n° 1, nous avons donc, pour chaque valeur de l , calculé la valeur correspondante de α par la formule

$$\alpha_1 = \frac{q_1 l}{p_1}.$$

La courbe correspondante est représentée sur la figure 1. On voit que α_1 augmente de 0,927 à 2,73 pour l variant de 0,09 à 1,96.

Ainsi, α_1 , la quantité par laquelle il faut multiplier le rapport $\frac{p_1}{l}$ pour obtenir le débit q_1 , croît avec la longueur du filtre; ce que l'on traduit en disant que la diminution de débit est moins rapide que l'augmentation de la longueur filtrante.

Si l'on double la longueur d'un filtre, le débit ne sera pas réduit de moitié.

Comparons, en effet, deux filtres $l = 0,21$ et $l' = 2l = 0,42$, les débits correspondants seront :

$$\left. \begin{array}{l} q_1 = 1,29 \\ q'_1 = 0,966 \end{array} \right\} \text{ tels que } q_1 > q'_1, \text{ mais } \frac{q'_1}{q_1} = \frac{1}{1,335} > \frac{1}{2}.$$

On constate donc que α_1 croît rapidement pour les faibles longueurs de filtre, c'est-à-dire que pour ces faibles longueurs, la réduction de débit due à l'allongement est beaucoup moins rapide que ne l'indique la loi de Poiseuille. Mais à partir de $l = 0^m,60$ environ, on voit que cette augmentation de α_1 est de plus en plus lente; α_1 a à peu près atteint son maximum, de sorte que la courbe paraît asymptotique d'une droite horizontale.

Cela revient à dire que lorsque le filtre atteint une certaine longueur, la loi du débit est à peu près la loi hyperbolique de la formule de Poiseuille. Le doublement de la longueur a alors une influence plus marquée que dans les filtres courts : il réduit le débit sensiblement dans le rapport de 2 à 1. Ainsi pour $l = 0^m,89$ et $2l = 1^m,78$, les débits sont respectivement $q = 0,545$ et $q' = 0,274$ (approx.); le rapport $\frac{q'}{q} = \frac{274}{543} = \frac{1}{1,98}$, très voisin de $\frac{1}{2}$.

Filtres fonctionnant sous une pression d'eau $p_2 = 2^m,70$.

8. Les conclusions relatives aux variations de α_1 et les conséquences qui en ont été tirées se rapportent aux filtres fonctionnant sous une pression de $0^m,182$.

M. Spring n'a pas manqué de reconnaître qu'il « serait utile de faire varier la pression, surtout de l'augmenter, pour s'assurer si la rapidité avec laquelle diminue le débit du filtre quand on augmente son épaisseur, est en rapport avec cette pression ».

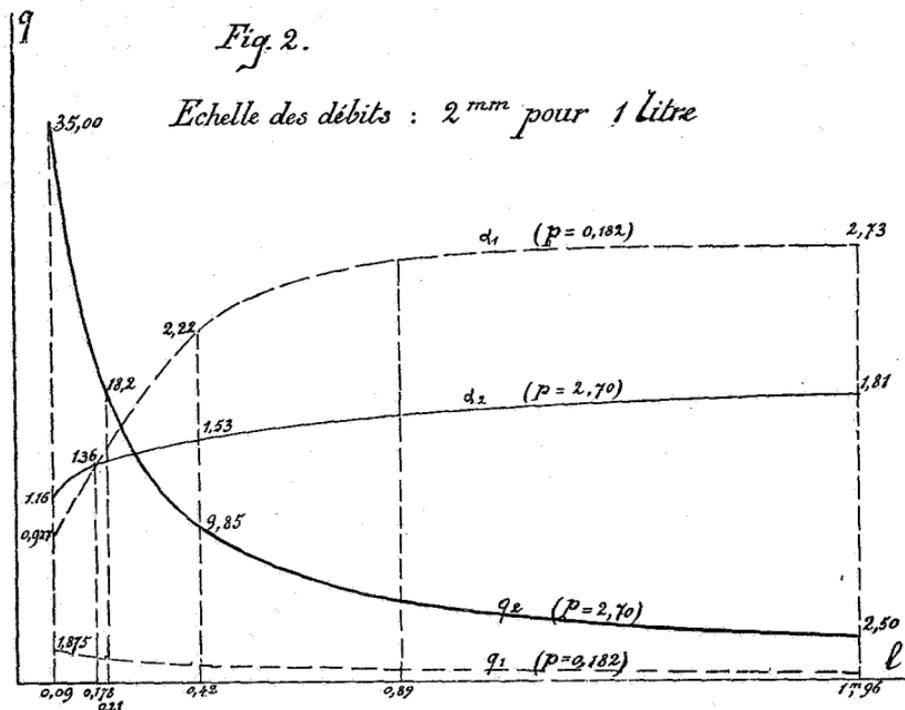
Il a donc repris les mesures en portant la charge d'eau à $2^m,70$; rien n'a été changé d'ailleurs aux autres dispositions de l'appareil : même sable, mêmes tubes et mêmes longueurs de filtres, ce qui facilite les comparaisons.

Les résultats de ces expériences, transformés comme nous l'avons indiqué par les changements d'unités, sont consignés dans le tableau n° 2.

Appliquant comme précédemment les représentations graphiques, nous avons traduit ces chiffres par les diagrammes de la figure 2. L'échelle des débits est dix fois plus petite que dans la figure 1.

L'une des courbes en trait continu représente les débits q_2 , l'autre représente les valeurs correspondantes du coefficient α_2 .

Pour rendre plus frappantes les comparaisons avec la première série d'expériences, nous avons reproduit, à la même échelle, en traits interrompus, les diagrammes analogues relatifs à la pression $p_1 = 0^m,182$.



9. On reconnaît immédiatement, dans la courbe des débits, une allure hyperbolique, et c'est ce que montre, d'une manière bien plus évidente, le diagramme α_2 .

En effet, pour cette forte pression d'eau ($2^m,70$), α_2 varie peu avec la longueur du filtre : dans les limites des expériences ($l=0,09$ à $l=1,96$), α_2 varie dans le rapport de

$$\frac{1,16}{1,81} = \frac{1}{1,56},$$

alors que pour la pression $p_1 = 0,182$, la variation correspondante était de

$$\frac{0,927}{2,73} = \frac{1}{2,94}.$$

Ainsi, dans la formule

$$q_2 = \alpha_2 \frac{p}{l},$$

α_2 est encore une fonction de l , mais cette fonction varie relativement peu; α_2 croît très lentement avec l .

On en conclut que l'augmentation de résistance du filtre, due à son allongement, est encore compensée en partie par l'accroissement de α_2 ,

mais dans une proportion bien moindre que dans la première série d'expériences.

Passant de

$$l = 0^m,21 \quad \text{à} \quad l' = 2l = 0^m,42,$$

on trouve

$$q_2 = 18,2 \quad \text{et} \quad q'_2 = 9,85,$$

de sorte que

$$\frac{q'_2}{q_2} = \frac{9,85}{18,2} = \frac{1}{1,9}.$$

Les débits sont donc à peu près en raison inverse des longueurs de filtre, même pour des filtres dont les longueurs ne sont pas très grandes.

Comparaison des deux séries de résultats.

10. Nous avons montré que pour des filtres fonctionnant sous une charge donnée, α est une fonction de la longueur filtrante.

La comparaison des deux diagrammes de α va nous permettre de tirer d'autres conclusions.

Pour une même longueur de filtre, α varie avec la pression.

Le coefficient α_1 , d'abord plus petit que α_2 , croît plus rapidement que α_2 ; pour $l = 0^m,178$, ces deux coefficients sont sensiblement égaux, mais au delà, α_1 l'emporte beaucoup sur α_2 .

A partir de $l = 0^m,89$, le rapport $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ paraît à peu près constant :

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = 1,50 \text{ environ.}$$

Nous pouvons traduire ces constatations de la façon suivante :

1° Pour des filtres de longueur $l = 0^m,178$, les débits sont proportionnels aux pressions d'eau, car $\alpha_1 = \alpha_2 = 1,36$:

$$\left. \begin{array}{l} q_1 = 1,36 \frac{p_1}{l} \\ q_2 = 1,36 \frac{p_2}{l} \end{array} \right\} \text{d'où : } \frac{q_2}{q_1} = \frac{p_2}{p_1} \quad \begin{array}{l} p_1 = 0^m,182 \\ p_2 = 2^m,70. \end{array}$$

2° Pour des filtres de plus petites longueurs, les débits croissent plus vite que les pressions; ainsi pour $l = 0^m,09$, on a :

$$\left. \begin{array}{l} q_1 = 0,927 \frac{p_1}{l} \\ q_2 = 1,16 \frac{p_2}{l} \end{array} \right\} \text{d'où : } \frac{q_2}{q_1} = \frac{1,16}{0,927} \frac{p_2}{p_1}.$$

3° Pour des filtres de longueurs plus grandes que 0^m,178, les débits croissent moins vite que les pressions, en d'autres termes, *les fortes pressions donnent proportionnellement moins que les faibles.*

Ainsi, pour $l = 1^m,96$, on trouve :

$$\left. \begin{array}{l} q_1 = 2,73 \frac{p_1}{l} \\ q_2 = 1,81 \frac{p_2}{l} \end{array} \right\} \text{d'où : } \frac{q_2}{q_1} = \frac{1,81}{2,73} \frac{p_2}{p_1}$$

Nous pensons que c'est cette dernière conclusion que M. Spring veut exprimer en disant que « l'effet des différences de pression initiale, dans les filtres de sables horizontaux, s'éteint bientôt ».

Mais nous ne partageons pas entièrement sa manière de voir quand il ajoute : « l'eau continue à cheminer lentement comme si elle était affranchie de la pression ».

Et plus loin : « il semble que l'on se trouve alors plutôt en présence d'un phénomène d'*imprégnation* du sable ou d'un phénomène d'*imbibition*, que d'une circulation de l'eau par poussée. La pression n'intervient, pour ainsi dire, que pour déterminer l'écoulement ou pour vaincre l'adhérence du liquide au sable ».

En effet, si nous admettons, ce que les diagrammes montrent comme suffisamment exact, qu'au delà de $l = 1^m,96$, α_1 et α_2 sont constants et valent respectivement

$$\alpha_1 = 2,73 \text{ et } \alpha_2 = 1,81,$$

on en conclut que les débits d'un filtre de 4 mètres de longueur seront, pour la pression d'eau 0^m,182 :

$$q_1 = 2,73 \frac{0,182}{4} = 0,125 \text{ (litre par décimètre carré et par heure),}$$

et pour la pression 2^m,70 :

$$q_2 = 1,81 \frac{2,70}{4} = 1,22 (*) \text{ (litre par décimètre carré et par heure).}$$

Ces résultats montrent que l'influence de la pression est encore très considérable, puisqu'en rendant la pression quinze fois plus forte on arrive à décupler le débit.

11. Revenons un instant aux conclusions énoncées plus haut et qui sont la traduction de faits d'expérience.

(*) Pour obtenir ce débit sous une charge d'eau de 0^m,182, il faudrait un filtre d'environ 0^m,17 de longueur.

Le 3^o paraît très rationnel : dans les filtres de longueur assez grande, les fortes pressions donnent relativement moins que les faibles.

Les lois bien connues de l'hydraulique font prévoir cette conclusion. On sait, en effet, que dans l'expression des pertes de charge dans les conduits, la vitesse intervient à un degré supérieur à la première puissance.

M. Spring fait lui-même pressentir cette loi quand il signale, à propos du filtre de 0^m,182, l'influence de la rapidité de la circulation sur la résistance du filtre.

On conçoit donc aisément que $\alpha_1 > \alpha_2$.

Mais les conclusions 1^o et 2^o paraissent en opposition avec les lois de la mécanique.

Comment peut-il se faire que, pour des couches filtrantes de faible épaisseur ($l > 0^m,178$), la résistance du filtre soit proportionnellement plus faible quand les pressions d'eau sont plus fortes et par conséquent quand la circulation est *rapide*, que quand elle est ralentie?

Et c'est cependant ce qui résulte de $\alpha_1 < \alpha_2$.

Cette anomalie — au moins apparente — doit-elle être rapprochée de ce fait déjà signalé par Poiseuille, à propos des tubes capillaires, qu'au-dessous d'une certaine limite de longueur, variable avec le diamètre du tube, le débit augmente plus rapidement que la pression?

Ainsi, cette limite a pu être évaluée à 200 millimètres pour un tube de 0^{mm},65 de diamètre. Elle décroît avec le diamètre, et pour un tube de 0^{mm},029, par exemple, elle est inférieure à 2^{mm},10.

Peut-être, cependant, n'y a-t-il pas autre chose, dans ces résultats d'expériences relatifs aux filtres courts, que l'influence d'un élément perturbateur dont l'effet ne serait pas sensible pour des filtres de plus grande longueur. Il ne serait pas sans intérêt d'étudier les circonstances analogues dans des filtres formés de sables plus gros ou plus fins.

QUELQUES CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES.

12. Il résulte de ce que nous avons dit que la formule

$$q = \alpha \frac{p}{l}$$

traduit mal la loi du débit des filtres horizontaux, puisque α est une fonction de la longueur du filtre et de la pression motrice :

$$\alpha = f(l, p).$$

C'est ce que l'hydraulique devait faire prévoir, nous l'avons déjà dit.

Il nous a paru intéressant de rechercher si l'on ne pourrait pas assimiler un filtre à un faisceau de conduits et leur appliquer les formules qui expriment les lois de l'écoulement des liquides.

Sans aucun doute, une masse filtrante de sable ne peut pas être regardée comme un faisceau de tubes capillaires. Le phénomène est beaucoup plus compliqué : les filets liquides présentent, dans le fouillis des interstices irréguliers du sable, des épanouissements, des rétrécissements brusques de section, des coudes, des branchements et des barrages.

La mécanique enseigne que ces accidents donnent lieu à des pertes de charge qui, dans les conditions ordinaires, sont fonction du carré de la vitesse d'écoulement.

Le frottement du liquide, sur les parois et sur lui-même (viscosité), est également fonction de la vitesse, mais au premier degré et aux puissances supérieures.

La perte totale due à ces causes est d'ailleurs proportionnelle à la longueur du filtre.

En s'arrêtant au deuxième degré, on pourra, avec assez d'exactitude, pensons-nous, réunir l'ensemble de ces pertes de charge en une somme de deux termes de la forme

$$(m v + n v^2) l.$$

A l'entrée et à la sortie du filtre, il se produit également une perte de charge, fonction du carré de la vitesse, mais indépendante de la longueur filtrante, et qui se mettra sous la forme

$$rv^2.$$

De sorte que l'équation d'un mouvement du filet liquide pourra s'exprimer par

$$h + p_0 - p = l (mv + nv^2) + rv^2,$$

formule dans laquelle :

h est la différence de niveau entre l'entrée et la sortie du filtre ;

l , la longueur du filtre ;

p_0 , la pression unitaire à l'entrée ;

p , la pression unitaire à la sortie ;

v , la vitesse du filet ;

m , n et r , des constantes dépendant de la forme et des dimensions du conduit sinueux ; de la nature et de l'état du liquide et des parois.

Si l'on considère l'ensemble de ces filets formant le filtre et si l'on remarque que le débit q de l'appareil est proportionnel à la vitesse v , on arrive, par des transformations faciles à saisir, à la formule

$$h + p_0 - p = l(aq + bq^2) + cq^2,$$

dans laquelle a , b et c sont des constantes qui dépendent de l'état de la masse filtrante et qui doivent être déterminées par des expériences directes.

S'il s'agit d'un *filtre horizontal*, $h = 0$, et $(p_0 - p)$ représente la différence H entre les niveaux libres du tube d'alimentation et du conduit d'évacuation. Cette valeur H représente d'ailleurs la pression p_1 ou p_2 définie au n° 4. Nous aurons donc :

$$H = l(aq + bq^2) + cq^2. \quad (1)$$

S'il s'agit d'un *filtre vertical*, $h = l$, et $(p_0 - p) = H$ représente la hauteur de la colonne d'eau au-dessus du filtre, augmentée éventuellement de la colonne formant sous-pression dans le conduit d'évacuation à la partie inférieure de l'appareil.

La formule sera :

$$H + l = l(aq + bq^2) + cq^2. \quad (2)$$

Des formules (1) et (2), on tirerait facilement la valeur du débit q , si les coefficients a , b , c étaient connus.

13. Nous ne prétendons pas que ces formules représentent exactement la loi réelle du débit des filtres, mais elles paraissent s'en rapprocher beaucoup plus que la formule de Poiseuille; elles permettent, sans doute, de mieux interpréter les expériences, peut-être même de les guider avantageusement.

Si l'on considère, par exemple, l'équation (1) relative aux filtres horizontaux, on reconnaît aisément qu'elle représente une courbe plus aplatie que l'hyperbole équilatère $H = \alpha q l$, c'est-à-dire une courbe qui se relève moins quand l diminue. Cette courbe a donc une allure semblable à celle des diagrammes relevés par l'observation directe et que nous avons reconnue dans les figures 1 et 2.

La théorie permettait, par conséquent, de prévoir les conclusions fournies par les résultats d'expériences et qui sont formulées aux numéros 4 et 6.

On voit d'ailleurs que la formule (1) ne diffère de celle de Poiseuille

que par l'introduction des termes du second degré en q^2 ; l'écart entre les diagrammes correspondants sera d'autant plus accusé que les coefficients b et surtout c prendront plus d'importance relativement à a .

Pour pouvoir en juger, nous avons recherché des valeurs numériques approchées des coefficients a , b et c .

En appliquant la formule (1) aux résultats d'expérience fournis par les filtres horizontaux fonctionnant sous la pression $H = 2^m,70$, nous sommes arrivé, par le calcul, à prendre approximativement :

$$a = 0,547 \quad , \quad b = 0,0089 \quad , \quad c = 0.$$

De sorte que l'équation du mouvement devient :

$$2,70 = l (0,547 q + 0,0089 q^2).$$

Le diagramme traduisant cette relation théorique se confond pour ainsi dire avec la courbe du débit réel, ce qui indique que cette formule représente, aussi exactement qu'on peut le demander, la loi du débit du filtre marchant à la pression $H = 2^m,70$.

En appliquant la même formule (1) aux résultats d'expérience relatifs à $H = 0^m,182$, on est amené à poser approximativement

$$a = 0,365 \quad , \quad b = 0 \quad , \quad c = 0,035.$$

L'équation du mouvement serait :

$$0,182 = 0,365 ql + 0,035 q^2.$$

Le terme provenant de la perte de charge à l'entrée et à la sortie viendrait, cette fois, influencer considérablement l'allure du diagramme.

Nous croyons cependant qu'il y aurait lieu de vérifier, par de nouvelles expériences, les résultats relatifs au débit sous ces faibles pressions.

Filtres verticaux.

14. EXPÉRIENCES. Les difficultés que présente l'opération sont encore bien plus nombreuses avec les filtres verticaux quand on tient, dit M. Spring, à recueillir des nombres concordants permettant de conclure avec quelque certitude.

Première cause d'irrégularité. Si le sable est à grains inégaux, il se produit petit à petit un classement de ces grains : le gros sable s'accumule au bas des tubes, tandis que le sable fin constitue, à la partie supérieure, une couche qui, bien que peu épaisse, forme en réalité la partie du filtre réglant la vitesse du passage de l'eau.

« On doit donc regarder comme prouvé que l'on ne pourra obtenir des résultats constants, au moyen de filtres de sables, que si ceux-ci sont formés de grains de même grosseur et de même nature. »

Une deuxième cause d'irrégularité réside dans une inégalité de tassement du sable dans les filtres longs.

Une troisième cause importante de perturbations se trouve dans ce fait que, par suite de dépressions qui se produisent dans le tube, l'air dissous dans l'eau se fait jour autour de certains grains de sable et les bulles qui se forment rompent la continuité du liquide en rétrécissant la section utile de filtration.

M. Spring conclut « qu'on ne peut obtenir des vitesses de filtration constantes, même avec des filtres dont la hauteur d'eau est inférieure à environ 10 mètres (pression de l'atmosphère), que si l'eau ne tient pas de gaz en dissolution ».

15. RÉSULTATS OBTENUS. C'est en tenant compte de ces causes de perturbation que M. Spring a mesuré les vitesses de filtration dans six filtres verticaux, de hauteur variant de 0^m,085 à 1^m,800, sous des charges d'eau H variant de 0^m,005 à 5^m,50.

Le sable employé était encore du sable de Rocour, mais débarrassé de tous ses grains fins.

Les tubes avaient encore 0^m,02 de diamètre.

Les débits exprimés en litres, par décimètre carré et par heure, sont donnés par le tableau suivant.

Le coefficient α a une signification analogue à celle que nous lui avons attribuée précédemment; il est tiré de la relation

$$q = \alpha \frac{p}{l}.$$

Les chiffres du tableau n° 3 ci-après sont traduits par les diagrammes de la figure 3 dont les échelles sont les mêmes que celles de la figure 2 pour faciliter les comparaisons.

On voit que ces tracés, sauf pour la faible pression $H = 0^m,005$, se rapprochent de l'hyperbole équilatère, et c'est ce que nous montrent mieux encore les diagrammes de α .

TABLEAU N° 3.

ÉPAISSEUR DES FILTRES <i>l.</i>	NOMBRE DE LITRES, <i>q</i> , PASSÉS SOUS LES PRESSIONS <i>H</i> DE :									
	<i>H</i> = 0 ^m ,005 (environ)		<i>H</i> = 0 ^m ,875		<i>H</i> = 1 ^m ,75		<i>H</i> = 2 ^m ,70		<i>H</i> = 3 ^m ,50	
	<i>q</i>	α	<i>q</i>	α	<i>q</i>	α	<i>q</i>	α	<i>q</i>	α
0 ^m ,010	4,22	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0 ^m ,040	2,83	»	»	»	»	»	»	»	»	»
0 ^m ,085	1,975	»	22,60	2,19	49,80	2,42	86,50	2,72	109,50	2,65
0 ^m ,195	2,33	»	9,62	2,15	22,50	2,50	36,65	2,64	47,70	2,65
0 ^m ,505	2,44	»	4,22	2,44	8,75	2,52	14,15	2,65	18,40	2,65
0 ^m ,950	2,51	»	2,47	2,68	4,67	2,53	7,53	2,64	9,75	2,64
1 ^m ,500	2,675	»	1,69	2,90	2,96	2,54	4,87	2,70	6,20	2,65
1 ^m ,800	2,690	»	1,50	3,09	2,47	2,54	4,11	2,73	5,16	2,65

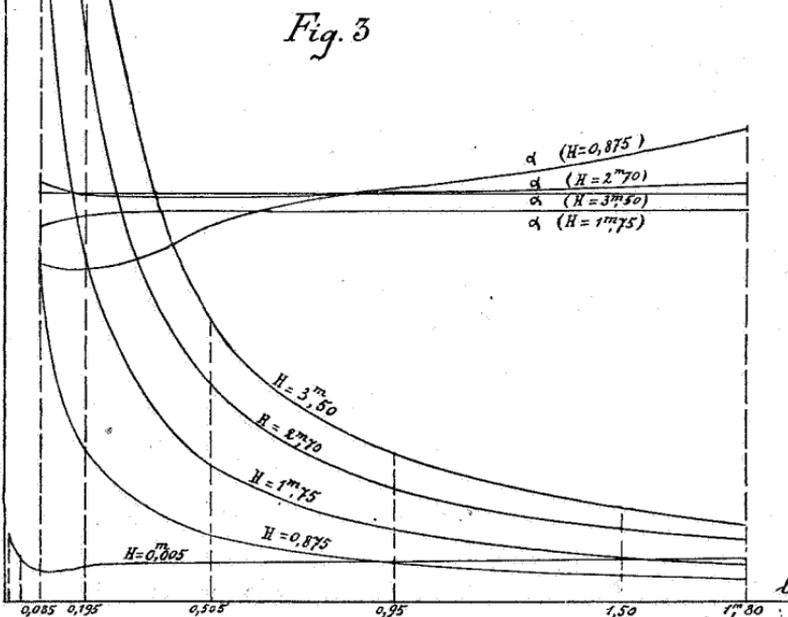
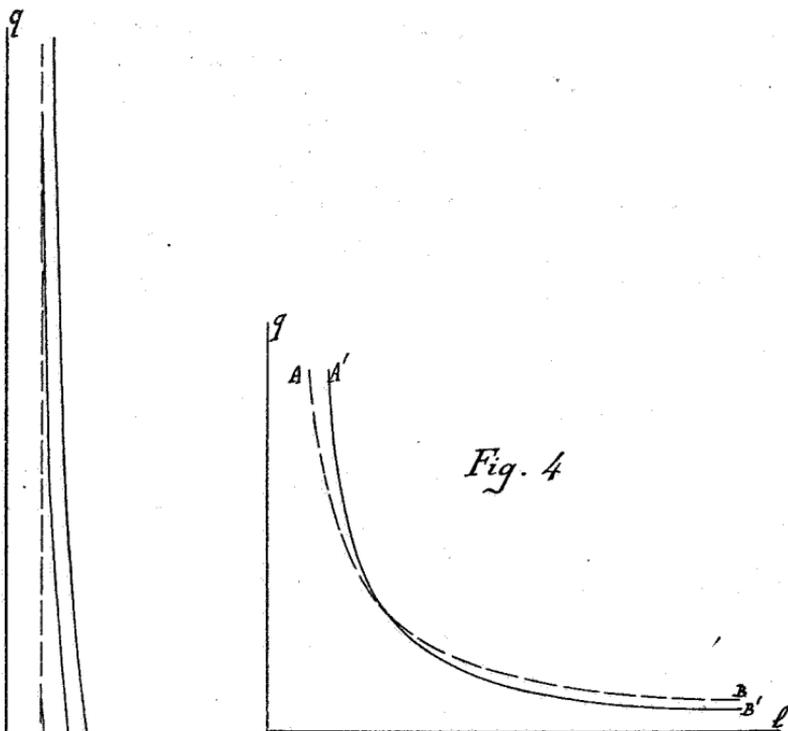
16. *Filtre fonctionnant sous la pression $H = 0^m,875$.* Le diagramme des α a une allure assez différente de celle que nous avons reconnue à propos des filtres horizontaux. Pour de faibles longueurs de filtre, ce coefficient α diminue d'abord quand l augmente, puis, au delà d'une certaine limite, α croît avec l . Seulement, au lieu d'admettre, comme dans la figure 2, une asymptote horizontale, ici l'asymptote paraît être inclinée.

17. $H = 2^m,70$. Le diagramme des α a la même allure : α décroît d'abord, puis croît avec l ; mais les variations sont beaucoup moins accusées que pour la pression $H = 0^m,875$.

Une chose très curieuse déjà constatée dans les filtres horizontaux, c'est le croisement des deux diagrammes (*). Pour les faibles longueurs de filtres, les valeurs de α sont plus grandes pour les fortes pressions que pour les faibles, c'est-à-dire que les fortes pressions donnent proportionnellement plus d'eau que les faibles.

L'inverse se produit pour les grandes longueurs de filtres.

(*) Le point de croisement des deux diagrammes se montre vers $l = 0^m,80$, c'est-à-dire plus loin que dans le cas de la figure 2. Cela tiendrait peut-être en partie à ce que les interstices du sable (lavé) sont ici plus grands.



18. *Pression* $H = 5^m,50$. α paraît être une constante et le diagramme une horizontale. Il serait intéressant de voir si, pour des longueurs de filtres plus grandes que celles qui ont été expérimentées, α ne va pas en croissant.

19. *En résumé*, nous voyons qu'au delà d'une certaine limite de longueur de filtre, α croît avec cette longueur, mais les variations deviennent de plus en plus faibles à mesure que la pression H augmente, au point que pour $H = 5^m,50$, elles paraissent tout à fait insensibles (au moins dans les limites des expériences).

C'est ce que M. Spring traduit en disant que « la pression sous laquelle l'eau pénètre une masse de sable finit par l'emporter sur les causes perturbatrices qui entraînent soit une diminution, soit une augmentation de la vitesse de filtration et qu'elle rétablit la *régularité* ».

20. *Écoulement sous les très faibles pressions* $H = 0^m,005$. Le débit diminue d'abord très rapidement quand l croît depuis 0^m01 jusque $0^m,085$; puis il reste à peu près constant ou plutôt il augmente lentement avec l .

M. Spring en conclut : « On conçoit qu'un sable d'une finesse déterminée permettrait de réaliser un filtre dont le débit serait, pour une faible pression motrice, *indépendant* de l'épaisseur. Si ce cas limite ne se réalise probablement pas dans la nature, les cas qui s'en rapprochent doivent être très fréquents, car l'eau d'imprégnation se trouve rarement sous une pression notable à la surface du sol.

» La conclusion pratique à tirer de là, c'est que la vitesse d'alimentation des nappes souterraines n'est pas nécessairement diminuée par l'épaisseur de la couche de sable que l'eau doit traverser; bien au contraire, il est plus avantageux que celle-ci dépasse une certaine valeur plutôt que de rester en dessous (*). »

21. Les chiffres du tableau n° 5 ou les tracés de la figure 3 nous montrent une anomalie qu'il nous paraît intéressant de signaler : les débits des longs filtres $l = 1^m,50$ et $l = 1^m,80$, sous la faible pression $H = 0^m,005$, sont plus grands que ceux des mêmes filtres sous la pression $H = 0^m,875$ et même $H = 1^m,75$, au moins pour $l = 1^m,80$. Ces résultats sont assez inattendus et mériteraient d'être expliqués.

(*) « Il est bien entendu que cette conclusion suppose une couche de sable maigre non argileux. »

22. INTERPRÉTATION THÉORIQUE. Nous avons soumis à l'analyse par la formule

$$H + l = l(aq + bq^2) + cq^2 \quad (2)$$

les résultats d'expérience relatifs aux filtres verticaux fonctionnant sous les pressions $H = 0^m,875$ et $H = 2^m,70$.

Le calcul prouve que la concordance entre cette formule théorique et les débits mesurés ne peut se faire qu'à la condition de supposer b et c négatifs, ce qui n'a aucune signification.

Cela revient à dire que pour les grands filtres, la formule théorique donne des débits plus grands que ceux de l'expérience et inversement pour les petits filtres.

En négligeant même les pertes de charges

$$blq^2 \text{ et } cq^2,$$

la formule ainsi réduite

$$H + l = aql \quad (3)$$

donne lieu à des divergences de même sens avec l'observation directe.

En d'autres termes, la courbe traduisant la formule (2) ou même la formule (3) étant supposée AB (fig. 4), le diagramme relevé par l'expérience sera A'B'. Cela ne paraît pas s'accorder avec les faits connus de l'hydraulique.

Il est probable, par conséquent, que dans le phénomène du passage de l'eau à travers les filtres verticaux, interviennent des éléments perturbateurs dont il n'est pas tenu compte dans la formule théorique.

Sans doute, les causes d'irrégularité signalées par M. Spring et rappelées ci-dessus (13) n'ont-elles pas été entièrement supprimées et agissent-elles en réduisant d'une façon exagérée le débit, surtout dans les longs filtres.

23. Incidemment, M. Spring a été amené à procéder à quelques expériences qui, si elles se rapportent moins directement que les autres au titre du mémoire, touchent de bien plus près à la question du « boulant ».

Il a recherché les proportions d'eau contenues dans des sables de diverses grosseurs à l'état imprégné et les quantités d'eau retenues par capillarité après succion ou drainage.

Le sable de Rocour imprégné contient 49,29 % d'eau. C'est ce qu'on appelle ordinairement le *vide du sable*, et on le note v .

Rapprochant ce chiffre de celui cité par M. le capitaine commandant Cuvelier (*) :

$$v = 26 \%,$$

(*) Bull. de la Soc. belge de géol., de paléontol. et d'hydrol. Procès-verbaux, p. 284. 1901.

M. Spring conclut : « Cette grande différence (49 — 26 = 23) nous oblige à admettre que, dans un sable librement imprégné, les grains sont écartés l'un de l'autre et tenus à distance par une lamelle d'eau dont l'épaisseur n'est pas négligeable. Un tel sable devra nécessairement être une masse très mobile, participant jusqu'à un certain point des propriétés des liquides (sable boulant); tandis qu'un sable humide (ayant perdu de l'eau par succion) présentera plus de *rigidité* même qu'un sable sec, par suite de l'adhérence, ou effet capillaire, de l'eau à ses grains. »

Il nous semble que les constatations précédentes ne permettent pas de justifier entièrement la conclusion relative au sable *librement imprégné*. En effet, comme le fait remarquer M. le capitaine commandant Cuvelier, le chiffre 26 % est relatif à un sable *théorique*, formé de *grains sphériques égaux*, occupant les uns par rapport aux autres les positions amenant le *minimum de vides* (chaque sphère tangente à douze autres). Mais cet arrangement idéal ne se réalise pas nécessairement, même avec des grains sphériques égaux, et une certaine disposition des sphères peut donner jusqu'à 47,64 % de vides, les grains étant au contact (*). De plus, la plupart des sables naturels sont à grains très irréguliers, pouvant s'écarter beaucoup de la forme sphérique. Dans ces conditions, on conçoit, et le fait est constaté, que la proportion de vides des grains au contact soit bien supérieure à 26 %.

On ne peut donc pas, pensons-nous, tabler sur ce chiffre théorique, 26 %, pour conclure comme le fait M. Spring, puisque ce chiffre se rapporte à un sable très différent de celui qui a été expérimenté.

Mais nous trouvons plus loin des données permettant d'établir peut-être des comparaisons :

Le sable de Rocour, à l'état sec, tassé en donnant de petits chocs au vase qui le contient, pèse 148^{gr},12 par 100 centimètres cubes.

En admettant avec M. Spring, pour la densité des grains de sable, 2.65, on trouve :

$$\text{Volume réel des grains. } \frac{148,12}{2,65} = 55,80.$$

On en déduit :

$$\text{Proportion des vides du sable sec. } 44,20 \text{ \%}.$$

(*) AD. KEMNA, *La géométrie des couches de sable*, BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, t. XV, 1901, *Procès-verbaux*, p. 122.

Si l'on peut comparer ce résultat, 44,20, au nombre 49,29 trouvé pour le sable librement imprégné d'eau, on arrive encore à conclure que, dans ce dernier, les grains sont écartés l'un de l'autre et tenus à distance par des lamelles d'eau; mais ces lamelles seraient bien moins épaisses que ne le pense M. Spring, puisque la différence des vides serait de 5 % seulement au lieu de 25 %.

Toutefois, il ne nous paraît pas absolument prouvé que ce faible écart, 5 %, ne puisse être attribué à une différence dans les sables qui ont servi aux deux opérations ou même à une différence dans l'agencement des grains qui pourraient cependant être au contact dans les deux cas.

Pour qu'il ne reste plus de doute, il faudrait faire voir directement qu'une masse donnée de sable sec gonfle lorsqu'on la gorge d'eau (*).

M. Spring a répété ces essais avec un sable extrêmement fin extrait du limon de la Hesbaye.

Il arrive à 58,28 pour le volume d'eau contenu dans 100 volumes de sable imprégné, et il conclut, comme pour le sable de Rocour, en comparant 58,28 à 26.

Procédant comme nous l'avons indiqué plus haut, on arrive à montrer que le volume réel des grains de ce sable sec vaut, pour 100 centimètres cubes :

$$\frac{126,04}{2,65} = 47,56.$$

On en déduit :

Proportion des *vides du sable sec* 52,44 %

et c'est ce chiffre qu'il faudrait, d'après nous, comparer à 58,28 (avec les restrictions faites plus haut).

Quoi qu'il en soit, M. Spring arrive aux deux conclusions suivantes : « La propriété de *bouler* doit grandir avec la finesse des grains. Un terrain à grains fins perd proportionnellement moins d'eau par succion qu'un terrain sablonneux ordinaire. »

Une constatation très intéressante est la suivante :

« Le sable fin pèse moins que le sable de Rocour (126,04 contre 148,12); il emprisonne plus d'air que le sable plus gros. En faisant

(*) M. Kemna a donné des renseignements intéressants sur l'état de *Sursaturation des sables*. ÉTUDE SCIENTIFIQUE DU BOULANT A LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE. (*Procès-verbaux*, t. XV, 1901, 136 et 137) (tiré à part du « Boulant » pp. 34-35).

Des expériences prouvent que certains sables se tassent au contraire lorsqu'ils sont gorgés d'eau et on utilise souvent cette propriété dans les constructions.

ensuite le vide sous le sable fin, sec, qui était très mobile ou très bouillant, comme on le conçoit aisément, il a fini par acquérir une rigidité telle qu'il a été possible de le couper au couteau comme s'il avait été humide, ou de le modeler sous une spatule. La rentrée de l'air, effectuée aussi doucement que possible, rendait au sable toute sa mobilité primitive. »

Influence de la température sur la vitesse de filtration.

24. « On a admis parfois, dit M. Spring, que l'élévation de la température dans les couches profondes du sol avait une influence considérable sur la vitesse de descente des eaux de la surface, et l'on n'a pas été éloigné d'y trouver le mot de l'énigme de la pénétration plus ou moins rapide de l'eau dans les terrains. »

Poiseuille avait constaté déjà que le débit d'un tube capillaire varie, avec la température, pour l'eau, suivant un facteur k valant

$$k = 2162,4 (1 + 0,03368t + 0,000221t^2).$$

En faisant varier la température de l'eau de filtration entre $t = 19^\circ$ et $t = 44^\circ$, M. Spring a constaté que les débits augmentent suivant une loi très approchée de celle qu'indique la formule précédente. Ainsi le rapport des débits des filtres à 44° et à 19° est

$$\frac{6,25}{3,79} = 1,64,$$

et le rapport des valeurs correspondantes de k :

$$\frac{6250}{3719} = 1,69.$$

« Comme les températures des régions superficielles du sol varient rarement de 25° ($44^\circ-19^\circ$), conclut M. Spring, on peut dire, avec certitude, que la vitesse de pénétration de l'eau dans le sol ne passe jamais du simple au double. »

II. — PASSAGE DE L'EAU A TRAVERS LE LIMON.

25. Le limon mis en usage a été le *limon supérieur de la Hesbaye*. M. Spring montre d'abord que dans des expériences mal conduites, le limon peut paraître imperméable, parce que, le tube étant étroit, l'air emprisonné dans le limon ne peut pas se dégager.

« Il en résulte que toutes les expériences qui ont été faites sur l'infiltration du limon au moyen de tubes étroits ne prouvent rien quant à l'imperméabilité de la terre, ou quant à sa non-pénétration par les eaux pluviales. Les choses doivent se comporter tout autrement sur un sol indéfini en largeur, où l'air peut trouver son chemin et se dégager pour faire place à l'eau. »

Les essais exécutés avec toutes les précautions nécessaires pour éviter cet inconvénient de l'air emprisonné ont prouvé qu'à travers 7^m,20 de limon, l'eau filtrait encore, mais avec une extrême lenteur.

III. — PASSAGE DE L'EAU A TRAVERS L'ARGILE.

26. Les essais ont été faits avec la terre d'Andenne.

Une boue d'argile, bien délayée, versée au-dessus d'un filtre de sable, a formé, après repos, une couche de 6 centimètres d'épaisseur qui pendant un mois a laissé passer constamment de l'eau.

Cette même couche, fortement comprimée (1^{kg},033 par centimètre carré), est devenue entièrement imperméable.

« Il est donc confirmé, conclut M. Spring, que l'argile n'est imperméable à l'eau qu'à la condition d'être comprimée suffisamment (*). »

IV. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

27. Nous croyons devoir reproduire entièrement les importantes conclusions formulées par M. Spring.

« 1° L'eau ne circule pas dans le sable *horizontalement* avec une vitesse inverse à l'épaisseur du filtre et proportionnelle à la pression motrice. Quand les filtres sont épais, l'effet de la pression tend à s'effacer de plus en plus et l'eau n'avance qu'à la suite de l'*imbibition*. La formule de Poiseuille, qui donne la loi de l'écoulement d'un liquide dans les tubes capillaires, n'est pas applicable au cas du passage de l'eau à travers de grandes largeurs de sable.

Si la pression motrice est plus forte, la diminution de la vitesse de filtration avec l'épaisseur du filtre s'accroît encore, mais l'effet de la pression s'annule bientôt, l'eau continuant à cheminer comme si son

(*) Voir un précédent travail de M. Spring : *Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXVIII, M. p. 117, 1901.

mouvement en était affranchi. La pression régnant en une région donnée d'une couche de sable ne produira donc un effet sensible qu'à une distance qui pourra passer pour négligeable.

2° Dans une filtration *verticale*, les résultats des observations ne sont concordants que dans le cas où le sable est formé de grains égaux.

Comme cette condition n'est jamais réalisée, pour ainsi dire, dans la nature, la filtration de l'eau ne peut suivre une loi simple, traduisible par une formule mathématique. La descente verticale de l'eau a pour effet de faire passer à la partie supérieure le sable plus fin. Le *filtre rationnel* se constitue donc automatiquement dans une certaine mesure.

3° La résistance des filtres au passage de l'eau diminue, en apparence, quand la hauteur du filtre vertical augmente; la loi de Poiseuille n'est à peu près satisfaite que pour des filtres peu épais.

4° Si l'eau filtrant à travers le sable est aérée (ce qui est toujours le cas dans la nature), une partie de l'air se fait jour autour des grains de sable, en des places déterminées, par suite de la *dépression* résultant du poids de la colonne verticale de liquide, et entrave considérablement la descente de l'eau.

5° Le débit d'un filtre vertical ne paraît diminuer proportionnellement à l'épaisseur que si la pression motrice de l'eau dépasse une certaine limite. Quand la pression est faible, le débit grandit, au contraire, avec cette épaisseur, parce que le poids de la colonne d'eau agit d'une manière dominante.

La vitesse d'alimentation des nappes souterraines n'est donc pas nécessairement diminuée par l'épaisseur de la couche que l'eau traverse.

6° Le volume de l'eau qui imprègne librement le sable dépasse d'autant plus le volume des vides compris entre les grains supposés au contact, que le sable est plus fin. La surface libre des grains de sable exerce donc une influence énorme sur la mobilité d'un sable imprégné d'eau. L'air produit un effet semblable à celui de l'eau.

7° La température active le débit d'un filtre dans la même mesure qu'elle diminue le frottement intérieur du liquide filtrant. Le débit est doublé pour une différence de température de près de 50 degrés.

8° Le limon de la Hesbaye est perméable à l'eau, même sur une épaisseur de 8 mètres (et probablement au delà). Toutefois, le fait ne se révèle que si l'on prend les précautions nécessaires pour que l'air dissous dans l'eau ne rompe pas la continuité du liquide.

9° L'argile elle-même laisse filtrer l'eau, aussi longtemps qu'elle ne

se trouve pas soumise à une compression qui l'empêche de prendre le volume voulu par l'infiltration.

10° De tout ce qui précède, il résulte que la descente des eaux météoriques à travers le sol ne peut avoir lieu régulièrement, par couches restant en quelque sorte parallèles à elles-mêmes.

L'air emprisonné dans le sol devant, de toute nécessité, faire place à l'eau, la descente de celle-ci n'aura lieu que dans des régions limitées, les autres servant de canaux d'évacuation de l'air. La pénétration de l'eau dans ces régions n'aura lieu, en outre, que si la surface du sol est ruisselante ou couverte d'une couche d'eau, ou de neige fondante, d'une épaisseur sensible. Mais quand l'eau est arrivée à se frayer un canal vertical, sa descente sera d'autant plus rapide que la colonne d'eau sera plus grande, au moins jusqu'à une certaine limite d'épaisseur de terrain. L'eau agit alors plus efficacement par son poids; elle détermine une véritable succion sur les couches supérieures, succion qui a pour résultat de les vider jusqu'à ce qu'il se soit produit un équilibre entre cette succion et la force d'imbibition capillaire qui s'oppose au mouvement du liquide. »

REMARQUES.

28. Au cours de ce travail, nous avons eu l'occasion déjà de présenter quelques observations au sujet de ces conclusions. Nous allons les résumer ici.

En ce qui concerne le 1°, nous croyons que, contrairement à ce que dit M. Spring, la loi de l'écoulement de l'eau à travers les filtres s'accorde bien mieux avec la formule de Poiseuille pour les filtres longs que pour les filtres courts, en ce qui concerne les variations dues à la longueur filtrante; nous l'avons montré au n° 6 de ce travail. Nous ne pouvons pas non plus conclure avec l'auteur que « quand les filtres sont épais, l'effet de la pression tend à s'effacer de plus en plus et l'eau n'avance qu'à la suite de l'imbibition ». Et plus loin : « Si la pression motrice est plus forte, la diminution de la vitesse de filtration avec l'épaisseur du filtre s'accroît encore, mais l'effet de la pression s'annule bientôt, l'eau continuant à cheminer comme si son mouvement en était affranchi. » Nous avons montré au n° 10 que, pour un filtre de 4 mètres de longueur, si l'on porte la pression de 0^m,182 à 2^m,70, c'est-à-dire si on la rend quinze fois plus grande, on arrive encore à décupler le débit.

Au 3°, M. Spring dit relativement aux filtres verticaux : « La loi de

Poiseuille n'est à peu près satisfaite que pour des filtres peu épais. » Cette conclusion ne nous paraît pas tout à fait conforme à la réalité, car pour $H = 0^m,875$ par exemple, nous voyons que α varie beaucoup, surtout pour les faibles longueurs de filtres. Si l'on voulait établir une concordance avec la loi de Poiseuille, il nous semble qu'il faudrait plutôt dire qu'elle existe pour les fortes pressions H ; nous voyons, en effet, que pour $H = 2^m,70$ et $H = 3^m,50$, le coefficient α est à peu près constant.

Nous rappelons d'ailleurs que les résultats relatifs aux filtres verticaux nous paraissent s'accorder assez mal avec les faits connus de l'hydraulique.

Enfin, au sujet du 5° et de l'augmentation du débit avec l'épaisseur du filtre pour de faibles pressions, nous attirons de nouveau l'attention sur ce fait singulier que nous avons signalé, que pour des longueurs de filtres supérieures à $1^m,50$, une très faible pression $H = 0^m,005$ donne un débit notablement plus élevé qu'une pression bien plus grande : $H = 0^m,875$.

*
**

29. Pour terminer, nous dirons qu'à part quelques observations de détail qu'il nous paraît intéressant de vérifier ou de compléter par des expériences nouvelles, les recherches expérimentales de M. Spring ont conduit ce savant professeur à des conclusions très importantes au sujet de la filtration et de la pénétration des eaux météoriques dans les profondeurs du sol.

Note ajoutée pendant l'impression.

La première note au bas de la page 273 est tirée du Rapport de Regnault sur le Mémoire de Poiseuille (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 26 décembre 1842).

Le contenu de cette note est, paraît-il, erroné. En effet, dans un travail intitulé : *Recherches expérimentales sur le passage des liquides à travers les substances perméables et les couches filtrantes*, par J. Brunhes (Toulouse, Douladoure-Privat, 1881), on lit ce qui suit au n° 129 :

« La loi des pressions est en défaut quand les colonnes filtrantes sont trop courtes : dans ce cas, les vitesses ne croissent pas aussi vite que les pressions et, par suite, ne leur sont plus tout à fait proportionnelles.

» Cela revient encore à dire que le produit du temps nécessaire pour l'écoulement d'une même quantité de liquide par la pression correspondante va en croissant avec la pression au lieu d'être constant. C'est, du

reste, un résultat conforme à celui qu'a fait connaître Poiseuille sous une autre forme, et qu'il a établi par de nombreuses expériences. »

Et plus loin :

« J'ai insisté sur ce point, parce que Regnault dit justement le contraire dans son rapport :

« Lorsque la longueur du tube se trouve au-dessous d'une certaine longueur, la vitesse de l'écoulement augmente plus rapidement que la pression. »

» Avant de rectifier la petite erreur échappée à la plume de cet éminent physicien, je devais en même temps constater qu'elle n'existait pas dans le Mémoire de Poiseuille.

» Ainsi les vitesses ne croissent pas aussi vite que les pressions, pour les tubes de trop faible longueur, d'après les expériences de Poiseuille ; pour des couches filtrantes de trop petite épaisseur, d'après mes expériences. »

Nous devons cette remarque à l'obligeance de M. E. Lagrange, professeur à l'École militaire, qui a bien voulu, en nous communiquant l'ouvrage de J. Brunhes, nous signaler la rectification qui y est faite de l'erreur de Regnault. Le lecteur verra facilement en quoi elle modifie certaines observations faites au cours de notre étude (n° 11).

M. Fiévez fait la communication reproduite ci-dessous.

EXAMEN MICROGRAPHIQUE DES SABLES

ANALYSE DE L'INTERVENTION DE L'EAU DANS LES SABLES

EXPÉRIENCES SUR LA RÉSISTANCE DES SABLES AQUIFÈRES

PAR

Ch.-E. FIÉVEZ

I

Examen micrographique des sables.

J'ai examiné et comparé un grand nombre d'échantillons de sables appartenant à divers étages géologiques tertiaires et quaternaires.

Plusieurs de ces sables se trouvaient dans des nappes aquifères et étaient signalés comme bouillants.

Pour examiner la forme et mesurer les dimensions des grains de

sable, un microscope donnant un grossissement linéaire de soixante-quinze fois et muni d'un micromètre permettant de mesurer un millième de centimètre, convient assez bien.

Je puis dire, d'une manière générale, que les grains de quartz, composant la plus grande partie des sables, se ressemblent assez bien au point de vue de la forme extérieure, et cela à travers une échelle de grandeur très étendue; c'est-à-dire de 2 à $\frac{2}{10}$ de millimètre, de 20 à 2 millièmes de centimètre, de 20 à 2 microns, de 2 à $\frac{2}{10}$ de micron et peut-être jusqu'au centième de micron.

Les grains sont irréguliers et pour la plupart anfractueux. L'aspect de leur surface est, en général, rugueux, chagriné. Il y a des grains raboteux, râpés, éclatés et esquillés.

Les grains à surface arrondie et polie sont rares.

Les grains grossièrement arrondis se trouvent, en général, parmi les plus gros d'un sable donné.

Les grains de glauconie (silicate de protoxyde de fer et de potasse avec un peu d'alumine) que l'on trouve souvent mêlés aux grains de quartz sont irréguliers, rarement cassés. Ils ne sont pas éclatés ni esquillés, ils ne présentent pas d'arêtes vives; très souvent leurs surfaces paraissent émoussées.

Ces grains présentent, dans certains cas, des surfaces arrondies et conchoïdes.

Les grains de quartz s'éloignent généralement beaucoup de la forme globulaire.

On s'imagine volontiers qu'un fragment très petit doit être arrondi. On sera encore tenté d'attribuer cette forme, lorsque les grains vus au microscope montrent un contour grossièrement arrondi; mais il suffit de redresser le grain pour constater qu'on s'est trompé.

Pour avoir une meilleure idée de la forme des grains, je les ai mesurés suivant trois directions rectangulaires.

Je donne les résultats de mes mesures en *millièmes de centimètre*.

Examen des échantillons.

SABLES BRUXELLIENS.

Le premier sable que j'ai examiné est le sable rude *bruxellien*, pris à Watermael à la cote 70; les grains sont raboteux, anfractueux, pelés et éclatés. Les arêtes sont très peu émoussées.

On a $54 \times 28 \times 18$ — $40 \times 26 \times 11$ — $50 \times 28 \times 18$ — $56 \times 22 \times 15$

— $32 \times 26 \times 20$ — $44 \times 24 \times 10$ — $50 \times 20 \times 14$ — $36 \times 22 \times 6$ —
 $52 \times 27 \times 16$ — $28 \times 24 \times 18$, ce dernier est arrondi.

On peut constater que les grains dont l'épaisseur égale la moitié environ de la longueur sont très fréquents. Ce sont très souvent des grains limpides, éclatés, donnant en lumière polarisée des plages chromatiques très vives.

Lorsque ce sable est retiré de l'eau, une certaine quantité de liquide s'en sépare assez rapidement.

Je remarque, en passant, que les fragments noirs et gris-brun qui se trouvent disséminés dans ce sable sont irréguliers, assez anguleux, à surface chagrinée, présentant sous un grossissement de cent quarante fois, pour les parties translucides, un aspect mousse, identique à celui d'esquilles de phanites ou de silex. La matière noirâtre qui colore ces grains ne paraît pas homogène. Ces grains ne sont certes pas de la glauconie.

Dimensions : $40 \times 37 \times 16$ — $45 \times 33 \times 14$ millièmes de centimètre.

J'ai examiné, comparativement avec le précédent, le sable *bruxellien* jaunâtre retiré des fouilles effectuées pour les fondations de l'aqueduc destiné à capter deux sources à Gailemarde (La Hulpe), le long de la rive droite de l'Argentine. M. A. Deblon, ingénieur des ponts et chaussées, signale ce sable comme excessivement boulant et comme ayant donné lieu à de sérieuses difficultés lors de l'exécution des travaux.

Les grains dominants ont : $37 \times 30 \times 25$ — $39 \times 37 \times 14$ —
 $32 \times 24 \times 22$ — $56 \times 26 \times 10$ millièmes de centimètre.

Ce sable renferme une petite quantité de grains très fins, composés de quartz et de glauconie altérée. Ces grains ont de 2 à 20 millièmes de centimètre de diamètre.

J'ai reçu du Service géologique, dirigé par M. Michel Mourlon, du sable *bruxellien* tout à fait semblable à celui-là et qui provenait d'un sondage effectué rue Montagne-des-Géants, à Bruxelles, à 9 mètres de profondeur.

Les plus grands diamètres des grains de quartz ordinaires sont compris entre 45 et 20 millièmes de centimètre.

Voici deux grains de $40 \times 33 \times 20$ — $34 \times 25 \times 16$.

Ce sable, signalé comme un peu boulant, renferme également des grains plus fins, de 2 à 20 millièmes, et parmi lesquels ceux de 6 millièmes prédominent.

Deux grains de quartz de $12 \times 8 \times 4$ — $13 \times 9 \times 5$;

Deux grains de glauconie de $12 \times 7 \times 5$ — $8 \times 4 \times 4$.

De la comparaison de ces trois sables bruxelliens de provenance différente, il semble résulter que la mobilité du sable bruxellien rempli d'eau est plus grande lorsqu'il renferme des éléments plus fins, à peu près dix fois plus petits que les grains dominants.

J'ai ensuite examiné du sable *bruxellien calcaireux* pris à Watermael. Ce sable n'est jamais signalé comme boulant, sans doute à cause du calcaire qui enrobe les grains, et particulièrement les plus petits.

J'ai dissous le calcaire et je me suis trouvé en présence de sable glauconifère avec quelques grains de phtanite noirâtre.

Les grains de quartz étaient assez différents, de 2 à 36 millièmes de centimètre.

Les grains de glauconie verts, vert foncé et vert jaunâtre étaient très fins, de 1 à 10 millièmes.

Ce sable renfermait beaucoup plus de grains très fins de 1 à 20 millièmes que les deux précédents. Je suis persuadé qu'un tel sable doit être beaucoup plus mobile dans l'eau que celui qui ne renfermerait pas ces grains fins.

Dès lors, du moment que le calcaire est dissous par des causes naturelles, le *sable bruxellien calcaireux* deviendra très boulant lorsqu'il sera devenu aquifère.

SABLE YPRESIEN *Yd.*

Le sable *ypresien Yd.*, pris par le Service géologique à 11^m,50 de profondeur, rue d'Or, à Bruxelles, dans la cour de la maison n° 19, paraît argileux, finement micacé et brun clair.

C'est du sable boulant très fluide.

Les grains de quartz et de glauconie sont assez irréguliers et rugueux, de même forme et de même grosseur : de 2 à 22 millièmes de centimètre et de 1 à 20 microns.

Les grains dominants ont de 8 à 22 millièmes de centimètre.

Voici les dimensions de quelques grains de quartz : 9 × 8 × 5 — 6 × 5 × 5 — 12 × 10 × 6 — 14 × 12 × 9 — 15 × 6 × 6 — 8 × 6 × 4 — 10 × 4.6 × 4.5 — 10 × 7 × 7 — 2 × 2 × 1. Les grains de glauconie ont 15 × 11 × 7 — 10 × 9 × 7 — 12 × 8.4 × 4.4 — 14 × 10 × 6 — 12 × 6 × 4.

Ainsi, pour plus de la moitié des grains, il arrive très fréquemment que leur épaisseur est égale à peu près à la moitié de leur longueur. Il en résulte, et l'expérience me l'a confirmé, que ce sable peut se tasser assez bien lorsqu'on forcera les diverses couches à glisser alternativement les unes sur les autres.

Un très grand nombre de grains ont la forme d'éclats et d'esquilles. Cette forme mince et les grosseurs variées des grains permettent à ceux-ci et surtout aux grains dominants de glisser plus facilement les uns sur les autres.

SABLE LANDENIEN *L2b*.

M. le baron van Ertborn m'a remis un échantillon de sable *landénien L2b* à *Cyrena cuneiformis*, recueilli dans un puits artésien de M. Tack, à Courtrai. C'était du sable aquifère très fluide, un peu argileux.

Les grains de quartz sont très irréguliers; leurs dimensions varient de 2 à 50 millièmes de centimètre pour les plus gros et de 4 à 20 microns pour les autres. Les grains de 6 à 12 millièmes prédominent.

Les grains de 20 à 50 millièmes sont un peu arrondis.

Dimensions pour le quartz : $25 \times 15 \times 10$ — $12 \times 8 \times 6$ — $10 \times 8 \times 6$.

Les grains de glauconie, qui sont assez nombreux, sont également irréguliers, et leurs dimensions varient de 8 à 50 millièmes.

Dimensions pour la glauconie : $14 \times 15 \times 8$ — $2 \times 2 \times 1$.

SABLE BOLDERIEN SUPÉRIEUR *Bdd*.

Le sable noir d'Anvers, à *Pectunculus pilosus*, du *Bolderien supérieur*, a l'aspect de sable propre, dont les grains de quartz ont de 14 à 55 millièmes de centimètre, et les grains de glauconie, de 20 à 60 millièmes de centimètre.

Les grains de quartz sont assez raboteux, tandis que les grains de glauconie, noir verdâtre, plus gros et un peu moins nombreux, ont des contours arrondis, conchoïdes et sont assez lisses. Un certain nombre de ceux-ci ressemblent à des rognons de silex. Les grains de glauconie sont pour la plupart assez minces, comme en témoignent leurs dimensions : $50 \times 24 \times 10$ — $55 \times 26 \times 14$ — $57 \times 26 \times 11$ — $50 \times 26 \times 12$.

SABLE ASSCHIEN *Asa*.

Le sable *asschien* glauconieux d'Anvers appartenant à la bande noire à *Nummulites Orbignyi*, et se trouvant à 180 mètres de profondeur, comme l'indique le sondage effectué par M. le baron van Ertborn, est intéressant pour les grains de glauconie noir verdâtre. Les plus nombreux présentent des contours très arrondis avec surface conchoïde et l'aspect de rognons.

Le plus grand de leurs diamètres varie, suivant les grains, de 16 à 50 millièmes de centimètre. Ce sont encore des grains assez minces; en voici, par exemple, deux : $40 \times 30 \times 24$ — $48 \times 30 \times 20$.

Les grains de quartz ont de 10 à 50 millièmes de centimètre; les plus gros sont assez arrondis. Il y a de plus dans ce sable un assez grand nombre de Nummulites.

ALLUVIONS DE LA SENNE *Atm.*

Le sable boulant des *alluvions de la Senne*, pris à la cote 11^m,70 aux Deux-Ponts, à Laeken, et intéressant les travaux des installations maritimes, a donné lieu aux remarques suivantes : Ce sable, assez grossier, est composé de grains à dimensions très diverses; les plus gros sont assez arrondis et présentent l'aspect de graviers fortement roulés; leurs longueurs et largeurs varient de 1^{mm},1 × 1^{mm},2 à 0^{mm},6 × 0^{mm},7. Les grains moyens de 20 à 50 millièmes de centimètre sont grossièrement arrondis; quelques grains de glauconie se présentent sous forme de fèves aplaties. Des grains de quartz assez anguleux, plus petits, de 2 à 12 millièmes, se trouvent mêlés, en assez grande proportion, avec des éléments argileux ou quartzeux encore plus petits, de 1 à 4 microns.

Ces derniers éléments composent ce que l'on appelle l'argile bleue que l'on rencontre à une faible profondeur le long des rives de la Senne, à Laeken.

Voici les dimensions de quelques grains : $65 \times 50 \times 40$ — $67 \times 49 \times 37$
— $50 \times 37 \times 27$ — $70 \times 57 \times 27$ — $53 \times 51 \times 21$ — $49 \times 41 \times 22$
— $25 \times 17 \times 16$ — $10 \times 6 \times 4$ — $8 \times 5 \times 2$ — $12 \times 8 \times 4$.

SABLE HELVÉTIEN.

L'échantillon de sable *helvétien*, envoyé par M. Paul Choffat, de Lisbonne, a été pris à Alhandra à la profondeur de 25 mètres. Ce sable gris limoneux, imprégné d'eau, a été retiré d'un puits tubulaire à l'aide d'une petite pompe agissant à 23 mètres de profondeur. C'est du sable composé de grains de quartz de grosseurs variées. Les grains sont très raboteux et ont de 16 à 32 millièmes de centimètre. Quelques grains sont grossièrement arrondis; d'autres, parmi les plus gros, se présentent sous forme de grains rocheux très anfractueux. Ce sable renferme des fragments de roches diverses, des lamelles de mica, des fragments de coquilles et des sphérules calcaires. Les grains ont de 1 à 80 millièmes

de centimètre. Une petite quantité de grains plus fins, de 1 à 10 microns, s'y trouvent également mêlés.

J'ai encore examiné un autre échantillon (alluvion du Tage?) provenant d'une galerie d'exploitation à Olho de Boï, près de Lisbonne. M. P. Choffat a fait savoir que 200 mètres cubes de ce sable ont été entraînés vers le puits de la galerie, quoique celle-ci fût rempli jusqu'au toit par de la pierre cassée.

Ce sable est composé de grains de quartz de grosseurs très différentes : de 1 centième de millimètre à 1 millimètre; quelques grains sont plus gros et ont de 1 à 2 millimètres. Les grains les plus fins, de 2 à 10 microns, sont en petite quantité et formés, pour la plupart, d'esquilles de quartz. Les grains assez gros, qui ont de 56 à 70 millièmes de centimètre, sont très irréguliers et souvent anguleux. Ce sable est encore mêlé avec des fragments de roches diverses, parmi lesquelles des paillettes de mica de 1 dixième de millimètre à 1 millimètre de diamètre.

Voici des dimensions pour les grains de quartz : $91 \times 50 \times 44$ — $78 \times 55 \times 29$ — $44 \times 42 \times 25$ — $46 \times 38 \times 32$ — $18 \times 16 \times 14$ — $14 \times 12 \times 6$ — $25 \times 20 \times 19$, et pour le mica, $51 \times 40 \times 8$ en millièmes de centimètre.

Malgré l'irrégularité des grains, on peut constater encore que pour la plupart de ceux-ci la largeur est sensiblement plus grande que l'épaisseur.

De ce fait, il doit résulter que ces éléments divers pourront glisser plus facilement les uns sur les autres. Cependant, l'entraînement des grains dépendra principalement de la vitesse de l'eau.

Analyse relative à l'intervention de l'eau dans les sables.

J'ai recherché quelle pouvait être la nature de cette intervention.

Les volumes des solides géométriques peuvent être exprimés par la formule

$$v = k \cdot a \cdot b \cdot c,$$

lorsque l'on connaît trois dimensions rectangulaires a , b , c et le coefficient numérique k qui dépend de la forme du solide, k étant plus petit que 1 ou, au plus, égal à 1.

Les dimensions a , b , c pour les grains de sable sont du même ordre de grandeur et telles que les rapports $\frac{a}{c}$, $\frac{b}{c}$ des longueurs et largeurs à

l'épaisseur se trouvent compris entre 1 et 10, et presque toujours entre 1 et 4.

Nous pouvons supposer que le volume intérieur d'un récipient soit partagé en volumes élémentaires u , tous égaux au prisme à base rectangulaire,

$$u = a \cdot b \cdot c,$$

et que chacun de ces prismes contienne un élément solide de volume v .

Ces prismes pourront glisser les uns sur les autres dans trois directions, et les éléments solides pourront prendre, les uns par rapport aux autres, plusieurs dispositions de manière à réduire le volume vide qui les entoure. Dans ce cas, les prismes primitifs u seront réduits au volume

$$u' = k' \cdot a \cdot b \cdot c,$$

k' étant le nouveau coefficient numérique compris entre 1 et k . Dès lors $(k' - k)a \cdot b \cdot c$ sera le volume de la partie vide, et $\frac{k' - k}{k'}$ sera le rapport de cette partie vide au volume réduit, ce qui donne la porosité.

Un volume donné V contiendra un nombre N d'éléments de manière que $\frac{V}{u'} = N$ ou $V = N \cdot k' \cdot a \cdot b \cdot c$.

Lorsque les éléments sont mouillés, on peut supposer et même être certain que le liquide les sépare par une pellicule dont l'épaisseur ε est au moins égale à la pellicule noire qui se forme à la partie supérieure d'une bulle de savon avant sa rupture. On peut dire que cette épaisseur sera atteinte si la pression des éléments, les uns sur les autres, a une certaine valeur qui ne doit pas être très grande. L'épaisseur de cette pellicule a été évaluée à 12 millièmes de micron par Reinold et Rücker (*).

Aussitôt que les éléments solides seront mouillés, ils vont s'écarter comme si leurs dimensions linéaires avaient augmenté de la longueur ε ; le volume correspondant pour un élément mouillé deviendra

$$v' = k \cdot a \cdot b \cdot c + k \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c + e) \cdot \varepsilon$$

si les dimensions a , b , c sont au moins supérieures à 10 microns, le terme $e = (a + b + c + \varepsilon)\varepsilon$ sera négligeable.

L'accroissement de volume pour $N = \frac{V}{k' \cdot a \cdot b \cdot c}$ éléments sera donc égal à

$$V \cdot \frac{k}{k'} \cdot \frac{a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c}{a \cdot b \cdot c} \cdot \frac{12}{10^7} \text{ G.}$$

(*) *Proc. Roy. Soc.*, 21 juin 1877, et *Trans. Roy. Soc.*, 19 avril 1883.

Pour que cet accroissement soit de 1 centimètre cube, il faut que le volume donné

$$V = \frac{k'}{k} \cdot \frac{ab \times c}{ab + ac + bc} \cdot \frac{10^7}{12} \text{ C}^3.$$

On voit qu'il est proportionnel à la dimension linéaire des éléments, à c par exemple.

Appliquons cette formule à des éléments très fins, comparables au sable ypresien (*Yd*).

$a = 4$, $b = 3$, $c = 2$ millièmes de centimètre et supposons les grains disposés de manière à donner, par exemple (*), la porosité $1 - \frac{k}{k'} = 27.91 \%$; d'où $\frac{k'}{k} = 1.387$.

Le volume nécessaire serait donc

$$V = 1.387 \times \frac{24}{26 \times 10^3} \times \frac{10^7}{12} \text{ C}^3 = 1067 \text{ cm}^3,$$

soit environ 1 décimètre cube.

Pour pouvoir observer avec certitude un accroissement de volume de 1 centimètre cube, il faudrait que les positions relatives des éléments ne pussent changer; car si le volume total ne peut s'accroître que suivant la hauteur d'un prisme par exemple, il faudrait forcément que les éléments se déplaçassent de quantités différentes d'après la hauteur qu'ils occupent dans le prisme. Il en résulterait que la porosité sera changée, même après un nouveau tassement. Si nous supposons une diminution de porosité de 1 %, cela représente une diminution de volume de 17 centimètres cubes, soit un changement supérieur et de sens contraire à celui que l'on voudrait mesurer dans le cas actuel.

Il y a un autre fait dont il faut aussi tenir compte, c'est que le tassement des grains de sable se fait beaucoup mieux lorsqu'ils sont complètement mouillés.

Il y a encore une remarque qui est importante au point de vue des expériences; c'est la suivante :

Lorsqu'un sable perd son eau par évaporation, le volume apparent reste le même; mais si l'on regarde de plus près, on constate qu'en général il y a formation dans toute la masse de poches irrégulières remplies d'air (par exemple pour le sable bolderien *Bdd*). Si dans cet état on ajoute de l'eau, ou s'il en tombe une quantité plus ou moins

(*) Je prends une porosité théorique donnée dans le travail de MM. Ad. Kemna et Van Aubel : *Sur la géométrie des couches de sables*. Voir *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XV (1901), pp. 123 à 131. Les résultats resteraient de même ordre pour une porosité obtenue par expérience.

grande, de grosses bulles d'air montent à la surface, surtout si l'on dérange le sable.

Il en résulte que si un sable ou une argile aquifère mis à jour à une certaine profondeur laisse échapper des bulles d'air, on peut dire que ce sable ou cette argile a été anciennement hors de l'eau, ou même a été à l'état sec.

Examinons ce que nous pourrions avoir pour des éléments comparables à l'argile, les dimensions étant : $a = 4$, $b = 3$, $c = 2$ dixièmes de micron et la porosité étant supposée la même que précédemment.

L'accroissement de volume pour N éléments sera, en tenant compte du terme e :

$$\frac{V}{1.387} \left(\frac{26}{24} \times \frac{12}{10^2} + \frac{9}{24} \times \frac{12^2}{10^4} \right);$$

pour que cet accroissement soit de 1 centimètre cube, on doit avoir $V = 10^{cm^3}, 24$. Une diminution de porosité de 1 %, résultant du déplacement des éléments, donnerait le volume $V = 10^{cm^3}, 08$, soit seulement une diminution de $0^{cm^3}, 16$.

Par conséquent, l'augmentation de volume qui serait due au phénomène des pellicules minces sera facilement observable pour l'argile.

La quantité d'eau qu'un volume de sable idéal donné peut retenir par capillarité, dépend de la distance à laquelle l'attraction capillaire reste sensible. Si l'on suppose, suivant Quincke(*), que cette distance est de 50 millièmes de micron, les éléments solides pourront s'entourer d'une pellicule liquide ayant au moins cette épaisseur, excepté en certains points. L'accroissement de volume déterminant la quantité de liquide s'obtiendra en supposant que les dimensions linéaires augmentent du double de cette épaisseur, c'est-à-dire de 0.1 micron; on a ainsi

$$V \cdot \frac{k}{k'} \cdot \frac{ab + ac + bc + e}{a \cdot b \cdot c} \cdot \frac{1}{10^5} \text{ G.};$$

$$e = \left(a + b + c + \frac{1}{10^5} \right) \frac{1}{10^5} \text{ G.}$$

Appliquons cette donnée au sable dont les éléments ont pour grandeurs $a = 40$, $b = 30$, $c = 20$ microns.

Je supposerai que ces éléments sont encore disposés de manière à donner une porosité de 27.91 %. Les vides d'une couche se trouveront

(*) Poggendorff *Ann. der. Phys. und der Chem.*, t. CXX.

limités par les éléments de la couche supérieure et de la couche inférieure; on trouve pour le volume qui retiendra au moins un centimètre cube d'eau : $V = 127^{\text{cm}^3},6$.

Un sable qui sera mouillé de la quantité d'eau calculée ou définie par l'attraction capillaire atteindra son maximum de cohésion, parce que les membranes liquides réunissant les éléments auront réduit au minimum les surfaces libres. L'attraction de l'eau sur les éléments solides sera devenue maximum; elle est équivalente à celle qu'aurait la membrane liquide superficielle si elle avait une tension de 76 milligrammes par centimètre de longueur.

Si la quantité d'eau devient plus grande, il y aura, suivant les dispositions relatives des éléments, formation de bulles qui emprisonneront l'air. Par suite, la cohésion deviendra plus faible et le glissement des éléments les uns sur les autres sera rendu plus facile.

L'air pourra être d'autant plus facilement emprisonné, et cela avec une moindre quantité d'eau, que les éléments auront entre eux plus de points de contact.

Si par une cause quelconque le sable vient à être dérangé, ou si la pression extérieure diminue, ou bien encore si la température augmente, ces bulles tendront à prendre un mouvement ascensionnel.

Dans ce cas, elles pourront même entraîner les éléments les plus petits. Les éléments de quartz, par exemple, qui pourraient ainsi être entraînés, auraient au plus les $\frac{5}{3}$ du volume des bulles.

Il en résulte aussi que de grandes quantités de pluie tombant sur un sable argileux ou composé d'éléments de grandeurs très différentes et non saturé d'eau, feront remonter les éléments les plus fins, tandis que le sable le plus grossier restera en place, ou même descendra. Il y aura ainsi formation d'une couche de sable qui se sera appauvrie de haut en bas, soit en argile ou en éléments de quartz très fins.

Cette espèce de triage sera d'autant plus marquée qu'il y aura eu plus souvent des alternatives de pluie et de sécheresse, ou même d'inondations.

A une profondeur plus grande, où cette action mécanique de l'eau et de l'air se sera fait moins sentir, la teneur en argile sera relativement plus élevée.

Une masse de sable dont les vides sont complètement remplis d'eau n'abandonnera sous l'action de la pesanteur qu'une partie du liquide. Cette quantité dépendra des dimensions des éléments et de la porosité. Mais pour cela, il faut encore que les surfaces qui limiteront le liquide entourant les grains, puissent se former facilement. Cette formation

ne sera possible que si leur rayon de courbure peut devenir au moins égal à cent fois la distance à laquelle l'attraction moléculaire est sensible, c'est-à-dire qu'il soit au moins supérieur à 5 microns. De plus, la hauteur de la masse de sable ne doit pas être trop petite, pour que l'action de la pesanteur sur l'eau soit suffisante.

Par conséquent, si la quantité d'eau calculée comme si les grains étaient entourés d'une couche liquide de 5 microns d'épaisseur est supérieure à la porosité, le sable n'abandonnera pas d'eau et coulera lui-même.

L'accroissement de volume résultant pour un centimètre cube étant

$$\frac{k}{k'} \cdot \frac{ab + ac + bc + e}{a \cdot b \cdot c} \cdot \frac{10}{10^4} C^3$$

égal à la porosité

$$\frac{k' - k}{k'} C^3$$

du même volume. En supposant la porosité égale à $0^{\text{mm}^3},2791$, on a $\frac{k}{k'} = 0.721$. Ceci permet de déterminer approximativement la grandeur maximum des éléments.

Supposons, ce qui est conforme à la réalité, que $\frac{a}{c} = 2$, $\frac{b}{c} = 1.5$, on aura $e = \frac{4.5 \cdot c}{10^5}$,

$$0.721 \times \frac{10^5 \cdot 6.5 \cdot c + 4.5}{10^6 \cdot 3 \cdot c^2} = 0.2791,$$

d'où $c = 6.22$ millièmes de centimètre, par suite $b = 9.33$ et $a = 12.44$ millièmes de centimètre.

Le sable ypresien *Yd* et le sable landenien *L2b* se trouvent assez bien dans ces conditions.

Les éléments composant le volume donné n'abandonneront de l'eau que si l'on diminue, par exemple par une certaine pression, l'épaisseur des pellicules liquides séparant les éléments.

Lorsque les éléments de quartz composant un sable peuvent être considérés comme entièrement plongés dans l'eau, ils exerceront les uns sur les autres une pression moindre que dans l'air. Le poids des éléments de quartz est diminué de la poussée hydrostatique du liquide. L'eau elle-même, étant peu compressible, n'influera pas sensiblement sur l'épaisseur des pellicules liquides.

D'après ce qui précède, on conçoit que pour des éléments plus petits, de 1 micron, et par suite pour l'argile composant un volume donné, il faudra une pression assez forte pour en exprimer l'eau. De plus, l'eau

qui coulera entre les grains éprouvera une résistance plus forte à mesure que ceux-ci seront plus petits. Cette résistance dépend de la viscosité de l'eau.

Expériences sur la résistance des sables aquifères.

J'ai recherché si la finesse plus ou moins grande des grains ne pouvait pas se mettre en évidence par l'enfoncement plus ou moins grand d'une tige pesante dans différents sables aquifères.

L'appareil que j'ai construit pour ces expériences se compose d'une tige-sonde pesant 20 grammes et terminée par un bout arrondi.

La tige est formée d'un tube en verre de 5^{mm},5 de diamètre et lesté avec du mercure; elle est guidée verticalement et se trouve suspendue à un fil de lin. Son extrémité supérieure se meut le long d'une échelle fixe divisée en millimètres.

La pression exercée par la tige-sonde est d'environ 245 grammes par centimètre carré.

Voici les résultats que j'ai obtenus :

ESPÈCES DE SABLES.	DIAMÈTRES des grains moyens, en millimètres.	ENFONCEMENTS de la tige-sonde, en millimètres.
Alluvions de la Senne, <i>Alm</i>	0.50	8
Helvétien (Lisbonne)	0.45	5
Alluvions du Tage?	0.36	9
Bruxellien, <i>B</i>	0.30	10
Asschien, <i>Asa</i>	0.25	} 9.5
Id., glauconie.	0.30	
Bolderien, <i>Bdd.</i>	0.20	} 14
Id., glauconie	0.30	
Tongrien, <i>Tg2b</i>	0.15	11 à 10
Landenien, <i>L2b</i>	0.10	10
Ypresien, <i>Yd.</i>	0.08	25

Les résultats donnés ci-dessus montrent que la résistance diminue en général avec la finesse des grains. Cependant, les sables glauconifères asschiens et surtout le Bolderien *Bdd* présentent une résistance plus faible. Ce dernier et le sable ypresien ont montré le moins de résistance.

Quand le sable n'est pas bien tassé dans l'eau, l'enfoncement de la tige-sonde est toujours plus grand.

Lorsque la sonde est descendue dans le sable, elle s'enfonce d'abord assez rapidement, puis, au bout de vingt minutes, elle reste stationnaire. Cependant, les trépidations provenant du roulement des voitures et chariots provoquent souvent un enfoncement plus grand de 1 à 2 millimètres. Les expériences ont été répétées plusieurs fois avec un grand nombre de sables.

Le sable était tassé sous l'eau en donnant de petits chocs au récipient; ce tassement se faisait assez rapidement pour les sables à grains moyens, tandis que pour les sables argileux, à grains fins, comme celui de l'Ypresien, ce tassement ne pouvait se faire que lentement.

A mesure que l'eau se trouvait dégagée de cette manière, le sable présentait une plus grande résistance.

Le sable ypresien soumis à des chocs dirigés de bas en haut et répétés augmente de résistance, et la tige-sonde s'enfonce alors de 19 millimètres. Le même échantillon soumis à des chocs latéraux ne donne plus que 16 millimètres pour l'enfoncement.

J'ai ensuite opéré le tassement au moyen de la tige-sonde en la faisant monter et descendre plusieurs fois au même endroit de la masse de sable. L'enfoncement devient encore moindre et de 12^{mm},5.

Enfin, j'ai soumis le même sable, sans le déranger du récipient qui le contenait depuis les premières expériences, à la pression d'une colonne de mercure de 1 mètre de hauteur, c'est-à-dire à la pression de 1 359 grammes par centimètre carré. Le mercure introduit dans le récipient, sous la forme de globules très petits, déplaçait l'eau recouvrant le sable et restait suspendu au-dessus de ce sable. Au bout d'un jour, j'ai enlevé le mercure et j'ai constaté que la résistance du sable avait beaucoup augmenté. La tige-sonde ne s'est plus enfoncée que de 4 millimètres. Pour recouvrir le sable de sa couche habituelle d'eau, après l'enlèvement du mercure, j'ai dû, cependant, déranger les couches superficielles, sans quoi l'enfoncement aurait été encore moindre.

Il en résulte que la résistance du sable devient plus grande lorsque l'épaisseur des pellicules liquides est diminuée par le tassement et par la pression.

Cette dernière expérience prouve aussi que l'état d'un sable peut changer beaucoup, lorsqu'on veut l'enlever de son gisement *in situ* pour le mettre dans un récipient.

En terminant, je remercie beaucoup MM. le baron van Ertborn, Van den Broeck et le Service géologique pour les nombreux échantillons de sables qu'ils m'ont remis.

J'ai pu examiner le sable boulant en place, grâce à l'obligeance de M. F. De Schryver et du personnel des travaux des Installations maritimes à Bruxelles.

Ouvrages consultés :

Bulles de savon (quatre conférences sur la capillarité), par C.-V. Boys, traduit par CH.-ED. GUILLAUME. Paris, 1892.

Conférences scientifiques et allocutions de Sir William Thomson (L'ATTRACTION CAPILLAIRE, pp. 1 à 47), traduit par P. LUGNOL et M. BRILLOUIN. Paris, 1893.

Popular Lectures and Addresses by Sir William Thomson. Vol. I : Constitution of matter (capillary attraction), 1889.

G. VAN DER MENSBRUGGHE : *Sur les principes généraux d'une nouvelle théorie capillaire*, ANNALES DE LA SOC. SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, avril 1896 et oct. 1897 ;

— *Le principe d'Archimède et l'égalité de l'action et de la réaction*, ANNALES DE LA SOC. SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, janvier 1898 ;

— *Sur l'interprétation du principe d'Archimède fondée sur la parfaite élasticité des liquides*, BULL. DE L'ACAD. DES SCIENCES DE BELGIQUE, t. XXXV, p. 181, 1898 ;

— *Sur les phénomènes capillaires*. Rapport présenté au Congrès international de Physique réuni à Paris en 1900. Tome I, pp. 487-511, publié par Ch.-Ed. Guillaume et L. Poincaré.

A la suite de cette communication, divers échanges de vues sont exposés relativement aux conclusions qui pourraient être tirées du travail de M. Fiévez, lesquelles, d'après certains membres, ne se vérifient pas en pratique. Le sable boulant, dit notamment M. l'ingénieur *De Schryver*, est absolument incompressible lorsqu'il est parfaitement enserré dans ses trois dimensions, et rien n'empêche de construire au-dessus. Tel est le cas de la cathédrale d'Anvers, qui repose en toute sécurité et sans inconvénient sur le sable boulant.

Cette objection ne détruit cependant pas l'argumentation de M. Fiévez, car il faut, dit M. *Rabozée*, faire une distinction entre l'incompressibilité d'un corps et la résistance qu'il présente à l'enfoncement d'une tige mince. Ainsi l'eau peut être considérée comme le type du corps incompressible, et cependant la tige d'essai, dans ce cas, s'enfoncera certainement jusqu'au fond du vase par suite de la grande mobilité des molécules. S'il s'agit d'un sable, même incompressible, la tige y pénétrera

également, dans une certaine mesure, par suite du déplacement des grains qui sont chassés par l'extrémité de cette tige et remontent autour d'elle (1) en frottant sur les parties qui restent immobiles. On comprend que cette résistance à l'enfoncement dépend donc principalement du coefficient de frottement du sable sur lui-même et varie par conséquent avec la quantité d'eau qu'il retient entre ses grains. Cette résistance augmente d'ailleurs avec la charge portée par le terrain autour de la tige qu'on veut y faire pénétrer, ou, ce qui revient au même, avec le degré d'enfoncement de cette tige. C'est même une des raisons pour lesquelles on descend la base des fondations au-dessous du niveau du sol naturel.

Il n'en est pas moins acquis que le sable boulant, bien enserré et privé d'écoulement, peut constituer un bon sol de construction et que, en fait, les résultats numériques fournis par les expériences de l'auteur ne s'accordent pas sans modifications avec ce que nous montrent les travaux publics dans lesquels cette condition se trouve réalisée.

M. le *Secrétaire général* est du même avis et propose à M. Fiévez de compléter ses expériences par la mise en œuvre de tiges de diamètres progressivement croissants et de rechercher la loi de variation de coefficients modifiés que l'on obtiendra évidemment différents, suivant une progression dont la loi reste encore à établir. Il est certain que plus la section de la tige de refoulement sera grande, plus la résistance à l'enfoncement du sable augmentera, et cela d'une manière variable suivant les divers types de sable. C'est ce qui explique que des édifices construits sur une large base de sables bouillants provoquent, par leur poids même, des phénomènes localisés de compression et de drainage sous-jacents permettant au « bouillant » de constituer une base résistante. Ce n'est donc pas dans les coefficients — variables avec la nature, la forme et les caractères des grains sableux d'une série de « bouillants » — obtenus par l'étude du degré d'enfoncement de la mince tige-sonde employée par M. Fiévez dans ses premières expériences qu'il faut chercher une base d'applications pratiques, mais dans la comparaison des séries de coefficients qui seront fournis par l'expérimentation complémentaire de tiges de compression de diamètres croissants successivement appliquées aux mêmes types de sables.

M. Fiévez se propose de faire un certain nombre d'expériences au

(1) Ce mouvement ascendant a été mis en évidence par la photographie; voir *Comptes rendus du Congrès international des Procédés de construction. Exposition universelle de 1889*, pp. 240 et suivantes.

point de vue des applications pratiques et spécialement suivant l'ordre d'idées indiqué par M. Van den Broeck. Ce n'est qu'après cette seconde partie de son étude qu'il pourra synthétiser ses vues et formuler des conclusions, qu'il serait prématuré d'énoncer actuellement, sur la résistance des divers sables.

M. *Bertrand* signale à l'Assemblée le fait évidemment fort curieux constaté dans certains sables mouvants du Sud-Est de l'Arabie; toute pierre placée sur ces sables s'enfonce; de plus, si l'on attache une ficelle à la pierre, la corde se perd elle-même et disparaît par suite de l'enfoncement. Ces étendues de sable se voient de très loin et, quelquefois, il y a une limite nettement tracée entre le sable blanc qui les constitue et le sable jaune avoisinant, non sujet à la même propriété. Il lui revient que des savants anglais ont fait des expériences d'enfoncement de corps lourds dans ces sables, dont il serait intéressant d'avoir un échantillon.

M. le *Secrétaire général* donne lecture de la note suivante, adressée par M. l'ingénieur *Alph. Casse* :

Rappel des conditions auxquelles doit répondre un sable pour devenir boulant.

Comme conséquence de la définition que j'ai donnée à la séance du 2 juillet 1901, j'ajoute qu'un sable n'est à l'état boulant que lorsque, à l'aide de la quantité d'eau qu'il est capable d'absorber, il a acquis suffisamment de fluidité pour s'étendre en nappe.

Partant de cette définition, il y a lieu de déterminer quels sont les sables susceptibles d'avoir cette propriété. Je crois avoir défini dans mon dernier exposé quels terrains sont capables d'absorber ces grandes quantités d'eau; j'ai cité les argiles et les sables mélangés d'autres matières, excluant les sables purs homogènes qui se distinguent précisément par leur grande perméabilité, et j'ai défini ce qu'on doit entendre dans la matière par la perméabilité d'un terrain.

J'ai démontré le peu d'affinité du sable pour l'eau et en revanche la grande affinité de cette dernière pour l'argile et le limon. Cette affinité, ai-je dit, constitue une véritable association et j'ai ajouté que la disjonction n'était possible que par une force ou une cause extérieure.

Partant de là, pour qu'un sable soit boulant, il faut une cause qui le rende boulant, et quelle serait cette cause, si ce n'est celle d'éléments étrangers seuls capables de retenir l'eau et qui, eux, par suite de la fluidité qu'ils ont acquise, viennent entraîner les grains de sable?

Ceux-ci, en effet, lorsqu'ils sont solidaires entre eux, laissent passer l'eau entre les vides qu'ils forment dans leur juxtaposition.

Évidemment, si — comme l'indiquait M. Rabozée dans une expérience qu'il proposait de faire à l'aide d'un récipient percé d'une ouverture à la partie inférieure — l'on charge un sable d'une quantité d'eau supérieure à celle qu'il peut contenir, on finira précisément, à cause de sa perméabilité, par entraîner les particules les plus ténues de ce sable, et si la charge d'eau est suffisante et continue, tout le sable pourra être entraîné; mais ce ne sont point là des *sables boullants*, ce sont des *sables entraînaibles*, la distinction est essentielle, et ceux-ci se disposeront toujours sous un talus, ils ne s'étendront pas en nappe, propriété caractéristique des sables boullants. J'ai dit encore, dans mon exposé du 2 juillet, que par l'expérience que j'avais faite, on peut conclure logiquement que les vides du sable bouillant sec étant plus petits que ceux de ce sable mélangé à un excès d'eau, ce sable se trouve pour ainsi dire en suspension dans l'eau. J'ajoutais que si cette expérience est exacte pour les sables vaseux, elle ne l'est plus pour les sables purs. Ceux-ci ne peuvent absorber un excès d'eau, elle filtrera rapidement au travers de la colonne de sable, et j'en ai conclu que *pour qu'un sable soit bouillant, il faut que, étant sursaturé d'eau, il se trouve en quelque sorte en suspension dans l'eau.*

M. le *Secrétaire général* porte à la connaissance de l'Assemblée la note que lui a fait parvenir M. *Feret* au sujet de la communication de M. *Höfer* :

EXPÉRIENCES

SUR LE

TASSEMENT PROGRESSIF DES SABLES FINS DANS L'EAU

PAR

R. FERET,

Chef de Laboratoire des Ponts et Chaussées, à Boulogne-sur-Mer.

MONSIEUR LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL,

Comme suite à la communication de M. H. Höfer, vous m'avez fait l'honneur de me demander mon avis sur la question de savoir si, par le simple enlèvement de l'eau, le sable bouillant subit ou ne subit pas une diminution de volume.

A priori, si l'on admet que, pour être boullant, le sable doit être en suspension dans l'eau, cela implique qu'à cet état, ses grains sont relativement espacés les uns des autres, et il semble qu'il doive se tasser quand on enlève l'excès d'eau.

Mais ce n'est là qu'une présomption qui demanderait à être vérifiée.

Pour essayer de m'en rendre compte dans quelle mesure elle est justifiée, je viens de faire les expériences très simples dont la description suit.

J'ai pris de la farine de marbre moulu, débarrassée par tamisage de tous les grains restant sur la toile métallique n° 180, dont chaque maille est un carré ayant intérieurement environ huit centièmes de millimètre de côté. Le poids spécifique de cette matière est 2,70.

Versée sans tassement dans un litre, au moyen de l'entonnoir à tamis en usage pour les essais de ciments, elle pèse 885 grammes, ce qui correspond à un volume plein réel de $\frac{885}{2,70} = 328$ centimètres cubes et, par suite, à une proportion de vides de 67,2 %.

Tassée à refus dans le litre, par secousses et sans compression directe, elle pèse 1520 grammes, ce qui correspond à 57,0 % de plein et 43,0 % de vide.

En la comprimant avec une presse hydraulique, on aurait pu réduire à presque rien la proportion des vides.

J'ai disposé verticalement un tube de verre d'environ 0^m,80 de longueur et d'un diamètre intérieur moyen de 0^m,028 (fig. 1), ouvert en haut et fermé en bas par un bouchon traversé par un tube coudé formant ajutage, et recouvert, comme l'indique la figure 2, de rondelles alternatives de toile et de papier à filtrer, la dernière toile étant serrée entre le bouchon et le tube d'essai.

Après avoir jaugé le tube suivant toute sa hauteur et bouché l'ajutage, j'ai pesé 300 grammes de farine de marbre, ayant, par conséquent, un volume absolu de $\frac{300}{2,70} = 111$ centimètres cubes; je les ai délayés dans 200 centimètres cubes d'eau, j'ai versé le tout dans le tube et j'ai achevé de laver la capsule avec de l'eau, que j'ai versée aussi dans le tube. Le volume total d'eau employé a été de 527 centimètres cubes.

Le mélange d'eau et de sable a occupé dans le tube un volume de 440 centimètres cubes, contenant, par conséquent, 440 — (111 + 527), soit 2 centimètres cubes d'air emprisonné. Puis on a attendu, en donnant de temps en temps des secousses au support du tube, de manière à faciliter le dégagement des bulles d'air restantes et le tassement. Peu à peu, le sable s'est déposé, laissant surnager un volume croissant d'eau claire, ainsi qu'il résulte du tableau ci-après.

TEMPS ÉCOULÉ.	VOLUME APPARENT DU SABLE.	PROPORTION de ce volume occupée réellement par le sable.	PROPORTION des intervalles entre les grains.
10 minutes.	307,1 cm ³	$\frac{111}{307,1} \times 100 = 36,2 \%$	$100 - 3,62 = 63,8 \%$
20 —	295,9	37,5 %	62,5 %
30 —	289,7	38,3 —	61,7 —
1 heure.	284,3	39,1 —	60,9 —
1 1/2 heure.	281,4	39,4 —	60,6 —
2 heures.	278,7	39,8 —	60,2 —
3 —	274,4	40,4 —	59,6 —
4 —	270,7	41,0 —	59,0 —
18 —	237,9	46,6 —	53,4 —
21 —	232,7	47,8 —	52,2 —
24 —	228,7	48,6 —	51,4 —
28 —	223,8	49,6 —	50,4 —
45 —	217,0	51,2 —	48,8 —
48 —	215,0	51,7 —	48,3 —
66 —	208,1	53,3 —	46,7 —
77 —	204,9	54,2 —	45,8 —
92 —	204,9	54,2 —	45,8 —
121 —	204,8	54,2 —	45,8 —
136 —	204,8	54,2 —	45,8 —

Le trait plein de la figure 3 représente la variation du volume apparent occupé par le sable (ordonnées) en fonction du temps écoulé (abscisses).

On voit que le tassement a fini par s'arrêter, avec un volume apparent final de 204^{cm³},8, correspondant à 45,8 % d'intervalles.

Ce résultat obtenu, on a siphonné avec précaution l'eau surnageante et débouché l'ajutage. En vingt-quatre heures, il s'est écoulé 1 à 2 centimètres cubes d'eau; mais le tassement du sable n'a pas augmenté.

On a alors mis l'ajutage en communication avec une trompe à eau, de manière à y produire une succion. En une heure, le volume apparent

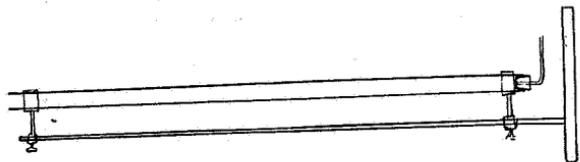


FIG. 1.

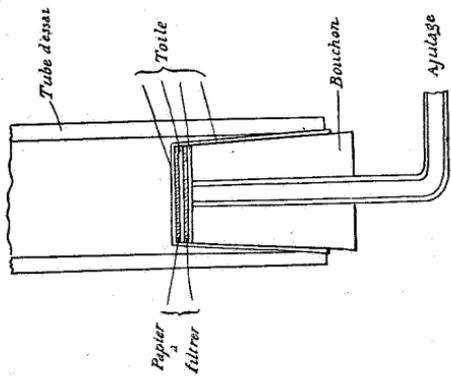


FIG. 2.

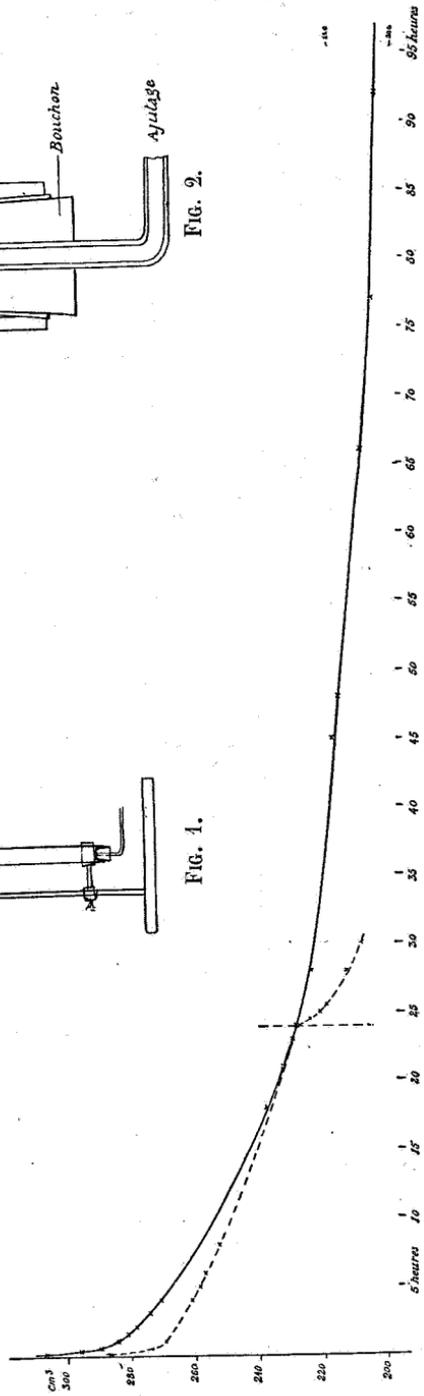


FIG. 3.

DIAGRAMME DE LA VARIATION DU VOLUME APPARENT OCCUPÉ PAR LE SABLE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ.

Nota. — L'examen détaillé des allures de ces courbes serait facilité par l'adjonction, au crayon, de lignes horizontales coïncidant avec les chiffres 200, 250, 280, 290, etc.

du sable s'est réduit à 203,6, c'est-à-dire d'environ 0,6 % seulement de ce qu'il était au début de l'aspiration. A ce volume correspond un volume solide réel de $\frac{111}{204,8} \times 100 = 54,5$ % et une proportion d'intervalles de 43,5 %. L'aspiration, prolongée pendant six heures, n'a pas modifié ces divers volumes.

On peut conclure de cette expérience que, lorsqu'un sable très fin en suspension dans l'eau est abandonné dans des conditions telles que l'eau puisse se décanter, son tassement augmente progressivement à mesure que l'eau remonte à la surface, jusqu'à une certaine limite, au delà de laquelle il est difficile de le faire tasser davantage, même en ménageant un écoulement à l'eau restant interposée ou en essayant d'aspirer cette eau.

Mais il n'est pas sûr que, dans les nappes souterraines, les sables bouillants se trouvent à leur état de tassement maximum. Il est même probable que le fait même qu'ils sont bouillants implique que, par suite de circonstances les empêchant de se déposer, ils se trouvent en suspension dans un excès d'eau. Dès lors, il est à présumer qu'ils se tasseront assez rapidement dès qu'on leur enlèvera de l'eau. C'est du reste ce que montre l'expérience suivante :

500 grammes de la même farine de marbre, délayés dans les mêmes quantités d'eau que ci-dessus, ont été versés dans le même tube, l'ajutage étant bouché, et abandonnés au repos comme dans la première expérience. Les volumes observés pendant les vingt-quatre premières heures ont été les suivants :

TEMPS ÉCOULÉ.	VOLUME APPARENT DU SABLE.	PROPORTION de ce volume occupée réellement par le sable.	PROPORTION des intervalles entre les grains.
10 minutes.	286,8 cm ³	38,7 %	61,3 %
30 —	273,4	40,6 —	59,4 —
1 heure.	269,4	41,2 —	58,8 —
4 heures.	261,6	42,4 —	57,6 —
5 —	258,7	42,9 —	57,1 —
6 —	257,5	43,1 —	56,9 —
8 —	252,8	43,9 —	56,1 —
23 —	230,0	48,3 —	52,7 —
24 —	228,7	48,5 —	51,5 —

On voit par la courbe pointillée de la figure 3 que le tassement a été d'abord un peu plus rapide que dans la première expérience, mais qu'au bout de vingt-quatre heures, il était devenu le même. On a alors siphonné l'eau surnageante et mis l'ajutage en communication avec la trompe aspirante.

Les volumes observés ont été :

DURÉE D'ASPIRATION.	VOLUME APPARENT DU SABLE.	PROPORTION de ce volume occupée réellement par le sable.	PROPORTION des intervalles entre les grains.
0	228,7 cm ³	48 5 %	51,5 %
Une demi-heure.	224,3	49,4 —	50,6 —
1 heure.	221,4	50,1 —	49,9 —
1 heure et demie.	219,3	50 6 —	49,4 —
4 heures.	212,9	52 2 —	47,8 —
6 —	208,1	53,3 —	46,7 —

La continuation de la courbe pointillée montre que l'aspiration a notablement accéléré le tassement du sable.

Après les six heures d'aspiration, on a laissé l'ajutage ouvert et abandonné le tube au repos; il s'est encore écoulé un peu d'eau et le volume apparent final du sable a été de 205,3 cm³, très voisin de celui obtenu dans la première expérience.

Enfin, dans une troisième expérience, on a encore opéré sur 300 grammes de la même farine de marbre, mais en les délayant dans moins d'eau, et l'on a commencé à enlever l'eau avant que le sable se fût encore beaucoup tassé.

Le volume total d'eau employé a été de 254 centimètres cubes et le volume initial du mélange a été de 367 centimètres cubes, contenant, par conséquent, 367 — (111 + 254), soit 2 centimètres cubes d'air emprisonné.

Abandonné au repos, l'ajutage bouché, ce mélange a donné :

TEMPS ÉCOULÉ.	VOLUME APPARENT DU SABLE.	PROPORTION de ce volume occupée réellement par le sable.	PROPORTION des intervalles entre les grains.
Une demi-heure.	266,2 cm ³	41,7 %	58,3 %
1 heure.	263,0	42,2 —	57,8 —
1 heure et demie.	261,2	42,5 —	57,5 —
2 heures.	259,9	42,7 —	57,3 —
2 heures et demie.	259,3	42,9 —	57,1 —

On a alors siphonné l'eau surnageante et ouvert l'ajutage : il s'est écoulé très peu d'eau, mais le tassement et la décantation ont continué, comme il résulte du tableau suivant :

TEMPS ÉCOULÉ depuis le débouchage de l'ajutage.	VOLUME d'eau surnageant.	VOLUME apparent du sable.	PROPORTION de ce volume occupée réellement par le sable.	PROPORTION des intervalles entre les grains.
0	0	259,3 cm ³	42,9 %	57,1 %
9 heures.	17 cm ³	221,2	50,2 —	49,8 —
14 —	22	210,4	52,6 —	47,4 —
17 —	24	204,8	54,1 —	45,9 —
20 —	27	199,3	55,5 —	44,5 —

Au bout de ce temps, il s'était écoulé 31 centimètres cubes d'eau par l'ajutage, et le volume apparent du sable s'était réduit de 259,3 à 199,3 centimètres cubes, soit d'environ 23 % de ce qu'il était lorsqu'on a commencé à faire écouler l'eau.

Après les vingt heures d'écoulement libre, on a de nouveau siphonné l'eau surnageante et l'on a aspiré par l'ajutage. On a eu ainsi :

TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS L'ASPIRATION.	VOLUME APPARENT DU SABLE.	PROPORTION de ce volume occupée réellement par le sable.	PROPORTION des intervalles entre les grains.
0	198,0 cm ³	56,0 %	44,0 %
Une demi-heure.	194,3	57,2 —	42,8 —
1 heure.	192,2	57,8 —	42,2 —
1 heure et demie.	191,5	58,1 —	41,9 —
2 heures.	189,8	58,4 —	41,6 —

A ce moment, 2 centimètres cubes d'eau s'étaient décantés et surnageaient, de sorte qu'on peut évaluer à 198 — (190 + 2), soit à 6 centimètres cubes, le volume total de l'eau aspirée pendant deux heures. Dans cet intervalle, la réduction de volume du sable a été de 8,2 centimètres cubes, soit 4 % de son volume au début de l'aspiration.

On remarque que le tassement final est plus complet que dans les deux premières expériences, où le sable avait été délayé dans un volume d'eau plus considérable.

En résumé, il semble résulter de ces diverses expériences, qui demanderaient à être répétées avec des sables de natures et de finesses variées, additionnés ou non d'argile, que :

1° Lorsque l'eau peut se décanter librement, le sable, abandonné simplement au repos, se tasse jusqu'à une certaine limite, qu'on ne peut plus ensuite lui faire dépasser, même en essayant de provoquer l'échappement de l'eau restant entre ses grains ;

2° Quand, pour une cause quelconque, le sable retient une proportion d'eau supérieure à celle qui correspondrait à ce tassement maximum, ce qui paraît devoir être le cas des sables bouillants, toute opération ayant pour effet de lui enlever une portion de cette eau provoque en même temps un tassement plus ou moins important suivant que le tassement initial différait plus ou moins du tassement limite.

Veillez agréer, etc.

R. FERET.

M. J. Bertrand demande la parole pour une petite rectification relative à son exposé au sujet de l'abrasion glaciaire, fait à la séance du 19 décembre 1901.

Une erreur d'impression du procès-verbal, qui lui fait dire *avancement* glaciaire, au lieu de *arasement* glaciaire, a provoqué des critiques de M. Arctowski, auxquelles M. Bertrand tient à répondre en se justifiant surtout par le fait de ladite erreur d'impression.

Sur la proposition de M. le Secrétaire général, la communication de M. Bertrand, après audition par l'Assemblée, sera reportée anticipativement au procès-verbal d'une séance mensuelle antérieure, afin de permettre de réserver la présente séance exclusivement à la question du « bouillant ». Pour ce motif et vu l'heure avancée, la communication mise à l'ordre du jour et dans laquelle M. J. Bertrand devait traiter la question : *L'Oural est-il montagne d'Europe ou d'Asie?* est remise à la prochaine séance mensuelle du 17 juin.

La séance est levée à 10 heures 45.

ANNEXE A LA SÉANCE DU 5 JUIN 1902.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

Le bassin houiller du Nord de la Belgique.

Notre honorable confrère, M. X. Stainier, vient de publier dans les *Bulletins* de notre Société une étude très approfondie sur le bassin houiller du Nord de la Belgique (1). Il traite la question sous toutes ses faces, et ceux d'entre nous qui ont lu et relu ce travail remarquable auront été certainement frappés de la justesse des déductions que tire l'auteur des faits constatés en Angleterre et en Westphalie.

Il ne donne aucun détail sur les *morts-terrains*, ce qui nous fait supposer que l'on continue à en faire mystère. Nous saisissons l'occasion pour renouveler la protestation que nous avons déjà faite l'an dernier. Depuis trente ans, nous avons publié un grand nombre de coupes de sondages; nous aurions pu les garder en portefeuille, afin de laisser nos concurrents tâtonner dans l'inconnu, procédé mesquin, l'intérêt général et l'intérêt de la science devant primer tous intérêts particuliers.

La question du silence conservé sur les *morts-terrains* est donc profondément regrettable, et l'on peut se demander avec stupéfaction quels motifs on peut invoquer pour ne pas nous faire connaître les étages tertiaires ou secondaires rencontrés par la sonde.

Le bassin houiller de la Campine étant découvert, les recherches entrent dans une phase nouvelle, celle de la délimitation du bassin. M. Stainier nous dit que *les présomptions ne sont pas favorables à une forte extension du Houiller vers l'Ouest*. Les faits actuellement connus ne permettent pas d'espérer une prolongation du Houiller dans la

(1) X. STAINIER, *Études sur le bassin houiller du Nord de la Belgique*. BULL. DE LA SOC. BELGE DE GÉOL., DE PALÉONTOL. ET D'HYDROL., t. XVI, 1902. *Mém.*, p. 77.

Flandre orientale, encore moins naturellement dans la Flandre occidentale.

Il paraît qu'un sondage en cours d'exécution à Gheel aurait atteint 500 mètres et qu'un autre, à Santhoven (1), serait à 200 mètres de profondeur (2). Nous n'en dirons pas davantage sur le travail de M. Stainier, qui d'ailleurs est publié dans les *Bulletins* de notre Société. Les personnes désireuses de se mettre au courant de la question en tireront beaucoup plus de fruit en le lisant en entier, le travail étant fort bien conçu et très complet. Nous en dirons un peu plus des notices publiées dans les *Annales de la Société géologique de Belgique*. Celles-ci ne sont dans les mains que de quelques-uns des membres de notre Société. Ces résumés les mettront au courant des diverses faces de la question du Houiller en Campine à ce jour. Tous les géologues ne paraissant pas partager l'avis exprimé par M. Stainier, nous résumerons donc ce qui a été dit à Liège, à la séance du 16 mars 1902 de la Société géologique de Belgique.

O. V. ERTB.

La Houille en Campine, par M. le professeur M. LOHEST.

La communication de notre confrère et ami de la Société géologique, M. Lohest, résume les entretiens qu'il a eus avec MM. A. Habets, H. Forir et P. Fourmarier. Faute de renseignements précis, ils ne peuvent, comme le travail de M. Stainier, exprimer que des probabilités et non des certitudes.

L'auteur rappelle que déjà une dizaine de sondages dans les environs d'Asch-en-Campine ont atteint le Houiller à la profondeur moyenne de 500 mètres environ, que la houille trouvée est très riche en matières volatiles et que les couches ont une allure en plateure, ce qui indiquerait que l'on a atteint la partie centrale du bassin.

Généralement, les combustibles les plus riches en éléments gazeux occupent le sommet de la série, et en raisonnant par analogie, le bassin houiller campinois serait aussi profond que celui de Mons et atteindrait 5 000 mètres.

Quant à la largeur du bassin, l'auteur fait remarquer que les synclinaux sont d'autant plus larges, plus réguliers et plus profonds

(1) Localité située à 18 kilomètres à l'Est d'Anvers.

(2) *La Gazette* du 17 juin 1902.

que leur situation est plus septentrionale par rapport à l'axe de soulèvement de l'Ardenne; telle est la disposition du terrain cambrien du massif de Stavelot; la structure du bassin houiller de la Westphalie démontre à l'évidence cette tendance d'un approfondissement des plis synclinaux vers le Nord.

Abordant ensuite la direction probable que prend le nouveau bassin houiller, M. Lohest rappelle que généralement les grands plis de l'écorce terrestre sont à peu près parallèles entre eux. Le pli de Liège, Namur, Mons, Valenciennes se poursuit dans le pays de Galles; de plus, il existe une analogie complète entre la composition du Devonien supérieur et du Calcaire carbonifère de Bristol et du Condroz.

Considérant donc comme déterminée l'allure d'une ride située au Sud du bassin houiller campinois, l'auteur émet les deux hypothèses suivantes, soit :

Première hypothèse. — En supposant un parallélisme rigoureux des plis synclinaux, le terrain houiller de la Campine se reliait au bassin du Staffordshire en venant butter vers l'Ouest contre un relèvement du terrain cambro-silurien, bien déterminé par les sondages de Gand et d'Ostende.

Deuxième hypothèse. — Elle comporte une certaine divergence dans l'allure des plis, le bassin de la Campine se reliant avec le Yorkshire et affectant une direction générale reportée légèrement vers le Nord de la précédente. Mais une telle divergence est admissible et appuyée par des considérations géologiques.

Ce fait, ajoute l'auteur, impliquant un épanouissement plus considérable des anticlinaux en Angleterre qu'en Belgique, nécessite une inflexion vers le Nord de l'allure générale des plis.

Comme on le voit, cette dernière hypothèse tient le milieu entre la première et celle exprimée par M. Stainier.

Si, comme on l'a constaté souvent, l'allure des étages plus récents révèle d'une manière générale celle de couches plus anciennes qui les supportent, l'hypothèse de M. Stainier recevrait une première confirmation. En effet, dans la province d'Anvers, tous les étages tertiaires se sont déposés dans un bassin dont la concavité serait tournée vers le Nord-Est et la limite qu'il assigne au bassin houiller dans la province d'Anvers lui serait concentrique.

Rappelons toutefois que nous ne quittons pas le domaine des hypothèses et que celle-ci vient s'ajouter à toutes les autres.

**Raccordement du bassin houiller de la Campine avec celui de la Westphalie,
par A. HABETS.**

Dans un premier travail, publié en 1899, l'auteur a indiqué les résultats d'une première étude sur les relations tectoniques du nouveau bassin houiller avec les bassins rhénans-westphaliens.

Les conclusions étaient les suivantes :

1° Le bassin d'Eschweiler correspond aux petits bassins belges du Condroz ;

2° Le bassin de la Worm, au bassin de Liège-Herve ;

3° Le bassin du Limbourg hollandais, au bassin de Bochum-Dortmund.

Depuis lors, des faits nouveaux sont venus compléter les connaissances que l'on avait il y a trois ans, tout particulièrement la découverte des charbons à gaz en Campine.

Dans le Limbourg hollandais, les sondages ont révélé un bassin d'allure tranquille, et du Sud-Ouest au Nord-Est, on constate une succession d'étages passant des charbons maigres aux charbons flam-bants (Heerlen), aux houilles à coke (Hoensbroeck, Austenrade), jusqu'aux houilles à gaz comprenant 35 % de matières volatiles.

Le bord Sud-Ouest de ce bassin passe au Sud de Simpelveld, où les sondages paraissent indiquer un pli secondaire faisant suite aux grands plissements du bassin de la Worm, puis à l'Est de Fauquemont, et se relève assez vivement, à partir de ce point, vers le Nord.

Les sondages voisins révèlent un changement d'allure considérable ; au lieu de plateaux légèrement inclinés, on a constaté des inclinaisons de 45 et de 62°, révélant à leur tour l'apparition d'un nouvel anticlinal dirigé approximativement de Sittard à Lanaeken.

Ce serait probablement celui qui sépare les bassins de Bochum et d'Essen, bien caractérisé dans le bassin rhéno-westphalien par la grande faille *Sutan*.

Le bassin campinois se trouve au delà de cet anticlinal et représenterait, par conséquent, le bassin d'Essen, où les couches à gaz se montrent immédiatement sous les morts-terrains, comme à Asch-en-Campine.

Telle est la conclusion que l'éminent professeur de l'Université de Liège tire des faits nouveaux.

Il ajoute encore que dans l'état actuel de nos connaissances, on ne saurait dire si le bassin de Bochum existe au Nord-Ouest de Visé ; le fait n'est pas impossible.

Passant ensuite à un autre ordre d'idées, M. Habets rappelle qu'une loi de 1810 ne permet de concéder l'exploitation d'un gisement que si l'on démontre la possibilité de l'exploiter. Les sondages, il est vrai, ont révélé en Campine de grandes épaisseurs de morts-terrains; toutefois, en Westphalie, à Werne sur la Lippe, on a traversé 580 mètres de morts-terrains, à Gladbeck, 444 mètres, sans trop de difficulté. A Harchies-Bernissart, le procédé par congélation a atteint 236 mètres et le système Kind-Chaudron 372 mètres, au charbonnage *Preussen*, près de Dortmund. En Campine, on se trouverait dans les mêmes conditions.

Nous ne pouvons à ce point de vue qu'appuyer l'opinion émise par notre honorable confrère : un grand puits à Anvers serait bien facile à creuser; on n'aurait à percer que les étages Rupélien, Asschien, Ledien, Laekenien, Ypresien et Landenien, ne renfermant que des niveaux d'eau insignifiants. *

Quant au Crétacique, il ne paraît guère fissuré en profondeur. On pourrait objecter qu'en ce point la sonde n'a fait qu'atteindre l'Ypresien supérieur à 200 mètres de profondeur, et que l'Ypresien et le Landenien pourraient présenter quelques nappes aquifères. Le fait est bien peu probable, car nous venons de percer encore ces deux derniers à Alost, où leur puissance atteint 140 mètres et où la quantité d'eau rencontrée peut être considérée comme nulle.

**Prévisions relatives à l'épaisseur et à la nature des morts-terrains en Campine,
par H. FORIR.**

Notre honorable confrère et ami, M. H. Forir, traite dans sa notice de la question que nous n'avons fait qu'effleurer à la fin de l'analyse du travail de M. Habets : celle des morts-terrains qu'on dissimule avec tant de soin à nos investigations indiscretes.

L'auteur, après avoir dit quelques mots de l'orographie de la Moyenne et de la Basse-Belgique, parle ensuite de l'arête qui serait dirigée de Bruxelles à Malines. Cette arête suit, il est vrai, à peu près la ligne des boulevards reliant les gares du Midi et du Nord à Bruxelles, mais sa longueur ne dépasse pas 2 kilomètres.

Cette crête, nous fûmes des premiers à la signaler, il y a bien longtemps.

M. Forir se demande si elle constitue une ligne de faite tectonique; nous ne le croyons pas.

Les roches cambriennes ont été fortement dénudées avant la sédi-

mentation crétacique, présentant à la surface quelques légères dépressions. C'est dans ces dépressions que se sont conservés dans le sous-sol de la capitale les derniers vestiges de la craie sénonienne, après qu'elle eut été dénudée à son tour.

Il est vrai que les couches primaires sont, à l'Hôtel des Postes et aux Halles centrales, en contact immédiat avec le Landenien, mais, à quelques mètres de là, en dessous du Grand-Hôtel, il y a une couche de craie sénonienne. Déjà, à partir de la gare du Nord et dans toute la vallée de la Senne, dans la direction de Vilvorde, la formation crétacique augmente d'épaisseur, et rien ne nous porte à croire que cette arête se prolonge dans la direction de Malines.

Le sondage de l'Arsenal en cette ville, il est vrai, n'a percé que quelques mètres de craie, mais le toit du Primaire se trouve à son niveau régulier, comme le fait voir le tableau suivant :

	Latitude.	Toit du Primaire.
Beernem	51°7'45"	— 219m,37
Gand, R. Ch. V.	51°3'12"	— 217
Gand-Ville.	51°2'14"	— 196m,37
Termonde.	51°1'34"	— 206m,6
Malines	51°1'7"	— 212m,7

A l'Arsenal de Malines, la puissance du Landenien est inusitée; il s'ensuit que celui-ci a comblé un ravinement de la craie; l'anomalie n'est donc qu'apparente. De plus, on ne saurait tirer de conclusion d'un seul sondage. Nous avons déjà fait ressortir combien il aurait été imprudent de conclure du sondage de la brasserie Van den Heuvel, chaussée de Ninove, à Molenbeek-Saint-Jean, que sur la rive gauche de la Senne le Landenien se trouvait réduit à quelques mètres et que le Crétacique n'existait pas.

Nous croyons donc que la question de la ligne de faite, dont parle notre honorable collègue M. Forir, est parfaitement élucidée et que cette arête ne peut être attribuée qu'aux érosions.

Parlant ensuite du sondage d'Eelen, où la sonde pénétra à près de 300 mètres dans des roches gréseuses rougeâtres, l'auteur nous dit qu'elles sont probablement d'âge triasique, que des dépôts analogues ont été rencontrés dans les vallées du Rhin et de la Lippe, où ils occupent des golfes étroits et très profonds. Un de ces golfes aurait pu atteindre le site d'Eelen.

Passant ensuite à l'examen de la direction à donner aux nouvelles

recherches de houille, l'auteur signale, de concert avec M. Lohest, la région située au Nord d'Anvers et les environs de Knocke, où le Primaire, même s'il n'est pas le Houiller, doit se trouver à environ 350 mètres de profondeur. Je regrette de ne pouvoir partager l'avis de mes honorables amis; j'ai lieu de croire que cette profondeur est beaucoup plus considérable. La désespérante régularité de la ligne Beernem-Malines ne nous révèle aucune anomalie dans cette région, et l'allure générale des tertiaires paraît indiquer un prolongement régulier des couches vers le Nord, s'accroissant encore au Nord du parallèle d'Anvers, car dans le voisinage du camp de Brasschaet la base de l'argile rupe-lienne ne fut pas atteinte à 220 mètres de profondeur.

M. Forir nous donne enfin la coupe détaillée d'un puits foré à Lanaeken, dans la propriété du comte de Mérode, en 1867, comprenant toutes les séries tertiaires et secondaires de cette région et qui jette un jour tout nouveau sur la partie supérieure du sondage de Lanaeken, restée énigmatique, *faute d'échantillons*.

Nous espérons que cette analyse succincte permettra à nos confrères de la Société belge de Géologie et d'Hydrologie de se tenir au courant des publications faites jusqu'à ce jour sur le bassin houiller de la Campine.

O. VAN ERTBORN.

NOTES ET INFORMATIONS DIVERSES

Le tunnel de Meudon et les sables bouillants. — Relèvement d'un éboulement par la méthode des chambres à sable.

On se souvient que le 26 juin 1900, alors qu'il ne restait plus que 35 mètres de voûte à construire au tunnel, entièrement percé, de la nouvelle ligne de Paris à Versailles, un éboulement considérable se produisit dans la portion de voûte non encore soutenue par ses pieds-droits.

L'éboulement dont il s'agit n'aurait sans doute pas eu une si grande importance sans l'invasion des sables aquifères qui eut lieu immédiatement. On n'eut raison qu'au bout de quinze mois de travail de la double coulée de sable qui se produisit et avec une dépense d'environ 1 million de francs, soit 25.000 francs environ par mètre courant de tunnel, ce qui en fait probablement la partie de tunnel la plus coûteuse qui ait encore été exécutée jusqu'à ce jour.

M. Dumos, ingénieur des arts et manufactures, donne dans le *Génie civil* du 7 juin 1902 une étude détaillée et très intéressante de la méthode qui fut employée pour relever cet éboulement de sables bouillants aquifères.

(*Écho des Mines et de la Métallurgie*, 30 juin 1902.)

Dans le recueil mentionné ci-dessus, les lignes qui précèdent sont suivies d'un couple de paragraphes résumant l'exposé de la méthode suivie, consistant dans l'excavation des déblais sableux par blindages étanches toujours fermés, autrement dits *chambres à sable*, travail exceptionnel qui a été exécuté par M. Rabut, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, par des moyens nouveaux et habiles qui lui font le plus grand honneur. L'importance du sujet est telle qu'il nous a paru utile de reproduire ici une étude plus détaillée du dispositif adopté par M. Rabut, exposé que nous extrayons d'un article de M. A. DA CUNHA publié sous le titre : *Le souterrain de Meudon*, dans le n° 1510, du 3 mai 1902, du journal LA NATURE.

« Il est probable que si l'on avait pu prévoir les difficultés qu'on a rencontrées, on aurait attribué au tronçon un tracé sensiblement différent de celui qui a été adopté, quitte à lui donner un développement plus considérable. Quelques kilomètres en plus sont peu de chose pour une ligne d'intérêt général, et l'on aurait évité ainsi le retard de la mise en exploitation, les dépenses considérables de réfection du tunnel et les difficultés d'exploitation d'un long tunnel en pente, d'une aération tellement difficile, qu'il a fallu s'adresser à la traction électrique pour éviter les gaz délétères sous la voûte.

Le tunnel de Meudon, qui supporte au-dessus de lui une épaisseur de terrain de 75 mètres de hauteur, présente une longueur totale de 3,360 mètres, avec une pente de 8 millimètres par mètre vers Paris.

Ainsi que pour tous les travaux de ce genre, deux chantiers ont été ouverts aux deux extrémités; le sol a été attaqué d'après les règles en usage dans la construction des souterrains. Les 1,800 mètres du côté de Paris ont été exécutés assez facilement; le terrain à percer était composé de calcaires grossiers et de sables moyens, semblable par conséquent au sous-sol qu'il a fallu traverser pour la construction de la ligne n° 1 du Métropolitain. On a pu avancer très vite dans cette masse compacte et facile à percer; chaque jour, on progressait sous le sol de 5 à 6 mètres. Du côté de Versailles, les travaux furent exécutés également sans trop d'encombre et l'on croyait pouvoir terminer promptement l'ouvrage, quand, tout à coup, un accident impossible à prévoir vint ruiner ces belles espérances.

Les couches de terres situées au-dessus de la voûte du tunnel, n'étant pas encore soutenues par de la maçonnerie, s'affaissèrent sous le poids d'une nappe de sable bouillant, confinée dans l'épaisseur de la montagne. L'existence de cette nappe était certainement connue, mais l'on estimait qu'une épaisseur de 7 mètres de terrain solide entre son radier et l'intrados du futur ouvrage aurait suffi pour la soutenir. En réalité, ces 7 mètres n'existaient pas; cette nappe liquide s'infléchissait suivant une règle inconnue, si bien qu'à l'endroit du souterrain, elle n'était séparée de la voûte que par 2 ou 3 mètres. Bref, les sables liquides envahirent les chantiers et menacèrent d'étendre leurs ravages sur une distance considérable. En ce cas, il aurait fallu abandonner les travaux; c'eût été un véritable désastre. Ce n'est que grâce à la promptitude des mesures prises et à l'ingénieuse initiative du directeur des travaux que le malheur put être évité. L'éboulement fut limité sur une distance de 40 mètres. Et c'est pour traverser ces quelques mètres qu'il a fallu déployer des méthodes de travail nouvelles, retarder l'ouverture de la ligne de dix-huit mois et dépenser plus d'un million, chiffre qui remet l'avancement à 25,000 francs le mètre courant. Ces données constituent d'ailleurs un progrès très sensible sur les ouvrages similaires exécutés antérieurement. En effet, lors de la construction du chemin de fer de Montauban à Brivés-la-Gaillarde, on eut à déplorer un accident du même genre au tunnel de Marot; des infiltrations de sables mouvants envahirent les travaux sur une distance de 7 mètres. Il fallut sept ans pour les traverser. Les dix-huit mois employés pour percer les 40 mètres du tunnel de Meudon constituent donc un notable progrès dans les travaux de ce genre.

Les sables bouillants, qui ont donné tant d'ennuis à Meudon, se composent de sables dits de Fontainebleau unis à $\frac{1}{10}$ d'eau. Ce mélange constitue une masse dépourvue de toute consistance; il coule comme de l'eau par toutes les ouvertures ou fissures, et rien ne peut empêcher son invasion. D'ailleurs, sa densité est double de celle de l'eau: c'est ce qui explique la facilité qu'il a de démolir les voûtes et la pression qu'il exerce sur les parois qui lui sont opposées.

L'effondrement du tunnel de Meudon est survenu d'une façon assez bizarre. Le poids de la nappe de sable, qui n'atteint pas moins de 20 mètres de hauteur, a fait tomber dans le souterrain des terres qui la soutenaient; il s'est alors formé deux solutions, sortes de déversoirs espacés de 12 à 15 mètres, par lesquelles le sable liquide s'est répandu. On se trouvait donc par le fait en présence d'une masse assez compacte relativement solide placée au milieu d'un effondrement, séparant deux masses liquides de sables bouillants. La première opération à laquelle on a procédé, quand on a vu qu'on n'était plus maître d'arrêter l'invasion, a été de construire à 40 mètres en arrière, et de chaque côté du tunnel, un mur bouchant complètement l'ouvrage pour limiter l'envahissement dans le cas où les sables s'étendraient indéfiniment. Ces murs ont été une bonne précaution, mais heureusement ils n'ont pas servi.

Le problème se résumait dès lors à traverser la masse de sables bouillants et à y établir une voûte en maçonnerie. A première vue, il n'y avait pas de solution, puisque la

nappe était inépuisable et qu'aucun procédé connu ne permet d'avancer dans des terrains mous. On ne pouvait penser à l'air comprimé, à cause de la densité du mélange. Un instant on s'ingénia à chercher les moyens de congeler toute la masse à traverser et à l'attaquer comme un terrain dur. Mais il fallut renoncer à cette conception chimérique.

On adopta alors un moyen de travail d'une délicatesse extrême qui permettait de gagner chaque jour quelques décimètres cubes sur la masse liquide. En deux mots, le principe adopté consistait à enfermer derrière des cloisons étanches une petite portion de la masse de sables bouillants effondrés et de gagner ainsi du volume derrière ces cloisons, sans les démolir. Nous verrons plus loin comment on réalisa ce programme qui, au premier abord, paraît absurde.

Au lieu d'attaquer la masse liquide par les deux bouts, on préféra commencer le travail par le milieu de l'effondrement, c'est-à-dire dans la portion relativement solide. A cet effet, on construisit latéralement et en dehors du tunnel une galerie qui permit de gagner cette zone par laquelle on voulait commencer l'ouvrage. Il y eut donc deux chantiers qui avançaient dans deux directions opposées.

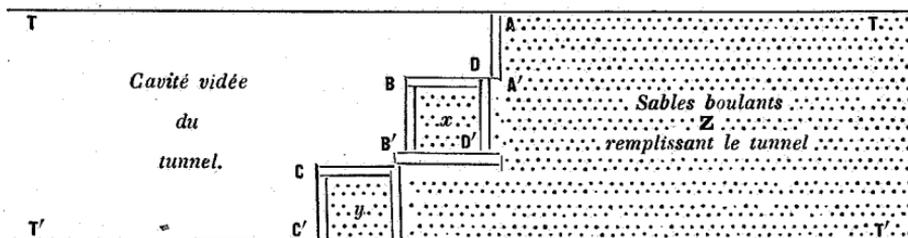


FIG. 1.

Schéma montrant, d'après l'article de M. da Cunha, la disposition EN PLAN des cloisonnements successifs édifiés pour l'enlèvement des sables bouillants; x et y chambres en madriers contenant, à l'état coffré, les sables bouillants, qui remplissent en Z toute la partie gauche du tunnel.

Voyons maintenant comment on procéda pour enlever les sables bouillants. Soient TT, T'T' les limites du souterrain qu'il s'agissait de débayer (fig. 1). Un des chantiers fut constitué en enfermant les sables éboulés derrière des cloisons en planches verticales AA', DB, BB', B'C, CC'; d'autres cloisons horizontales ou inclinées venaient au besoin délimiter la masse liquide. Il fallait empêcher le sable de passer à travers ces cloisons. Aussi étaient-elles faites à l'aide de pieux superposés et jointifs. Pour pouvoir gagner du volume derrière ces cloisons, on enfonçait, à l'aide d'un procédé spécial, des pieux dans l'épaisseur même de la cloison; ces pieux étaient enfoncés de manière à constituer une nouvelle cloison dans la masse de sables bouillants. En établissant deux cloisons verticales A'D', AA' et deux cloisons horizontales, l'une en haut et l'autre en bas, on arrivait à emprisonner un certain volume de sables; on pouvait alors enlever les cloisons BB', BD et débayer les sables enfermés. On se trouvait ainsi devant une nouvelle série de cloisons AA', A'D', B'C, CC', et l'on pouvait continuer à avancer de la même façon. Au fur et à mesure que l'on gagnait du terrain, à l'endroit de la voûte on établissait la maçonnerie, afin de se garantir définitivement. La grosse difficulté était de faire traverser les poutres aux cloisons. Il est certain que si l'on avait pratiqué dans celles-ci des ouvertures pour le passage des poutres, tout le sable se serait écoulé par les fenêtres ainsi constituées et l'on aurait eu une nouvelle invasion. Voici comment on a procédé. On délimitait avec de la craie sur la cloison à traverser l'équarris-

sage exact de la pièce de bois à enfoncer (15 cm. × 15 cm. environ) ainsi que l'endroit où devait se faire la perforation. Puis on perçait à la tarière une série de petits trous rapprochés les uns des autres suivant la ligne marquée à la craie. On avait donc un élément de cloison qu'il serait facile de faire sauter sous une pression suffisante. On employait des vérins de 20 à 30 tonnes pour provoquer la poussée des poutres contre les cloisons. L'extrémité de la poutre venant rencontrer l'élément de cloison, préparé à cet effet, le faisait sauter comme un bouchon qui allait se perdre, par derrière, dans le sable bouillant. On pouvait alors faire entrer la poutre à la place qu'elle devait occuper. En mettant ainsi des poutres les unes sur les autres, on établissait les cloisons.

En réalité, l'ouvrage n'a pas été exécuté avec la régularité que nous paraissions indiquer. A chaque instant, il fallait s'ingénier pour combattre l'invasion, boucher des joints non étanches, soit avec des coins en bois, soit avec de la paille.

Afin de diminuer l'effort d'enfoncement des poutres, on a évidé celles-ci suivant leur axe, pour laisser le sable couler à travers les conduits ainsi formés.

On conçoit combien le travail de ce tunnel devait être pénible : les ouvriers se trouvaient exposés aux dangers de nouveaux éboulements qui pouvaient se produire ; l'aération des chantiers était difficile ; enfin les hommes étaient couverts de boue et ils ne pouvaient marcher qu'avec beaucoup de difficulté. Aussi leur paye était-elle majorée de 50 %.

Comme on peut le comprendre, l'ouvrage ne progressait pas vite. La difficulté d'enfoncer les poutres et le nombre élevé des pièces de bois à manœuvrer ne permettaient pas de pousser rapidement le travail. A chacun des deux chantiers, on ne pouvait guère faire plus d'une chambre par semaine, c'est-à-dire gagner plus de 2 mètres cubes.

Aujourd'hui les travaux sont terminés, la masse boueuse a été traversée avec succès et la maçonnerie est achevée. La Compagnie compte présenter l'ouvrage au service du contrôle dès le mois de mai et tout porte à croire que pendant l'été prochain on pourra commencer à mettre en exploitation les trains électriques de la banlieue et les trains à grande vitesse destinés aux régions de la Normandie et de la Bretagne. »

A. DA CUNHA.

(*La Nature*, 3 mai 1902, pp. 343-346.)

L'état actuel de la question du vulcanisme. — Expériences au sujet du mécanisme éruptif. — La catastrophe de la Martinique et l'éruption du Mont Pelée.

Les tristes et grandioses phénomènes qui viennent d'éprouver si cruellement la florissante colonie française de la Martinique ne sauraient laisser indifférents ceux qui, outre le sentiment d'union et de solidarité universelle qui est l'apanage des hommes de science, éprouvent le désir de se rendre compte des causes de phénomènes qui comptent parmi les plus impressionnants que la géologie offre à l'attention de ceux qu'intéressent les mystères du globe terrestre.

Il n'est pas encore possible de démêler dans les nombreux articles de journaux et de revues, dans les dépêches et lettres reçues depuis la première annonce du désastre, ce qu'il y a lieu de considérer comme des données tout à fait précises permettant d'élucider les multiples problèmes que soulève la catastrophe de la Martinique. Mais comme il faudra sans doute attendre bien longtemps encore la publication des rapports officiels que doivent fournir à leurs gouvernements respectifs les diverses missions scientifiques envoyées à la Martinique, nous croyons utile de reproduire

ci-après une série d'articles d'actualité dont l'ensemble pourra constituer une mise au point préalable de l'état actuel de la question et des données principales du phénomène paraissant positivement acquises.

Après un coup d'œil général sur les progrès actuels de la question du vulcanisme, qui est l'œuvre d'un géologue parisien, membre honoraire de la Société belge de Géologie, qui se cache modestement sous les initiales G. D., nous reproduisons une curieuse note de M. *Guehard*, qui a récemment résumé à la Société géologique de France l'exposé de très curieuses expériences dues au Prof^r *Tito Martini*, de Venise, sur le mécanisme éruptif des appareils volcaniques. Ensuite, un exposé fort intéressant de M. *Fr. Laur* sur le mécanisme de la catastrophe de Saint-Pierre nous fera entrer au cœur du sujet qui, enfin, est magistralement exposé dans l'article du vice-amiral *Hermann*, publié par la Société de Géographie de Paris, article qui est spécialement consacré à l'examen des phénomènes ayant accompagné l'éruption du volcan de la Montagne Pelée. Nous terminerons cette petite revue préliminaire par quelques nouvelles que nous apporte le *Bulletin* de la Société de Géographie de Paris, au sujet des diverses Missions et Études scientifiques que la France et l'Amérique ont décidé de consacrer aux phénomènes de la Martinique, ainsi qu'au sujet de l'examen scientifique des cendres rejetées par l'éruption.

E. V. D. B.

Les idées modernes sur le vulcanisme.

Les recherches et les discussions dont les volcans ont été l'objet depuis quarante ans ont singulièrement modifié nos idées sur leur origine, et bien que les explications nouvelles ne soient pas encore acceptées par tous les maîtres, il nous paraît opportun d'en vulgariser les grandes lignes.

Le phénomène volcanique nous apparaît actuellement comme limité en étendue, et presque superficiel; il ne semble pas que la masse interne profonde du globe réagisse encore sur sa surface pour y participer.

Il est certain que la température augmente assez rapidement dans la profondeur, mais cet accroissement est fort inégal, il dépend du relief géographique et de la nature des roches. Tandis qu'on trouve une température déjà élevée dans les tunnels des montagnes à une altitude déjà grande (32° à 1,000 mètres au Gothard), sous la mer, dans les grands fonds, il règne une température relativement très basse (2° à 8,000 mètres de profondeur). elle ne paraît pas réchauffée par le sous-sol. On peut généraliser et dire que les hautes températures sont dans les régions anticlinales, tandis que les synclinaux sont froids.

La déperdition de la chaleur terrestre se fait surtout par les massifs anticlinaux terrestres, qui sont dans un état permanent de refroidissement et de contracture. La diminution de volume a pour effet que de temps à autre un des vousoirs de la croûte terrestre s'effondre, qu'il se produit des tassements et qu'il en résulte des tremblements de terre, des secousses irrégulières, intermittentes, jusqu'à ce qu'une situation d'équilibre se soit établie, et cette situation d'équilibre est toujours provisoire.

Il découle de ces mouvements du sol une conséquence capitale qui a peu attiré jusqu'ici l'attention : c'est la grande élévation de température qui résulte des énormes masses mises en action. On sait que le moindre mouvement mécanique est producteur de chaleur, et l'on comprendra que la force vive de la chute s'appliquant à des compartiments plus ou moins étendus de la surface terrestre donnera lieu à un échauffe-

ment capable de volatiliser les eaux qui auront pu pénétrer dans la profondeur par les fractures des roches déplacées. Il suffit donc d'imaginer une faille abaissant brusquement une région de quelques centaines de mètres pour que le phénomène volcanique apparaisse. Les eaux vaporisées cherchent une issue au dehors, et, dans leur explosion, elles entraînent avec elles un monde de débris, des boues plus ou moins liquéfiées ou fondues.

L'analyse qu'on a faite des produits volcaniques nous montre en première ligne les éléments contenus dans l'eau de mer : l'hydrogène, les chlorures, les sulfates; puis les éléments contenus dans les roches du voisinage de la cheminée d'éruption; on a beaucoup d'exemples de volcans où la chaleur n'a pas été assez forte pour vitrifier les éléments en présence, mais témoigne seulement d'une cuisson plus ou moins intense. Tous les éléments rejetés sont d'une origine peu profonde; au Vésuve, qui a été si bien étudié depuis longtemps, on trouve des boues marines avec coquilles d'espèces actuelles, des roches tertiaires, des blocs de roches crétaciques, mais jamais rien appartenant à la série cristalline profonde, encore moins des fragments de magma interne; les lignites pyriteux tertiaires du voisinage fournissent les éléments les plus minéralisés. Ceci est confirmé par l'examen de la densité des matières éruptives qui sont voisines de 2 et atteignent rarement 3, tandis que nous savons que la densité des masses internes du globe est entre 5 et 6.

Au point de vue géographique, les volcans anciens ou nouveaux se trouvent tous au voisinage des lignes de fracture et d'effondrement du globe; ils jalonnent le bord des anticlinaux en voie de disparition: c'est leur position aux Antilles; on sait que l'éruption de la Montagne Pelée à la Martinique a été précédée d'un mouvement d'affaissement sous-marin qui a amené la rupture des câbles télégraphiques; ces fractures ont permis aux eaux de pénétrer brusquement dans des régions profondes de température élevée, la vapeur s'est produite et l'explosion a suivi. Il est parfaitement inutile d'imaginer des torrents de feu souterrain, des noyaux incandescents, un embrasement prodigieux; le phénomène s'explique simplement par un mouvement mécanique et une réaction superficielle. Avec ces idées, en Auvergne, il n'est besoin d'aucune hypothèse de feu central pour expliquer l'appareil volcanique éteint: il s'est produit au moment de l'effondrement de la grande plaine de la Limagne; la chaleur développée par l'abaissement d'un millier de mètres d'une surface de milliers d'hectares a suffi pour provoquer le long des lignes de fracture le jaillissement de roches cuites, le passage de courants d'eaux bouillantes, l'arrivée de vapeurs explosives. Les cratères de l'Auvergne ne sont point formés de roches soulevées, ce sont des amas de débris rejetés par des fentes d'une profondeur probablement médiocre; on trouve dans ces roches métamorphosées des enclaves de roches plus ou moins profondément modifiées, des cristallisations, des liquations, mais les hautes vitrifications réelles sont l'exception; il n'y a pas eu de dissociation.

Un phénomène très à craindre dans les régions volcaniques et consécutif aux affaissements, ce sont les raz de marée, ces vagues immenses qui viennent balayer les bords des continents; dans les îles de la Sonde, au Japon, au Pérou, les pires dégâts ont été causés par cette mise en mouvement des eaux; il y aura donc lieu de recommander aux riverains des régions volcaniques d'habiter des collines déjà élevées au-dessus des ports; à 30 ou 40 mètres d'altitude, ils se mettraient à l'abri d'un danger permanent très réel.

Cette subordination des terres aux mers sera peut-être, dans un avenir très lointain, une préoccupation de l'humanité, si elle existe encore; d'effondrement en effondrement, on peut craindre que la surface terrestre diminue considérablement en étendue et tende vers un état d'équilibre où tous les éléments lourds gagneront, délayés, le fond des eaux.

Il est vrai que de temps à autre une contracture plus profonde amène une poussée latérale qui fait saillir quelques portions continentales. Ainsi nous pouvons considérer le soulèvement alpin comme le contre-coup d'un affaissement des plus graves, bien plus important, tel par exemple que l'apparition de la Méditerranée qui lui est grossièrement parallèle; mais il paraît aussi que, dans nombre de cas, lorsque le phénomène orogénique s'effectue avec lenteur, aucun effet volcanique ne se produit. la pénétration des eaux se traduit par un métamorphisme moléculaire, sans explosion. Sur ces saillies ainsi produites vient s'exercer à nouveau immédiatement le travail mécanique de destruction dont nous ne percevons ni l'origine ni la fin.

G. D.

La Feuille des Jeunes Naturalistes, 32^e année, juillet-août 1902.

Expérience du mécanisme éruptif de la production des appareils volcaniques.

M. A. GUÉBHARD présente à la Société géologique de France une expérience de physique due à M. le Professeur Tito Martini, de Venise (1), qui non seulement fournit une image curieuse au sujet du mécanisme éruptif de la production de appareils volcaniques, mais encore appuie d'un argument expérimental nouveau de objections depuis longtemps faites à la théorie des soi-disant « cratères de soulèvement ».

Lorsqu'on chauffe vivement dans une large capsule, d'un litre environ, une quantité assez grande d'une poudre fine très hygrométrique, telle que la silice précipitée (2) ou la poussière de charbon (3), préalablement saturées de vapeur d'eau ou de gaz inclus, par une longue exposition dans une atmosphère surchargée, il suffit, au moment où l'on voit commencer à la surface un dégagement général de vapeurs, de retourner avec une spatule la poudre en expérience et de ramener ainsi au contact de la paroi chaude les parties non encore desséchées, et vice versa, pour voir naître, particulièrement le long de la ligne de fracture déterminée dans la masse par la spatule, de véritables séries d'éruptions volcaniques en miniature, qui, sous l'influence du dégagement canalisé des vapeurs et gaz, projettent parfois jusqu'à une dizaine de centimètres de haut des jets de poussière, dont l'émergence et la retombée reproduisent avec la plus grande exactitude, dans tous leurs détails (sauf, bien entendu, ceux qui plus spécialement dépendent de l'état de fluidité ou de température des laves), les circonstances mécaniques ou structurales du volcanisme terrestre ou séléniqne. On voit naître et disparaître les cratères, surgir et s'effondrer les cônes, se déplacer, dédoubler ou fusionner les bouches, qui, une fois éteintes, laissent en place l'image typique d'un petit paysage lunaire. Entretemps la formation d'un grand cône, par déjection et non par soulèvement, puis son creusement en cône inverse le long de la cheminée, sa large déchirure sur un de ses bords, et la reformation centrale d'un cône nouveau, montrent toute la genèse naturelle des *remparts cratériformes* avec *atrium*, auxquels sert de type classique la *Somma* du Vésuve.

Ici, un brusque effondrement, sur quelque cavité interne, donne naissance à une sorte de cratère négatif, momentanément inférieur au ras du sol. Ailleurs, des bouches franchement obliques montrent qu'il ne faut pas rejeter absolument la possibilité natu-

(1) Nuove ricerche intorno al fenomeno del Pouillet (calore che si svolge nel bagnare le polvere). *Atti dell R. Ist. veneto di Sc., L. ed Arti*, t. LIX, p. 649, 1900.

(2) Les recherches de M. Tito Martini ont montré que la silice précipitée anhydre absorbait jusqu'à 80 % de son poids de vapeur d'eau.

(3) Presque exactement en même temps que M. Tito Martini, un observateur français, M. P. Martaud, remarquait sur la poudre de charbon et publiait dans la *Nature* (t. LIII, p. 402, n° 4364, 4^e juillet 1899) le phénomène que présente au plus haut degré la poudre blanche siliceuse.

relle de cette modalité d'éjection (1). Fréquemment on voit un redoublement d'intensité de l'éruption, ou la naissance de bouches adventives, amener la destruction de l'édifice antérieurement élevé sur plusieurs centimètres de haut et réaliser la comparaison qu'a faite Palmieri du volcan avec Saturne dévorant ses propres enfants « Si, d'autre part, dit M. Tito Martini, l'on réfléchit à la grande masse de silice et de silicates que renferme la croûte de la terre et à leur très grand pouvoir hydrophile, peut-être en pourrait-on tirer argument pour expliquer quelques-uns des phénomènes qui se produisent dans le grand laboratoire de la Nature. C'est ainsi que le pouvoir hygrophile de la terre végétale (étudié par l'auteur dans son mémoire) explique le fait très connu qu'une petite pluie, survenant sur un terrain brûlé par le soleil, le fait *rebouillir*, comme on dit couramment en Toscane... »

Sans vouloir exagérer la valeur explicative de la jolie expérience de M. Tito Martini, il est certain qu'elle présente un moyen facile de reproduire en petit, et par conséquent d'étudier expérimentalement, dans leurs principaux détails physiques, des phénomènes qui ont de tout temps paru mériter de fixer l'attention de la Société géologique.

(Compte rendu sommaire des séances de la Société géologique de France, n° 10, 5 mai 1902.)

Le mécanisme de la catastrophe de Saint-Pierre.

Au lendemain de la catastrophe de la Martinique, alors qu'aucun détail n'était connu, nous disions :

« Il est donc probable qu'un événement plus terrible que ceux qui ordinairement signalent les éruptions a eu lieu.

» Cet événement a été sans aucun doute l'ouverture soudaine d'une crevasse sur les flancs du cratère et tout près de la ville de Saint-Pierre. »

Aujourd'hui, les détails qui arrivent en grand nombre sur la catastrophe commencent à soulever un coin du mystère et corroborent notre hypothèse.

Le rapport officiel dit :

« Le phénomène a été foudroyant et peut être comparé à ce qui aurait été produit par un gigantesque canon, pointé sur la ville de Saint-Pierre, et lançant avec une violence inouïe des matières enflammées. En un instant la ville était en flammes, tous les habitants morts par le feu et l'asphyxie; les navires chavirés et incendiés, tous les mâts cassés au ras des ponts. »

Donc, c'est comme un jet de gaz chauds et de pierres rougies qui ont anéanti Saint-Pierre. On se fait, d'après la description ci-dessus du capitaine de frégate *Le Bris*, commandant du *Suchet*, l'idée d'un gigantesque chalumeau dirigé de bas en haut sur Saint-Pierre.

Il est clair qu'on ne pourrait admettre que des gaz chauds sortant du cratère de la Montagne Pelée, à 1 300 mètres au-dessus de Saint-Pierre, aient vu leur force ascensionnelle — considérable en raison de leur haute température — supprimée pour faire place à un mouvement descendant; c'est impossible.

S'il y a eu jet de gaz, comme on a dit, sur la ville, il faut admettre qu'il est venu d'un cratère nouveau ou plutôt d'une fissure voisine de Saint-Pierre, fissure qui s'est ouverte brusquement dans les mornes dominant la ville.

(1) Il est vrai de dire que ces deux derniers cas ne se présentent guère que si, par l'addition de quelques gouttes d'eau, l'on a préalablement déterminé quelques gumeaux et manques d'homogénéité dans la masse sableuse.

Écoutons un témoin oculaire, Fernand Clerc, conseiller général et candidat à la députation, qui se trouvait en face de la Montagne Pelée, en dehors de Saint-Pierre, au lieu dit Le Paragne :

« Vers huit heures, a-t-il dit, j'étais accoudé à une fenêtre, observant la montagne qui depuis un moment grondait beaucoup plus fort ; tout à coup, à la suite de deux détonations épouvantables, j'ai vu se former *du haut en bas de la montagne*, une fissure par où s'échappait avec un bruit effrayant *un immense jet de feu*. Je n'ai eu que le temps de m'enfuir à toutes jambes avec mon monde. Je n'ai pu aller bien loin. J'ai été, je ne sais comment, jeté par terre. Quand je me suis relevé, Saint-Pierre n'existait plus. A 25 mètres derrière moi gisaient les premiers cadavres. Je suis revenu sur mes pas, et je suis même descendu jusqu'aux Trois-Ponts, banlieue de Saint-Pierre. Il n'existait plus rien, ni un arbre ni l'apparence d'une construction. »

Ainsi, on mentionne pour la première fois l'apparition d'une fissure *du haut en bas de la montagne*, par où les gaz, sous une énorme pression, se sont échappés en jets plus ou moins horizontaux, balayant tout sur leur passage et entraînant cendres et pierres avec une vitesse vertigineuse, comme un cyclone embrasé, démantant les navires. Ainsi s'explique que M. Fernand Clerc ait pu échapper à la mort, à 25 mètres de cadavres fauchés par le jet de gaz, car il ne se trouvait probablement pas sur les passages directs de la trombe de feu, mais très près seulement de sa zone d'action.

Vu de la mer, le phénomène a dû être aussi net, et c'est en effet ce que raconte M. Georges-Marie Sainte, le second du capitaine de la goëlette *Gabrielle*, qui se trouvait en rade :

« A 7 h. 55, dit-il, un grondement formidable se fit entendre dans la montagne, *comme si une déchirure monstrueuse s'y opérait de la cime au pied*. Et alors on vit au milieu d'une fumée noire, impénétrable à l'œil, une masse gigantesque, informe, imprécise, qui vint s'abattre sur la vallée avec une rapidité vertigineuse, enfouissant sous les ruines, engloutissant dans sa tourmente Saint-Pierre tout entier. »

Vers 9 heures du matin, M. Marie Sainte, qui n'a dû la vie qu'à sa chute dans l'eau lors de la première commotion, peut distinguer nettement la Montagne Pelée réduite d'au moins 300 mètres, la crête déchiquetée, *les flancs largement crevassés*.

Il résulte de ces divers témoignages que la catastrophe de Saint-Pierre est due à la brusque ouverture d'une fissure voisine de Saint-Pierre ou d'un nouveau cratère plus voisin. Le volcan a pour ainsi dire éclaté sous la pression des gaz et s'est ouvert presque du haut en bas.

Mais lorsqu'une montagne s'entr'ouvre ainsi, les gaz qui s'échappent à des pressions formidables poussent d'abord devant eux les parois émiettées de la fissure ; d'abord les roches, les boues, les débris de toutes sortes, et c'est un déluge de matières de la surface immédiatement projetées en avant et suivies de matières enflammées et d'une formidable expansion gazeuse.

C'est alors que ces gaz, en grande partie composés d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré, peut-être même de carbures, brûlent ce qui n'a pas été enfoui sous les détritiques et asphyxient en un clin d'œil les êtres vivants épargnés.

Ainsi il y a trois phases dans l'ouverture de la crevasse presque classique du reste :

- 1° Projection des matériaux de la surface des parois de la crevasse ;
- 2° Arrivée des matières laviques portées au rouge, une sorte de crachement formidable dans une direction déterminée ;
- 3° Enfin, expansion des gaz chauds et délétères animés d'une vitesse inouïe et formant chalumeau plus ou moins horizontal ou incliné suivant la forme de la fissure.

On comprend que rien ne peut résister à de pareilles forces, devant lesquelles l'homme n'a qu'à s'incliner.

Il nous a paru intéressant de reconstituer, au point de vue scientifique, la catastrophe de Saint-Pierre, car, à mon grand étonnement, on s'est borné à des récits très vagues dans le monde technique et il nous a semblé cependant que le phénomène n'avait rien d'anormal.

C'est la création d'un nouveau cratère ou d'une fissure volcanique très près d'une grande ville qui a causé toute l'horreur de cette catastrophe dont le processus n'a rien que de très ordinaire.

FRANCIS LAUR.

(*Écho des Mines et de la Métallurgie*, 9-VI-1902.)

VICE-AMIRAL HUMANN. — La catastrophe de la Martinique : éruption du volcan de la Montagne Pelée.

Depuis notre dernière séance, une catastrophe sans précédent dans l'histoire de notre pays a fait saigner le cœur de la France, et provoqué chez tous les peuples civilisés une profonde émotion.

Vous connaissez les faits; ils datent d'hier.

Le 8 mai, au matin, après quelques phénomènes sismiques qui s'étaient manifestés au sommet et sur les deux versants de la Montagne Pelée, vers 8 heures, un torrent de feu et de pierres calcinées s'abattit sur la ville de Saint-Pierre (Martinique), ensevelissant, sous des décombres fumants, les neuf dixièmes de ses habitants. On estime à vingt-cinq mille environ le nombre des victimes, ce qui représente le sixième de la population totale de l'île.

Cet épouvantable cataclysme, qui sème la mort et la ruine au sein d'une de nos plus anciennes colonies, associée depuis trois siècles à la bonne comme à la mauvaise fortune de la mère patrie, laisse l'esprit humain confondu et annihilé en présence de l'immensité et, surtout, de la spontanéité de ce désastre, et l'on a peine à comprendre que la science ne puisse ni en diagnostiquer le retour ni, tout au moins, en atténuer les lugubres effets.

C'est sur ce point de vue spécial que je désire attirer plus particulièrement votre attention; car j'estime que, dans les conditions où s'est produit ce terrifiant phénomène, aucune responsabilité ne saurait être mise en cause, aucune prescience ni prudence humaine ne pouvaient conjurer l'effet des forces brutales de la nature.

La Martinique, comme toute la chaîne des Antilles, est de formation essentiellement volcanique; elle est traversée, dans le sens de son grand axe, c'est-à-dire du Sud-Est au Nord-Ouest, par une dorsale puissante, dont le mamelon le plus élevé — le morne Pelée — se trouve dans la partie septentrionale. Ce massif, qui atteint là une altitude d'environ 1.400 mètres, s'abaisse graduellement et ne forme plus que des collines de 500 mètres d'élévation à proximité de Fort-de-France. Puis il vient s'épanouir en s'affaissant progressivement jusqu'à la large plaine du Lamentin, une des régions les plus florissantes de l'île, pour se relever ensuite et s'épanouir à la pointe Sud de l'île.

Le relief du sol vu en travers ressemblerait à une selle de cavalier arabe aux pommeaux très accentués.

Par suite de cette constitution volcanique, l'île de la Martinique a été soumise de tout temps à des tremblements de terre; c'étaient, si je puis m'exprimer ainsi, des tremblements de terre simples, accompagnés parfois d'émissions de laves, d'expulsions de cendres généralement modérées; mais, de mémoire d'homme, on n'avait relevé à la Martinique aucune de ces grandes perturbations, parmi lesquelles on peut

citer celle qui bouleversa l'île de Krakatoa, dans le détroit de la Sonde, en 1883, ou, plus récemment, en 1895, le sinistre provoqué par un soulèvement sous-marin, donnant naissance à une lame de fond énorme qui a balayé la côte Est du Japon, dans les environs de Kamaichi, et fit périr trente mille indigènes.

Les phénomènes volcaniques observés à la Martinique se traduisaient par des mouvements sismiques du sol provoquant l'effondrement de quelques édifices, la ruine de certaines plantations, mais, en général, peu meurtrières pour les habitants.

On comprend donc que les populations vivaient sur les précédents et demeuraient dans une sécurité relative. Le quartier le plus important de la ville de Saint-Pierre, dénommé La Rivière, adossé aux mornes qui se relèvent en gradins jusqu'au piton de la Montagne Pelée, défendu qu'il était par une première ligne de mamelons de 70 mètres d'élévation, paraissait être à l'abri des effets directs d'une coulée volcanique, et le quartier dit Le Fort, quoique plus exposé que le précédent, demeurait bien au Sud de la ligne générale de direction des ravines qui, partant du sommet du piton, aboutissent à la mer par des pentes très raides et pouvaient servir de lit naturel à l'invasion des laves.

En 1873, alors que, commandant du *D'Estaing*, les hasards de la carrière me conduisirent à Fort-de-France, capitale de la Martinique, je me souviens avoir perçu, sur la promenade publique, la sensation très nette d'un mouvement d'oscillation du sol, et cela à deux reprises différentes dans le courant du mois d'avril. Mais cette manifestation était si insignifiante et habituelle qu'elle ne fit pas interrompre le jeu des enfants, pas plus qu'elle ne troubla le sommeil des nombreux portefaix nègres qui faisaient avec délices la sieste sous les ombrages de la Savane.

Plus de trois siècles et demi s'étaient écoulés depuis que le Mont Pelée se fût signalé par une éruption qui méritât d'être citée. La dernière fois que le volcan donna signe de vie, ce fut en 1851.

En définitive, ce fut dans les derniers jours d'avril et après cinquante années de repos, que les phénomènes spéciaux : bruits souterrains, émission de cendres, lumière caractéristique au sommet du morne, altération des eaux de source, appelèrent l'attention des habitants ; cependant l'impression première, reflétée par les lettres écrites alors, indique plus de surprise que de crainte, et l'éruption du Mont Pelée fut pendant quelques jours un prétexte à promenades et à distractions.

Le 3 mai, dans le ravin où prend naissance la rivière Blanche, une coulée de lave vint atteindre la factorerie Guérin, et il y eut mort d'hommes. Alors se produisit, je ne dirai pas une panique, mais tout au moins, dans le quartier du Fort l'exode de la population commença.

Les jours suivants furent marqués par la continuation des pluies de cendres, la formation de petits cratères situés à mi-côte dans la direction du morne Rouge, sans toutefois que ces différentes manifestations vinsent troubler la vie publique ni ralentir le courant des affaires.

Que se produisit-il soudainement dans la matinée du 8 ?

En fait, dans un intervalle que les rares survivants estiment ne pas avoir dépassé dix minutes, une sorte d'énorme ondulation atmosphérique incandescente, véritable nappe de feu accompagnée d'une détonation formidable s'abattit sur Saint-Pierre entre 7 heures et demie et 8 heures du matin, et, se propageant du Nord au Sud, se transmitt comme une trainée de poudre aux édifices, aux plantations, aux navires mêmes qui, par suite de la déclivité du sous-sol marin, sont obligés de se tenir bord à quai et de former corps en quelque sorte avec la ville ; toute cette agglomération ne fut plus qu'un gigantesque brasier. Un survivant du *Roddam* assimile le spectacle qu'il avait devant lui aux lueurs d'un immense bol de punch.

La soudaineté du fléau n'est pas la seule caractéristique de cet extraordinaire et terrifiant phénomène; non seulement la ville fut incendiée sur toute sa périphérie, comme le serait une pièce d'artifice, mais encore, à deux milles de là, dans une localité appelée le Carbet, et qui est séparée du ravin de Saint-Pierre par des contreforts que la lave et les matières incandescentes auraient difficilement pu franchir, habitants et animaux furent jetés par terre, la plupart demeurant comme foudroyés.

L'impression qu'ils éprouvèrent ressemble à celle que les marins connaissent bien lorsqu'un projectile de gros calibre passe à proximité; elle rappelle aussi celle que vous avez pu ressentir sur les quais d'une gare au passage d'un rapide qui semble vous entraîner par un phénomène de succion dans la direction de sa trajectoire.

Si maintenant nous passons à l'examen des traces laissées sur la plupart des cadavres découverts dès le début des recherches, voici ce que l'on constate. Presque tous gisaient la face contre terre, les poings crispés ramenés devant leur bouche et tamponnant leurs narines, comme s'ils avaient voulu préserver les voies respiratoires de l'influence délétère des gaz dont l'air était saturé.

En présence de ces faits si extraordinaires, en tenant compte surtout de la rapidité avec laquelle la flamme s'est propagée d'une extrémité de la ville à l'autre, suivant la ligne des moindres altitudes, le souvenir bien pénible d'une récente catastrophe revient à l'esprit. On ne peut nier qu'il n'existe une frappante coïncidence entre les détails qui viennent d'être relevés et la caractéristique de l'effroyable désastre qui, il y a trois ans, plongea la France entière dans la douleur: je veux parler du Bazar de la Charité.

L'embrasement foudroyant ne peut s'expliquer que par l'explosion d'une nappe gazeuse de lourde densité et surchauffée, contenant les principes des mélanges détonants et, dans le cas actuel, celui des milieux asphyxiants (oxyde de carbone, gaz sulfureux et hydrogènes carbonés). Il existe, enfin, une similitude complète entre les blessures constatées sur le corps de certaines victimes et celles que l'on relève dans les galeries de mines après les explosions de grisou. Les fissures de la montagne en communication avec le centre du foyer ont dû laisser filtrer ces gaz qui, par leur densité, se sont épanouis au ras du sol, et la combustion s'est produite dès que la température s'est élevée au contact des holidés incandescents vomis par la montagne.

Dans ces conditions, que pouvaient, soit la prévoyance administrative, soit les quelques précautions que l'on a reproché aux habitants de n'avoir pas prises? Nous sommes en présence d'une de ces révélations brutales des forces aveugles de la nature, devant lesquelles on ne peut que s'incliner en les subissant.

(LA GÉOGRAPHIE, *Bulletin de la Société de Géographie*, n° 6, 15 juin 1902.)

Missions et études scientifiques à la Martinique.

L'Académie des Sciences a envoyé à la Martinique une mission composée de M. A. Lacroix, professeur de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle de Paris, de M. Rollet de l'Isle, ingénieur hydrographe de la marine, et de M. J. Giraud, docteur ès sciences, à l'effet d'étudier les terribles phénomènes volcaniques dont la colonie française vient d'être le théâtre. Cette mission a quitté la France le 9 juin.

D'autre part, la *National Geographic Society* de Washington a envoyé également à la Martinique une mission comprenant le professeur Robert T. Hill, du *Geological Survey* des États-Unis, le professeur Israël C. Russell, de l'Université de Michigan, et

M. C. E. Borchgrevink, l'ancien chef de l'expédition antarctique de la *Southern Cross*. Cette mission, embarquée sur le *Dixie*, un des navires envoyés immédiatement par les États-Unis pour porter secours à la malheureuse colonie française, se trouve déjà sur les lieux. Enfin, on annonce le départ d'une seconde mission américaine composée des docteurs T. A. Jaggard, de l'Université Harvard, et E. O. Hovey, de l'*American Museum of Natural History* (1).

L'analyse d'échantillons de cendres provenant de l'éruption actuelle et de celle de 1851 a montré à M. A. Lacroix que la seule différence à signaler est la rareté de l'hornblende et la plus grande abondance de l'augite dans les seconds par rapport aux premiers (2). Les produits rejetés par la Montagne Pelée sont à rapprocher des andésites à hypersthène, notablement moins acides que celles de Santorin (1856) et du Krakatoa, en moyenne plus riches en alcalis, plus pauvres en alumine, en magnésie et en chaux. « Les cendres du cataclysme de 1902 consistent en fragments de verre et en minéraux cristallisés appartenant aux espèces suivantes : hypersthène, plagioclase et magnétite, avec quelques cristaux d'augite et accessoirement d'hornblende. » Le minéral noir opaque de la cendre entièrement altérable à l'aimant est une titanomagnétite.

D'après une note communiquée par le Dr Flett à la Société géologique de Londres du 28 mai, la cendre provenant de l'éruption de Saint-Vincent et recueillie à la Barbade a la même composition que celle rejetée par la Montagne Pelée (plagioclase allié à de la labradorite, hypersthène, augite et magnétite, d'après M. Flett). Les projections de la soufrière de Saint-Vincent doivent être rapportées également à des andésites à hypersthène. Suivant M. Prior, dans d'autres Antilles et au Mexique, on retrouve les mêmes produits volcaniques; donc, à son avis, les volcans des Indes occidentales doivent être en relations beaucoup plus étroites avec le bassin du Pacifique qu'avec celui de l'Atlantique (3).

CH. R.

(LA GÉOGRAPHIE, *Bulletin de la Société de Géographie*, n° 6, 15 juin 1902.)

Italie. — Nouvelles du Vésuve.

Le nouveau cône volcanique du Vésuve dont la formation commença au mois de septembre 1900 et dura jusqu'au mois d'avril 1901, a été examiné en détail par le professeur Semmola. Le cône a 40 mètres de haut, mais il est si raide qu'on peut avec peine en faire l'ascension; celle-ci est d'autant plus pénible que les parois extérieures sont recouvertes d'une épaisse couche de sable. L'intérieur du cône forme une ellipse irrégulière et se partage en deux parties dans le sens du grand axe. Dans la partie du Nord-Est, il s'est formé un cratère dont la profondeur ne paraît pas dépasser 25 mètres. Au fond se trouve l'ouverture d'éruption, qui dégage une forte colonne de vapeurs et de gaz. De l'autre côté du cône se trouve un fossé cratériforme déchiré par des crevasses, entouré de parois fumantes et séparé du cratère précédent par une espèce de mur. Les parois intérieures du cratère sont revêtues de cristaux de sels dans lesquels prédominent des teintes rouges et jaunes. La vapeur s'échappe de l'ouverture en nuages coniques qui, par un temps calme, se développent au-dessus du cratère en un beau panache d'une centaine de mètres de hauteur. Les émanations gazeuses con-

(1) *Science*, n° du 23 mai 1902.

(2) *Comp. rend. hebd. des séances de l'Académie des Sciences*, CXXXIV, n° 22, 2 juin 1902, Paris.

(3) *Nature*, 5 juin 1902, p. 130, Londres.

tiennent des acides et parfois de l'hydrogène sulfuré. La partie inférieure des parois du cône est chaude : à 50 centimètres de profondeur, la température était de 50° centigrades. La nuit, on n'aperçoit pas de lueurs, et Semmola en conclut que le foyer volcanique est actuellement à une profondeur considérable. Le caractère général du phénomène et en particulier l'absence complète d'explosions, de cendres et de bombes indiquent que l'activité du Vésuve est grande, mais qu'elle peut se produire sans manifestations violentes, parce que les canaux de dégagement ne sont pas bouchés.

(*Verhandl. der Gesells. für Erdk. zu Berlin*, n° 7, 1901,
traduit dans le *Bulletin de la Société royale belge
de Géographie*, 26^e année, 1902, n° 1, page 66.)

