

## SÉANCE SPÉCIALE POUR L'ÉTUDE DES SABLES BOULANTS DU 30 AVRIL 1901.

*Présidence de M. A. Rutot, président.*

La séance est ouverte à 8 h. 55.

### Correspondance :

M. *Petermann*, directeur de la Station agronomique de l'État à Gembloux, nous adresse, comme contribution à l'étude des sables, qui doit être la base de nos recherches scientifiques sur le « boulant », les renseignements suivants au sujet de la dénomination et de l'échelle de diamètres dont il se sert, depuis près de trente ans, pour caractériser les produits de la séparation des grains de sable, tels qu'on les obtient dans l'analyse mécanique des sols arables étudiés au point de vue agronomique.

MON CHER CONFRÈRE,

Le procès-verbal du 15 janvier 1901 m'apprend que notre Société a mis à l'étude la question des « sables boulangers ».

Permettez-moi, à propos du second alinéa du programme provisoire, — établissement d'une échelle des grosseurs des sables, — de vous signaler, à titre de renseignement, la dénomination et l'échelle de diamètres dont je me sers (1), depuis presque trente ans, pour caractériser

(1) *Recherches de chimie et de physiologie appliquées à l'agriculture*, t. III. Paris, Masson, et Bruxelles, Mayolez, p. 20, § 6; p. 21, § 8; p. 38, note 10; p. 41, note 14.

les produits de la séparation des grains de sables, tels qu'on les obtient dans l'analyse mécanique des sols arables, étudiés au point de vue agronomique. Voici la marche sommaire de cette analyse :

Résidu sur le tamis de 5<sup>mm</sup> d'ouverture des mailles : *cailloux et graviers*.  
 — 1<sup>mm</sup> — *débris minéraux*.

Le produit qui passe, dénommé « terre fine », est soumis à l'analyse physico-chimique d'après Schloesing et fournit le « sable » (sable quartzeux — sable silicaté) exempt de calcaire et d'argile. Ce sable est séparé par un tamisage en :

Résidu sur le tamis de 0<sup>mm</sup>,5 d'ouverture des mailles : *sable gros*.  
 — 0<sup>mm</sup>,2 — *sable fin*.  
 Ce qui passe. . . . . *sable poussiéreux*.

Pour cette séparation (le tamisage est accéléré beaucoup en travaillant les résidus des divers tamis avec un pinceau), on se sert, avec avantage, au laboratoire de la Station agronomique, du tamis de précision de Müller (constructeur Gerhardt, à Bonn), qui se compose de trois compartiments en cuivre et acier, emboîtés les uns dans les autres et fermés par un couvercle.

Le pouvoir absorbant (article 3 du programme provisoire) est déterminé de la manière suivante : remplir un cylindre en verre (1) de 20 à 25 centimètres de hauteur et 6 à 8 centimètres de diamètre, avec 800 à 1000 grammes de terre, en tassant par de légères secousses fréquemment répétées. L'ouverture du cylindre est étirée au bout inférieur et fermée au moyen d'un bouchon en caoutchouc troué, sur l'ouverture duquel on place une petite rondelle en toile, préalablement mouillée. Peser le cylindre avant et après introduction de la terre, plonger dans un vase d'eau distillée, de façon que le niveau extérieur de l'eau dépasse d'environ 2 centimètres le niveau intérieur de la terre. Rétablir ce niveau au fur et à mesure que l'eau s'élève. Maintenir le contact pendant cinq à six heures; après l'imbibition complète, retirer le cylindre, le couvrir pour éviter l'évaporation de la couche supérieure, laisser égoutter quelques heures, essuyer, peser.

(1) La détermination du pouvoir absorbant pour l'eau est beaucoup plus exacte lorsqu'on opère sur un volume de terre ayant de haut en bas la même section, cercle ou carré, que si l'on expérimente sur un cône, comme cela se fait habituellement en employant un entonnoir.

Replonger le cylindre dans l'eau, etc.; faire une seconde pesée pour s'assurer s'il n'y a plus eu d'absorption.

Le poids de la terre et celui de l'eau retenue étant ainsi connus, on peut établir, en pour cent, le pouvoir absorbant pour l'eau, en tenant compte naturellement de l'eau que la terre séchée à l'air contenait primitivement, c'est-à-dire avant l'expérience d'imbibition.

Pour terminer, je me mets bien volontiers à la disposition de ceux de mes confrères qui, ne disposant pas de laboratoire, voudraient voir exécuter quelques déterminations de la quantité d'eau que les sables boullants peuvent retenir. Rigoureusement exécutées d'après la même méthode et avec le même matériel, ces déterminations fourniraient des chiffres absolument comparables.

Croyez, mon cher Confrère, à mes sentiments bien dévoués.

D<sup>r</sup> A. PETERMANN.

L'Assemblée, après l'audition de cette lettre, vote des remerciements à M. le D<sup>r</sup> Petermann pour l'offre précieuse et si obligeante qui termine son intéressante lettre.

M. Van Meurs nous annonce la prochaine publication, dans les *Annales des travaux publics de Belgique*, d'un travail de M. Denil sur les SABLES BOULLANTS DU CANAL DU CENTRE, A HOUDENG. M. Cornet, qui s'est occupé du côté géologique et minéralogique de cette question, a été prié de rédiger une note sur ce sujet.

M. le commandant Cuvelier signale à notre attention une très belle étude faite par M. Feret, ancien élève de l'École polytechnique de France, chef du Laboratoire des ponts et chaussées de Boulogne-sur-Mer, sur la COMPACITÉ DES MORTIERS HYDRAULIQUES, laquelle rencontre tout naturellement une partie relative aux sables, et exposant une méthode de représentation graphique pouvant parfaitement s'appliquer à nos études sur le boullant. M. Cuvelier joint à sa lettre une *Notice* résumant les travaux de M. Feret sur ce sujet.

M. Habets, à l'occasion du projet de session annuelle extraordinaire dans les gisements métallifères du Harz, nous informe que l'organisation de cette excursion nécessitera des démarches diplomatiques, des demandes d'autorisation de visite, qui nécessairement prendront du temps. D'autres circonstances encore, telles que le grand nombre des excursionnistes déjà inscrits pour cette année, ne permettent pas de pouvoir assurer la réussite du projet qu'avait formulé la Société.

Le Conseil de celle-ci, consulté à ce sujet, a décidé de renoncer à

cette excursion et propose d'organiser la Session extraordinaire dans le nord de la France, sous la conduite de M. le professeur *J. Gosselet*.

Ce vœu sera transmis à notre éminent confrère, qui l'accueillera sans doute avec son obligeance et avec son dévouement habituels.

*M. Cornet* nous signale le coup de grisou du charbonnage du *Grand-Buisson*, suivant de près les tremblements de terre de Rome, Lisbonne, Jersey, etc.

*M. Verstraeten*, en s'excusant de ne pouvoir assister à la séance, est heureux de voir, dans les exposés publiés dans nos Procès-Verbaux sur le « boulant », la confirmation de ce qu'il a dit dans son petit *Essai de terminologie hydrologique*, dont la reproduction dans le *Bulletin* pourrait être de quelque utilité.

*M. Kemna* a reçu une lettre de *M. Th. Verstraeten*, exprimant sa satisfaction de voir confirmer, par les ingénieurs américains, des vues exprimées par lui il y a déjà une vingtaine d'années et, plus récemment, au Congrès d'hydrologie médicale de Liège, en 1898. *M. Verstraeten* serait très désireux d'assister aux séances du boulant, mais a toujours été retenu par ses occupations; tel est encore une fois le cas pour la séance d'aujourd'hui.

La communication de *M. Verstraeten* au Congrès de Liège a pour titre : « Essai de terminologie hydrologique ». Le chapitre II : *Ruissellement, filtration*, donne un calcul de la porosité d'une couche théorique, analogue au calcul de *M. Van Aubel*. Il y a ensuite la discussion des formules du passage de l'eau à travers des masses de sable, la distinction du vide en section et du vide en volume, résultant des dimensions des grains. Sur toutes ces questions, le travail de *M. Verstraeten* et la note récente, publiée dans nos Procès-Verbaux du « boulant », sur la Géométrie des couches de sable se rencontrent en parfait accord.

Si le travail de *M. Verstraeten* n'a pas été cité, c'est que *M. Kemna* n'a pas fait la bibliographie de la question et n'avait d'autre but que de fournir un exposé théorique sommaire pour amorcer la discussion. En outre, il a cru que le travail de *M. Verstraeten* était consacré à des questions de terminologie d'un intérêt assez secondaire; trompé par le titre, il n'a pas donné, à l'époque de la publication, à ce travail toute l'importance qu'il mérite.

La Société a reçu la douloureuse nouvelle du décès de notre sympathique et regretté collègue, *M. Jules Van Ysendyck*, architecte, membre

de l'Académie royale de Belgique, décédé à Saint-Gilles le 18 mars écoulé. — Des condoléances seront adressées à la famille.

M. le *Secrétaire général* dépose sur le bureau le fascicule V et dernier du tome XI du *Bulletin* (1897) ainsi qu'un tiré à part extrait de celui-ci et représentant son travail assez étendu, qui a quelque peu retardé l'apparition du fascicule. Ce travail est intitulé : *Le dossier hydrologique du régime aquifère en terrains calcaires et le rôle de la Géologie dans les recherches et études des travaux d'eaux alimentaires* (177 pages, 12 figures).

A propos de ce travail, qui s'étend assez longuement sur l'hydrologie des calcaires de Tournai (1), il signale la nécessité d'attirer l'attention de l'administration communale de la ville de Tournai sur le projet de distribution d'eau, dû à M. Delwaert, lequel vient d'être adopté par le conseil communal de cette ville. Ce projet consiste dans l'alimentation de la ville de Tournai en eau potable prise dans le calcaire carbonifère. Cependant les analyses bactérioscopiques de notre collègue Herman, directeur de l'Institut bactériologique du Hainaut, ont clairement démontré le danger éventuel que pourrait offrir l'utilisation de ces eaux pour l'alimentation. La ville de Tournai elle-même a distribué une brochure (2) faisant très franchement connaître, parmi les éléments fournis par les analyses de M. Herman, certaines données paraissant peu favorables, pour ne pas dire plus. On ne s'explique pas, dans ces conditions, que l'édilité tournaisienne ait voté le projet Delwaert sans avoir, au préalable, fait appel à une nouvelle enquête scientifique et, notamment, sans faire appel aux lumières de la Géologie, dont le rôle, dans ces questions, est tout indiqué.

M. *Delecourt-Wincqz* estime que si la Société a pour devoir de s'inquiéter de tout ce qui a rapport à la science, elle doit cependant borner son action aux conseils scientifiques qui pourraient lui être demandés. D'après lui, comme Société, elle n'a pas d'initiative à prendre pour recommander ou critiquer.

Il s'attache surtout à démontrer les difficultés qui peuvent surgir de l'initiative d'une société comme la nôtre dans une question qui revêt,

(1) Voir notamment, dans le chapitre de cet exposé intitulé : *Hydrologie des terrains rocheux calcaires*, les pages 410 à 423, spécialement relatives à la région de Tournai, et, dans la NOTE ADDITIONNELLE N° 3, le chapitre : *Notes complémentaires sur l'hydrologie des calcaires horizontaux de Tournai* (pp. 511-517). Voir enfin, comme application de ce qui précède, les *Conclusions* (pp. 528-542).

(2) Ville de Tournai. *Distribution d'eau*. Documents publiés en exécution de la résolution du conseil communal du 16 novembre 1900. Tournai, Van Gheluwe-Coomans, 1900, brochure in-8° de 29 pages.

à côté du point scientifique, un caractère d'entreprise, d'affaires en quelque sorte, dans lesquelles la Société belge de Géologie ne peut évidemment s'immiscer. Le rôle purement consultatif de celle-ci doit se restreindre exclusivement aux conseils à donner lorsqu'ils nous sont demandés en tant que Société, et c'est dans cette voie que celle-ci pourrait rendre des services considérables au pays.

M. *Van den Broeck* n'entend nullement engager la Société. Ayant appris qu'à Tournai on a proposé d'utiliser des eaux dont il a, dans le travail qu'il vient de consacrer à l'hydrologie des calcaires, montré les dangers tout au moins éventuels ou possibles et dont, en tout cas, il a fait ressortir l'origine suspecte, il se borne à exprimer un désir formel : c'est que les considérations d'ordre géologique et partant scientifique, que, d'accord avec divers spécialistes d'ailleurs, il a fait valoir, au sujet du régime hydrologique de la région de Tournai, soient dûment étudiées par les intéressés. Il lui paraît hautement désirable qu'il en soit fait ainsi avant qu'une décision quelconque, pouvant nuire aux intérêts hygiéniques des populations, soit définitivement prise. Il n'a nullement envisagé le côté affaire ou entreprise, qui lui est absolument indifférent ou étranger. Il reconnaît d'ailleurs, avec M. *Delecourt-Wincqz*, n'avoir nullement à faire intervenir la Société, qu'il s'est borné à avertir de son intention, comme auteur du travail précité, de faire connaître aux intéressés les dangers que présente un projet d'alimentation d'eau basé sur des puits creusés dans les calcaires, projet dont l'élaboration ne paraît pas avoir été accompagnée d'une enquête scientifique suffisante et approfondie, spécialement au point de vue géologique.

### Communications des membres :

M. le capitaine *Rabozée*, en l'absence du commandant *E. Cuvelier*, résume en séance le travail ci-contre.

## QUELQUES MOTS

A PROPOS DE

## L'ÉTUDE SCIENTIFIQUE DU « BOULANT »

PAR

E. CUVELIER

Capitaine commandant du Génie,  
Professeur à l'École militaire.

## I. — PRÉLIMINAIRES.

1. Comme on le sait, l'*Étude scientifique* du sable a été faite à bien des points de vue. Nous nous proposons, dans cette courte note, d'attirer l'attention sur des travaux récents concernant l'étude du sable considéré comme élément constitutif du mortier; il est vraisemblable que les diverses idées que nous allons rencontrer pourront aider quelque peu dans la question si complexe du « boulant », et même guider dans la résolution de certains problèmes de géologie appliquée.

2. En 1892 a paru, dans les « Annales des ponts et chaussées de France », un très important travail de M. Feret, sur la *Compacité des mortiers hydrauliques* (1). Avant de faire connaître la méthode suivie par M. Feret, il nous paraît utile d'indiquer brièvement quelques conclusions *pratiques* auxquelles il est arrivé et qui montreront clairement que sa façon de procéder peut être utilisée dans des recherches géologiques et hydrologiques et *non seulement* dans l'art de l'ingénieur proprement dit. Ainsi M. Feret, ayant étudié la *filtration de l'eau à travers les mortiers* (2), a trouvé :

1° De tous les mortiers de même *composition granulométrique* (voir

(1) R. FERET, ancien élève de l'École polytechnique, chef du laboratoire des ponts et chaussées de Boulogne-sur-Mer, *Sur la compacité des mortiers hydrauliques*. (ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES DE FRANCE, juillet 1892.)

(2) Une fois qu'ils ont durci, les mortiers peuvent, en somme, être considérés comme de véritables *roches cohérentes*.

n° 10 ce qu'il faut entendre par là), les plus perméables sont ceux qui contiennent le moins de ciment;

2° De tous les mortiers de même richesse en ciment, mais de composition granulométrique variable, ceux qui contiennent très peu de grains fins sont de beaucoup les plus perméables. Ils le sont d'ailleurs d'autant plus que, à *égale proportion* de grains *fins* (sable fin, plus ciment), les grains gros prédominent plus par rapport aux grains moyens. Le minimum de perméabilité a lieu pour les mortiers dans lesquels la proportion de grains moyens étant faible, celles des grains gros et des grains fins sont à peu près égales entre elles;

3° La décomposition produite par le passage continu de l'eau de mer à travers des mortiers de même dosage (en poids), mais de compositions granulométriques variables, est d'autant plus rapide et plus énergique que le sable contient plus de grains fins.

3. Les études de M. Feret ont été précédées, notamment, de celles de M. l'ingénieur Alexandre (1), qui a prouvé, entre autres choses concernant les mortiers :

1° Que si la *perméabilité* (2) *diminue* quand le dosage en ciment augmente, la *porosité* (3) *augmente* quand le sable est plus fin;

2° Que la perméabilité augmente avec la grosseur des grains de sable;

3° Que la porosité est d'autant plus forte que le sable est plus fin;

4° Que la perméabilité des mortiers soumis à une filtration *continue* d'eau douce ou d'eau de mer *diminue* rapidement avec le temps (4).

4. Pour terminer ces préliminaires, nous présenterons une observation faite par M. Feret sur l'influence de l'*humidité des sables* : Une des principales causes pouvant occasionner des écarts dans le dosage des mortiers, dit-il, consiste en ce que le tassement du sable dans les jauges

(1) *Annales des ponts et chaussées de France*, septembre 1900.

(2) Ou propriété de se laisser traverser par l'eau : elle est mise en évidence par la quantité d'eau qui peut traverser une épaisseur donnée de mortier par unité de surface pendant un temps donné, sous une pression donnée. La perméabilité dépend moins du volume total des vides que de leurs dimensions individuelles.

(3) Ou propriété qu'ont les mortiers ayant durci de présenter des vides ; elle est mise en évidence par la quantité d'eau absorbée. A égalité de dosage, les mortiers de sables fins sont les plus poreux et les moins perméables ; les mortiers de sables gros sont, au contraire, les moins poreux et les plus perméables.

(4) Il convient de réserver le cas où surviendraient dans le mortier soumis à la filtration certaines modifications importantes, telles qu'un commencement de désagrégation ou des fissures : on aperçoit ici l'application au régime hydrologique des roches.



est extrêmement variable suivant le degré d'humidité de cette matière. L'humidité a pour effet, tant qu'elle ne dépasse pas une certaine limite, de s'opposer au glissement des grains les uns sur les autres et par suite au tassement du sable (2).

(2) Ainsi, voici quelques résultats obtenus par M. Feret :

Proportion d'eau, en kilogrammes, mouillant 100 kilogrammes de sable sec . . .	0	0,5	1	2	3	5	10
Perte de poids subie après séchage, en grammes, par kilogr. de sable humide.	0	5	9,9	19,6	29,1	47,6	90,8
<b>SABLE DE DUNES (BOULOGNE)</b>							
Poids de 1 mètre cube de sable humide (en kilogrammes) . . . . .	1458	1340	1238	1213	1209	1208	1266
Poids de sable sec contenu dans 1 mètre cube de sable humide (en kilogrammes)	1458	1304	1226	1189	1174	1151	1149
<b>SABLE RAMASSÉ SUR LA CÔTE (BOULOGNE)</b>							
Poids de 1 mètre cube de sable humide (en kilogrammes) . . . . .	1514	1463	1442	1260	1221	1229	1305
Poids de sable sec contenu dans 1 mètre cube de sable humide (en kilogrammes)	1514	1456	1398	1235	1185	1171	1187

On voit qu'une très faible proportion d'eau suffit pour abaisser énormément le poids du sable sec entrant dans 1 mètre cube de sable humide. Par exemple, pour 2 % d'eau, ce poids est inférieur d'environ 20 % à celui du même sable mesuré sec :  $1458 - 1213 = 245$ , soit donc une perte d'environ un cinquième. D'ailleurs, quand le degré d'humidité augmente, le poids tend à devenir constant et même à remonter légèrement. La figure 1, traduction graphique d'une partie du tableau ci-dessus, montre clairement l'influence de l'humidité du sable de dunes sur son tassement.

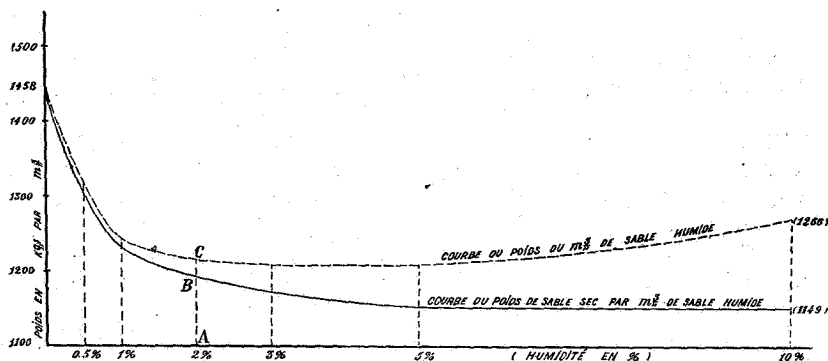


FIG. 1. — Influence de l'humidité du sable de dunes sur le tassement de ce sable, d'après M. Feret.

Exemples : Pour 2 % d'eau (point A), le poids de 1 mètre cube de sable humide est de 1213 kilogr. (point C) et le poids de sable sec contenu dans 1 mètre cube de sable humide est de 1189 kilogr. (point B); le sable complètement sec pèse 1458 kilogr. Pour 10 % d'eau, les poids sont de 1266 et de 1149 kilogr. On remarquera qu'il semble se produire une sorte de jarret brusque à partir du point 1 %.

Cette loi cesse d'être exacte quand la proportion d'eau dépasse une certaine limite, laquelle est d'autant plus élevée que le sable contient une plus forte proportion de grains fins. Dans ce cas, le tassement augmente avec la quantité d'eau et peut devenir supérieur à celui du sable sec. C'est ainsi qu'un des moyens employés dans la pratique pour accélérer le tassement de remblais en sable consiste à les arroser à grande eau.

## II. — COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE DES SABLES (1).

5. Les sables que l'on rencontre dans la nature — sables *naturels* — sont composés d'un ensemble de grains dont les dimensions varient dans la plupart des cas entre des limites très écartées.

6. En ce qui concerne la fabrication des mortiers, on définit le sable proprement dit comme une réunion de grains passant au tamis dont les mailles sont des carrés mesurant 4 millimètres de côté (2).

7. Dans un sable *théorique*, formé de grains sphériques ayant tous le même diamètre, le volume des vides est indépendant de la grosseur du sable; si l'on suppose un pareil sable formé de grains *incompressibles* et arrivé à son maximum de tassement (chaque sphère tangente à douze autres), il est facile de calculer (3) que le rapport du volume plein réel au volume *apparent* du sable est, quel que soit le diamètre des sphères, égal à :

$$\frac{\pi\sqrt{2}}{6},$$

ce qui correspond à environ 26 % de vides : ceci peut donc servir à mesurer le maximum d'eau que le sable contiendra éventuellement (4).

(1) Les notes qui suivent sont extraites, en grande partie, comme les précédentes, des *Annales des ponts et chaussées de France* et sont à peu près la reproduction de ce que nous enseignons dans le cours de construction de l'École d'application de l'artillerie et du génie.

(2) C'est le tamis connu sous le nom de tamis numéro 6 du commerce, dont les fils ont sensiblement 1 millimètre de diamètre : on l'appelle le tamis de quatre mailles par centimètre carré ou, plus simplement, le *tamis à quatre mailles*.

(3) *Annales des ponts et chaussées de France*, 1892, 2<sup>e</sup> semestre, p. 13. Voir, pour plus de détails, les notes de MM. KEMNA et VAN AUBEL : *Étude scientifique du boulangé à la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*; Procès-Verbal de la séance du 5 mars 1901. Voir aussi : VERSTRAETEN, 1897, *Essai de terminologie hydrologique*.

(4) Il n'est peut-être pas inutile, à ce sujet, de faire connaître comment on peut procéder pour définir le *vide* du sable. Prenons un récipient cylindrique ABCD de volume connu S (fig. 2); remplissons-le de sable *sec* (et il faut définir comment se fait ce

8. Si à un pareil sable *idéal* on ajoute des grains de dimensions un peu différentes, l'expérience montre, et cela s'explique aisément, que son *volume plein réel* tend, dans une certaine mesure, à augmenter en même temps que l'écart existant entre les dimensions des grains extrêmes.

9. On conçoit, d'après ce qui précède, que les *volumes des vides* des divers sables *calibrés*, que l'on emploie généralement dans les expériences, doivent être sensiblement égaux et ne présenter entre eux d'autres écarts que ceux qui peuvent résulter du plus ou moins de différence existant entre les dimensions des mailles du tamis ayant servi à préparer chacun de ces sables : d'où des conclusions fort différentes, suivant les expérimentateurs.

10. Afin de *réglementer*, en quelque sorte, les expériences, M. Feret propose de définir les sables (dans les laboratoires) par trois grosseurs de grains :

G = sable gros;  
M = sable moyen;  
F = sable fin.

Ces sables sont caractérisés par le tableau suivant :

NATURE DU SABLE	PASSE AU TAMIS DE :	EST REFUSÉ PAR LE TAMIS DE :
G	4 mailles par centim. carré	36 mailles par centim. carré.
M	36	324
F	324	—

D'où l'expression : *composition granulométrique* d'un sable (1).

remplissage afin que l'on opère toujours de la même manière), puis versons de l'eau à l'aide d'une éprouvette *graduée*; on constate que le sable *foisonne* d'abord un peu, puis qu'il se tasse et arrive à un niveau *ad*. Soient :

*E* le volume *total* d'eau versée; *e* le volume d'eau au-dessus de *ad* et jusque *AD*; *S* le volume primitif du sable sec (*ABCD*).

Cela étant, on peut dire :

1° *E* est le *vide total* du sable sec de volume *S*;

2° Le rapport :  $V = \frac{E}{S}$  est le *vide par unité de volume*; c'est ce que l'on appelle le *vide du sable sec*;

3° Le *vide absolu* du sable (*vide du sable tassé*) peut se mesurer, par unité de volume, par le rapport :  $v = \frac{E - e}{S - e}$ .

(1) Aux *toiles* des tamis, M. Feret substitue maintenant des *feuilles minces de cuivre* percées de trous circulaires de diamètres définis en millimètres :

G passe à 5mm; reste sur 2mm;  
M — 2mm; — 0mm,50;  
F — 0mm,50.

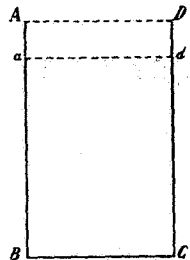


FIG. 2.

### III. — REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE LA COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE D'UN SABLE.

11. Soient  $g, m, f$  les poids de trois sables G, M, F contenus dans l'UNITÉ DE POIDS d'un mélange sableux quelconque; on peut donc écrire :

$$g + m + f = 1.$$

Nous représenterons ce mélange par un point de l'espace, ayant pour coordonnées, par rapport à un système de trois axes rectangulaires :

$$\begin{cases} x = g, \\ y = m, \\ z = f. \end{cases}$$

De cette façon, tout sable pourra être représenté par un point de l'espace et, réciproquement, à un point de l'espace ne pourra répondre qu'un seul sable.

12. A présent, soient  $n$  sables ayant respectivement pour composition granulométrique, sous l'unité de poids :

$$\begin{cases} g_1, m_1, f_1 \\ g_2, m_2, f_2 \\ g_3, m_3, f_3 \\ \vdots \\ g_n, m_n, f_n \end{cases}$$

ce qui revient à écrire, d'après nos conventions (11) :

$$\begin{cases} g_1 + m_1 + f_1 = 1 \\ g_2 + m_2 + f_2 = 1 \\ \vdots \\ g_n + m_n + f_n = 1. \end{cases}$$

Mélangions ces sables en prenant des poids  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$  de chacun d'eux. Le poids de sable G contenu dans le mélange sera évidemment :

$$\alpha_1 g_1 + \alpha_2 g_2 + \dots + \alpha_n g_n.$$

Les poids de M et F seront :

$$\begin{aligned} & \alpha_1 m_1 + \alpha_2 m_2 + \dots + \alpha_n m_n \\ & \alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \dots + \alpha_n f_n. \end{aligned}$$

Et, par suite de notre *définition* (11), la composition granulométrique du mélange sera :

$$\begin{aligned} g &= \frac{\alpha_1 g_1 + \alpha_2 g_2 + \dots + \alpha_n g_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}, \\ m &= \frac{\alpha_1 m_1 + \alpha_2 m_2 + \dots + \alpha_n m_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}, \\ f &= \frac{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2 + \dots + \alpha_n f_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}, \end{aligned}$$

ce que l'on peut écrire, en employant la notation symbolique connue  $\Sigma$  et en représentant les quantités  $g$ ,  $m$ ,  $f$ , par  $x_p$ ,  $y_p$ ,  $z_p$  :

$$I \left\{ \begin{aligned} g &= x_p = \frac{\Sigma \alpha_p g_p}{\Sigma \alpha_p}, \\ m &= y_p = \frac{\Sigma \alpha_p m_p}{\Sigma \alpha_p}, \\ f &= z_p = \frac{\Sigma \alpha_p f_p}{\Sigma \alpha_p}; \end{aligned} \right.$$

$x_p$ ,  $y_p$ ,  $z_p$  sont les coordonnées du point représentatif du sable provenant du mélange.

On observera d'ailleurs que les formules I montrent que le point représentatif du mélange est le centre de gravité d'un système de poids appliqués aux points représentatifs des divers sables composants, poids égaux à :

$$\frac{\alpha_1}{\Sigma \alpha_p}, \quad \frac{\alpha_2}{\Sigma \alpha_p}, \quad \dots, \quad \frac{\alpha_n}{\Sigma \alpha_n},$$

c'est-à-dire aux poids de chacun des sables composants entrant dans l'unité de poids du mélange.

### 13. La relation

$$g + m + f = 1$$

peut s'écrire :

$$x + y + z = 1.$$

C'est l'équation d'un plan incliné sur les trois axes et les coupant à la

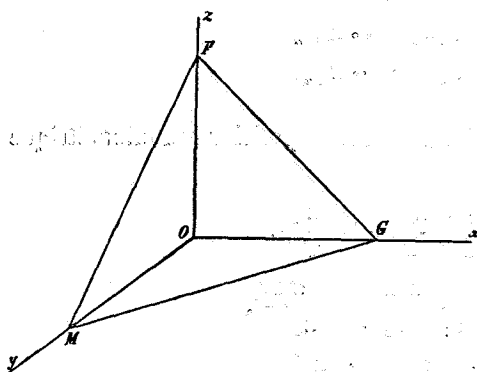


FIG. 3.

distance 1 de l'origine : les points représentatifs de tous les sables se trouvent dans ce plan ; donc, comme aucune coordonnée ne peut être négative, tous les points représentatifs des sables sont à l'intérieur ou sur les côtés du triangle équilatéral GMF (fig. 3) ayant pour sommets les points représentatifs des sables purs G, M, F (1).

14. Prenons GMF comme plan du papier (fig. 4), et, dès lors, dans le triangle équilatéral GMF, dont les sommets correspondent aux sables divisionnaires purs G, M, F, un sable quelconque, de composition granulométrique quelconque,  $g, m, f$ , sera représenté par un point qui sera le centre de gravité d'un système de trois poids appliqués aux sommets du triangle GMF et respectivement égaux aux proportions  $g, m$  et  $f$  du mélange.

15. En résumé, un sable quelconque sera représenté par un point du triangle GMF et par un seul, et, réciproquement, à un point pris à l'intérieur ou sur les côtés du triangle GMF correspondra une composition granulométrique de sable et une seule.

16. M. Feret ramène tous ses sables à soixante-six types, dont la représentation est obtenue en subdivisant chaque côté du triangle GMF

(1) M. le lieutenant du génie Michelet, répétiteur à l'École militaire, nous a fait observer que l'on pourrait représenter un sable par un point, en employant deux axes de coordonnées rectangulaires seulement, car on a :

$$x + y + z = 1;$$

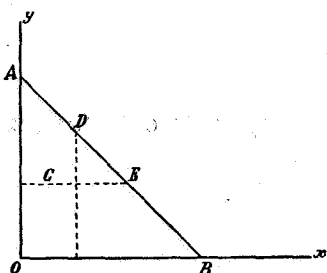


FIG. 5.

$x = 0,3$ ;  $y = 0,4$ . Il en résultera :  $z = CD = CE = 0,3$ . Il va de soi que  $OA = OB = 1$ .

donc la coordonnée  $z$ , par exemple, est connue dès que l'on se donne  $x$  et  $y$ . Par conséquent, on pourrait considérer tous les sables comme ayant leurs points représentatifs à l'intérieur ou sur les côtés du triangle rectangle isocèle OAB, comme on s'en assure facilement, la valeur  $z$  ( $f$ ) étant comptée entre le point et l'hypoténuse AB (fig. 5). Ainsi soit un point C (\*) pour lequel

(\*) La lettre C aurait dû être placée, dans la figure 5, à l'intersection des deux droites CD et CE.

en dix parties égales, comme le montre la *figure 4*, et il part de là pour chercher un grand nombre de propriétés des mortiers (1). Nous donnons une idée de la manière dont il procède par la citation suivante :

« Supposons qu'il s'agisse de rechercher comment varie, suivant la

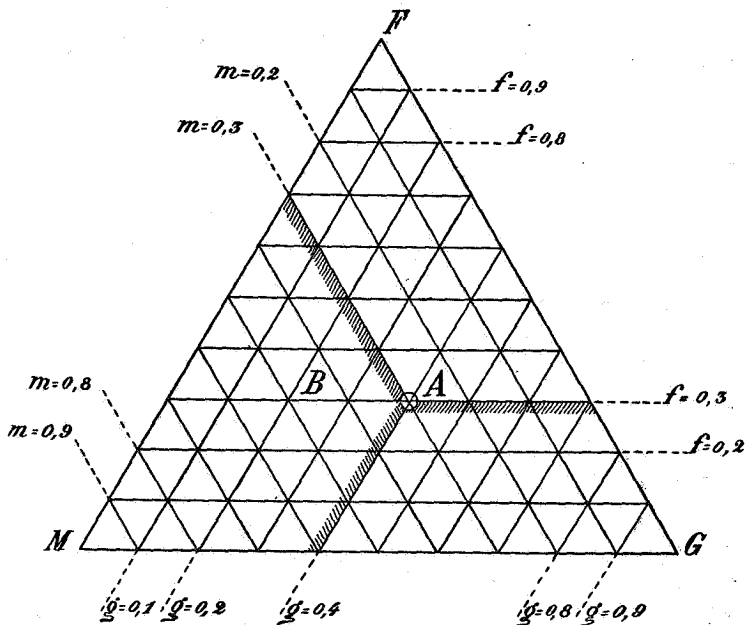


FIG. 4. — Mode de représentation graphique des sables, d'après M. Feret (2).

(1) On voit que le point A, par exemple, répond à la *composition granulométrique* :

$$g = 0,4$$

$$m = 0,3$$

$$f = 0,3.$$

D'où :

$$g + m + f = 1.$$

Pour un point quelconque B, il suffit d'*interpoler* (fig. 4).

La droite MF est le *lieu géométrique* des sables ne contenant pas de grains G ; une droite parallèle à MF et coupant MG au dixième de sa longueur comptée à partir de M sera le lieu des sables contenant un dixième de leur poids de sable G ; telle est la droite :

$$g = 0,1.$$

Pour se rappeler comment il faut procéder, nous dirons :

G (ou *g*) sur les parallèles à MF ;

M (ou *m*) sur les parallèles à FG ;

F (ou *f*) sur les parallèles à GM.

(2) Le *point*, représentatif d'une composition granulométrique donnée, qui devait accompagner la lettre B, n'est pas sorti, dans le cliché, à côté de celle-ci.

composition granulométrique du sable, UNE *propriété quelconque* de mortiers dont toutes les autres conditions de fabrication sont identiques...

« Nous déterminerons directement cette propriété (1) pour un certain nombre de mélanges GMF distincts, par exemple pour les soixante-six types qui viennent d'être définis; puis inscrivant les nombres obtenus à côté des points représentatifs des sables correspondants, nous les considérerons comme les cotes de points de l'espace reliés entre eux par une surface continue, dont la forme caractérisera la loi cherchée.

» Grâce à cette introduction de l'idée de *continuité* dans les résultats obtenus, nous pourrions induire, d'un nombre *fini* d'essais, les propriétés du nombre *infini* des compositions granulométriques possibles, quitte à multiplier un peu plus les expériences pour la région où la surface subit des variations intéressantes et à en restreindre au contraire le nombre dans les parties du triangle où nous aurons reconnu que l'allure de la surface varie d'une manière lente et régulière.

» Cette même continuité nous permettra en même temps de corriger les erreurs commises dans les expériences relatives à chaque sable au moyen des résultats obtenus pour les sables voisins, en un mot de déterminer une *surface topographique régulière* passant le plus près possible des divers points de l'espace résultant directement des expériences.

» Nous représenterons alors cette surface par la projection orthogonale sur le plan du triangle des lignes de niveau obtenues en la coupant par une série de plans horizontaux équidistants, lignes dont chacune sera en projection le lieu des points représentatifs de tous les sables jouissant à un même degré de la propriété étudiée. »

**17.** Afin de ne rien laisser dans l'ombre et pour épuiser le sujet spécial qui nous occupe, nous terminerons cet aperçu par quelques extraits de la note présentée par M. Feret sur les *Essais des sables* (2) à la Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction :

a) On ne possède actuellement que très peu de données sur le rôle joué par les différentes espèces minéralogiques dans les mortiers. Tout au plus, pour certains mortiers à sable granitique, a-t-on cru, dans

(1) M. Feret prend comme exemple (dans cette citation) les variations du volume total des mortiers qu'on obtient en gâchant à bonne *consistance plastique* des mélanges de 500 kilogrammes d'un même ciment et de 1 mètre cube de sables de même nature, mais de compositions granulométriques variables.

(2) Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction (France).



quelques cas spéciaux, pouvoir attribuer à la décomposition du sable en ses éléments la mauvaise tenue des ouvrages;

b) On évite avec raison l'emploi de sables vaseux dont les grains sont recouverts d'une pellicule argileuse qui doit nuire à l'adhérence;

c) Les sables *calcaires* donnent des mortiers *plus* résistants que les autres;

d) Il serait utile qu'on indiquât aussi exactement que possible la nature minéralogique des sables employés sur les chantiers.

18. Le présent exposé ne serait pas complet (1), nous semble-t-il, si nous ne signalions, pour finir, une étude faite par M. le professeur Gosselet (2) sur la *structure minéralogique* des ciments :

« Les pierres à ciment *cuites* ne sont pas, comme on le croit souvent, des roches vitrifiées ou à demi vitrifiées. Elles sont complètement cristallisées.

» Elles sont composées de trois minéraux, que M. Tornehöhm a reconnus et nommés, bien que leur composition chimique ne soit pas encore connue : l'*alite*, minéral transparent, incolore, anisotrope, mais très peu dichroïque; il est à l'état de grains cristallins juxtaposés et c'est lui qui constitue la pâte de la pierre;

» La *bélite*, minéral jaune, translucide, également anisotrope, très dichroïque; il prend, sous les *nicols* croisés, une belle couleur jaune d'or. La *bélite* se montre souvent sous forme de petits globules ovoïdes dont la surface est striée. Les globules de la *bélite* sont généralement groupés en amas autour des cavités du ciment ou autour des ramifications du minéral suivant;

» La *céélite*, corps opaque noir, se présentant en forme de grains très irréguliers et de rameaux très irréguliers (3). »

(1) Parce que nous poursuivons depuis longtemps la *Défense* — qu'on nous pardonne le terme — de la Géologie dans ses *applications directes* à l'art de l'ingénieur et qu'il est remarquable de voir un géologue de renom s'occuper ainsi d'une question de *construction*.

(2) *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XXIX, juillet 1900.

(3) M. Gosselet étudie sommairement le ciment proprement dit, les *incuits* et les *surcuits* (ou *biscuits*), et fait remarquer l'importance de l'étude *microscopique* des ciments. (Excursion de la *Société géologique du Nord* à ARQUES et à LUMBRES, le 27 mai 1900.)

**M. KEMNA** fait la communication suivante sur **les sables bouillants de Brûx, en Bohême** (1).

Dans la soirée du 19 juillet 1895, vers 10 heures, il se produisit des mouvements du sol à Brûx, en Bohême; comme on perçut en même temps un bruissement rappelant celui d'une eau courante, on crut d'abord à une rupture de la canalisation. Mais bientôt il se produisit des effondrements entraînant des maisons, et l'étendue de la zone affectée (6 hectares), qui allait de l'est à l'ouest de la ville, montra qu'il s'agissait d'une cause bien plus puissante.

Environ une demi-heure auparavant, une mine de lignite, située à l'ouest de la ville, avait été brusquement envahie par une masse d'eau chargée de sable, masse évaluée à 90,000 mètres cubes.

Il était naturel d'établir une relation de cause à effet entre les deux événements, et la Géologie est venue confirmer cette hypothèse. Les couches de lignite et d'argile de la région de Brûx renferment fréquemment des poches de sable fortement aquifère, dont le caractère bouillant avait très souvent beaucoup gêné l'exploitation des mines. Les ingénieurs du Gouvernement, chargés du contrôle des travaux, imposaient des précautions spéciales. Une poche de sable de cette nature doit s'être trouvée justement sous la partie bâtie de la ville, s'est déchargée dans la mine, et le plafond de la poche s'est effondré à mesure que la poche se vidait; ceci explique comment les affaissements se sont produits d'abord dans la partie est de la ville et ont marché de l'est vers l'ouest.

Commencés à 10 heures du soir, les mouvements s'arrêtaient à 6 heures du matin. A ce moment, le niveau de l'eau dans la mine inondée était stationnaire ou même commençait à baisser quelque peu; six jours plus tard, le sable envahisseur était sec et solide, ayant perdu son eau par drainage. On en conclut que la mine était remplie de ce sable formant bouchon, empêchant tout départ ultérieur de la poche, et que, par conséquent, tout danger avait disparu.

(1) BIBLIOGRAPHIE : Dr FRANZ E. SUESS, Studien über unterirdische Wasserbewegung: die Schwimmsandeinbrüche von Brûx (*Jahrbuch der k. k. geolog. Reichsanstalt*. Wien. 1898, Bd XLVIII).

L. DE LAUNAY, Les mouvements des eaux souterraines dans la région de Teplitz et de Brûx, en Bohême (*Annales des Mines*. Paris, 1899, t. XVI, août). Résumé et traduction du travail précédent.

Dr GUSTAV C. LAUBE, Der Schwimmsandeinbruch von Brûx (*Sitzungsberichte des deutschen naturw.-medizin. Vereins für Böhmen « Lotos », 1896, n° 1*).

FRANZ TOULA, Ueber die Katastrophe von Brûx (*Zeitschr. Verein z. Verbreit. naturw. Kenntn.* Wien, 1896, Bd XXXVI, 1).

Les événements ont semblé donner raison à ces pronostics favorables. Pendant plus d'un an, tout resta calme. Mais dans la nuit du 6 au 7 août 1896, il y eut de nouveaux mouvements destructifs de propriétés. Cette fois, les affaissements n'étaient pas accompagnés d'un changement quelconque dans l'état de la mine; on ne constata ni irruption de sable ni augmentation de débit de l'eau, qui était drainée par les barrages construits pour couper les galeries. On interpréta ces faits comme suit : certaines parties de la poche primitive étaient restées remplies d'eau, ce qui aurait suffi pour empêcher ses voûtes de s'effondrer; pour une cause quelconque, non déterminée, cette eau a été évacuée, probablement dans des portions non complètement remplies des galeries de mine isolées par les barrages.

En tout état de cause, ce nouvel accident démontrait plusieurs choses extrêmement désagréables. En premier lieu, il est certain que la poche de sable boulant, si malencontreusement située sous la ville, ne s'était pas entièrement vidée lors des premiers affaissements de juillet 1895. En second lieu, les galeries et les chambres spacieuses de la mine n'étaient pas entièrement comblées par cette première irruption, soit par remplissage avec du sable, soit par effondrement. On s'était donc trompé en considérant les couches comme revenues à un état d'équilibre stable, et l'on devait même se demander si, après la deuxième alerte, un tel état se trouvait maintenant réalisé. Dans la négative, toute cause perturbatrice pouvait de nouveau amener le déversement du contenu de la poche dans les espaces vides des galeries, avec, comme conséquence, de nouveaux effondrements.

En juillet 1895, les mesures de précaution s'étaient bornées à assurer l'obturation des galeries de la mine. L'interprétation des faits particuliers de l'accident d'août 1896 imposait le remplissage artificiel des espaces vides dont on admettait l'existence, c'est-à-dire la suppression des débouchés où le sable boulant servant de support à la ville aurait pu se déverser. On explora par conséquent, au moyen de sondages, la région traversée par les galeries et l'on constata, en effet, l'existence de plusieurs cavités encore vides, qu'on résolut de combler en y introduisant de l'argile.

Ce remplissage ne pouvait pratiquement pas se faire par la sonde ordinaire, trop étroite. On décida de la remplacer par un tubage de plus grand diamètre. Mais en retirant le premier tube, on entendit, à un moment donné, le bruissement de l'eau; le bruit cessa pendant quelques instants, mais pour reprendre ensuite avec une intensité rapidement croissante. Le chef sondeur voulut renfoncer le tube, mais

ne put le remettre à profondeur. Ceci se passait à 6 heures du soir, le 9 septembre 1896; à 1 heure du matin, des effondrements importants se produisaient dans la partie ouest de la ville. Le détubage du trou de sonde avait établi une communication entre la poche de sable boulant et la cavité qu'on voulait combler. Un accident analogue, le 6 décembre suivant, entraîna aussi quelques effondrements, heureusement en dehors de la région bâtie.

Le côté géologique de la question devant être traité ultérieurement par M. Simoens, il ne sera parlé ici que de ce qui a trait au caractère boulant des sables.

Nous trouvons une définition à la page 484 (tiré à part, p. 60) du travail de Suess : Sable fin, principalement quartzeux, généralement d'âge géologique récent, imprégné d'eau, en masses lenticulaires comprises entre des couches imperméables. Gustave Laube dit à peu près la même chose : Un sable quartzeux très pur, de grain extraordinairement fin, blanc ou grisâtre, est tellement imprégné d'eau que les grains semblent en suspension dans le liquide. Il forme une masse blanche, pâteuse et molle; de par sa consistance, il faut l'extraire des sondages à la cuiller. La substance extraite s'épand aussitôt comme du plâtre, et l'analogie se poursuit par le fait qu'il y a durcissement rapide dès que l'eau s'est échappée. Il est évident qu'une masse bouillante ne peut se concevoir que là où le sable fin est complètement imbibé d'eau, sans qu'il y ait possibilité de drainage (p. 4).

Il ressort à première vue que ces définitions ne visent pas à la généralité; elles ne s'occupent que du cas particulier de Brûx. Mais par cette limitation même, elles serrent les faits de plus près.

Elles font intervenir l'élément géologique. Les sables de Brûx sont d'âge miocène. Leur âge relativement récent est un cas particulier de la règle générale, d'après laquelle les couches meubles des terrains plus anciens ont été transformées en roches plus cohérentes. Quant aux rapports stratigraphiques, il est utile de faire ressortir, dans une définition complète, la nécessité de l'intercalation de ces masses de sable entre des couches imperméables, qui à la fois permet l'accumulation des eaux et s'oppose au départ par drainage de l'élément liquide.

Les deux définitions insistent sur la finesse du grain. Des échantillons prélevés dans la mine après l'irruption du 19 juillet 1893, ont plus de 90 % (en poids?) de 0<sup>mm</sup>,15 à 0<sup>mm</sup>,25, avec du poussier de moins de 0<sup>mm</sup>,09. A en juger par ces chiffres, il y a peut-être quelque exagération à qualifier ce sable de « extraordinairement fin ».

Quand on consulte le tableau donné par Allen Hazen (1) des sables généralement usités dans les travaux de filtrage, on trouve, comme dimension ordinaire du grain, 0<sup>mm</sup>,54, et, en Hollande, où l'on emploie souvent le sable des dunes, le chiffre s'abaisse à 0<sup>mm</sup>,17 à Amsterdam. Il y a lieu en outre de prendre en considération, comme le fait remarquer M. Suess (p. 489), que l'échantillon recueilli dans le puits de la mine, à la partie supérieure de la masse de sable, seule accessible, ne représente probablement pas un échantillon moyen; dans le transport depuis la poche jusqu'au puits, à travers plusieurs centaines de mètres de galeries, il y a eu une lévigation qui a séparé les éléments de diverses grosseurs, portant au plus loin les plus légers. Toutefois, dans ses remarques finales, Suess dit (p. 515) que le sable renfermait beaucoup de grains plus gros, et déjà, dans le texte même de son travail, il avait dit que le sable boulant n'a d'ordinaire pas un grain aussi fin.

Quant à la forme des grains, nous trouvons un unique renseignement à la page 479 : les grains de quartz sont assez arrondis, « *ziemlich abgerundet* ».

On a déterminé la porosité des échantillons recueillis et constaté qu'ils absorbaient de 51 à 55 % d'eau en volume.

Un dernier point est la composition chimique ou plutôt minéralogique; il n'y a pas de doute qu'à Brûx on a eu affaire à du sable, sans mélange d'argile; Suess dit que la masse se composait « principalement de quartz »; Laube, lui, applique la dénomination de « sable quartzueux très pur »; les ingénieurs Höfer et Uhlig, les mêmes qui ont fait les mensurations, ne parlent en outre que de rares particules de feldspath et de lamelles de muscovite (mica).

Nous avons donc des renseignements sur la composition chimique, la porosité, la forme du grain, ses dimensions et la situation stratigraphique de la masse. Voyons comment tous ces éléments s'accordent avec la théorie du boulant de Allen Hazen, que nous avons exposée dans la séance du 5 mars 1901.

Allen Hazen soutenait, contre l'opinion générale des ingénieurs, que l'argile ne jouait aucun rôle dans la production du boulant; le sable de Brûx est très pur au point de vue chimique; on se rappellera que la question de dimension des grains était écartée de sa diagnose : nous avons ici un sable qui est encore fin, mais avec des grains plus gros et qui est, d'après Suess, plus ténu que le boulant ne l'est d'ordinaire. La sphéricité du grain concorde avec les notions ordinaires des ingé-

1) ALLEN HAZEN, *The Filtrations of public Water-Supplies*, 1900, pp. 26 et 29.

nieurs; mais personne n'oserait soutenir que c'est là une condition essentielle et que, par exemple, les phénomènes eussent été modifiés et le désastre de Brûx atténué avec un grain anguleux. Quant à « l'imbibition complète », le « mélange avec une abondance d'eau », ces expressions sont l'équivalent exact de la sursaturation de Allen Hazen.

Et cependant, la théorie esquissée par M. Suess, loin de s'accorder avec la théorie de Hazen, en est presque le contre-pied. La différence git dans la façon de concevoir le rôle de l'eau; pour Hazen, elle agit en écartant les grains et puis par action mécanique d'entraînement; pour Suess, elle agirait comme lubrifiant entre les grains et empêcherait ainsi toute cohésion en masse.

Le point de départ de son raisonnement est que le sable sec, même quand il provient d'une masse bouillante, mais débarrassée de toute son eau par drainage, constitue une structure stable; il cite comme preuve le fait bien connu que, dans les travaux à ciel ouvert, où il se produit un drainage naturel, ces sables peuvent se travailler en parois presque verticales, sans aucun danger. Cette stabilité est attribuée « à la grande friction entre les grains individuels » (p. 514); « les grains secs, concrétionnés par leur propre poids (durch ihr eigenes Gewicht zusammengebacken), peuvent rester debout en parois presque verticales » (p. 485). Au contraire, un amas de sphères, qui ne montrent pas de frottement aux surfaces, se comportera comme un liquide. Il en est ainsi dans les sables bouillants à la suite de l'imbibition par l'eau; grâce à la capillarité, cette eau doit s'insinuer dans les moindres interstices et même s'étaler en lames minces entre les espaces de séparation des grains, et alors le sable se comporte comme un liquide (p. 515). L'auteur cite comme exemple l'expérience de physique élémentaire avec les plans de Magdebourg, deux plaques de verre poli que l'on applique l'une contre l'autre et qui adhèrent fortement; or, « il suffit d'une couche d'eau d'une minceur capillaire pour supprimer tout frottement entre ces deux plaques ».

Nous avons ici un ensemble de vues, logiquement coordonnées, englobant des faits pratiques, appuyées sur des notions de physique; bref, une théorie constituée. Mais cela ne veut pas nécessairement dire qu'elle soit l'expression de la vérité et doive être acceptée comme telle; avant d'aller jusque-là, nous avons le droit de l'examiner d'un peu plus près et de voir comment elle se comporte à la critique.

Il y a d'abord de sérieuses réserves à faire sur la notion de physique appelée à donner une consécration scientifique à la théorie. L'expérience avec les plans de Magdebourg a été très diversement interprétée.

On a balancé longtemps pour y voir un effet de l'adhérence par attraction moléculaire ou un effet de la pression atmosphérique. Déjà au siècle dernier, la question semblait avoir été tranchée par Boyle; ayant vu l'adhérence continuer même dans le vide de la machine pneumatique, il conclut que la pression atmosphérique n'intervenait pas.

Mais les expériences de Stefan (1874) ont montré qu'une force, même très faible, finit par amener la séparation, pourvu qu'elle agisse assez longtemps; cette traction amènerait un léger écartement des plaques et une raréfaction de la couche d'air interposée; l'air ne s'insinue que très lentement, et ce n'est que lorsque la pression est revenue à sa grandeur normale qu'un nouvel écartement est possible. Aussitôt que l'écartement est suffisant pour permettre la rentrée rapide de l'air, les plaques se séparent. Stefan a constaté que, dans le vide, la séparation se fait beaucoup plus rapidement.

Du reste, quelle que soit l'explication admise, l'assimilation des grains de sable avec les deux plans de verre prête à objection. Les surfaces des grains ne sont ni assez polies, ni assez propres, ni assez grandes pour que le phénomène puisse se manifester. Les expressions de Suess, « frottement énergétique, grains concrétionnés par leur propre poids », sont purement verbales, et tout au moins la réalité des faits concrets qu'elles affirment ou présupposent est loin d'être démontrée.

Il y a également à préciser ce qu'il faut entendre par la sécheresse du sable. Est-ce dans le sens vulgaire et approximatif, comme sable ne donnant plus d'eau, ne perdant rien par l'égouttage; ou faut-il comprendre le mot dans son sens précis et chimique? Mais ces deux états de sécheresse sont choses très différentes; il peut y avoir 20 % d'eau en poids dans un sable qu'on qualifiera de sec; et cette eau, retenue par capillarité, va constituer entre les grains ces lames lubrifiantes qui devraient transformer le sable en une masse fluide. D'un autre côté, un géologue, qui traite spécialement de l'eau dans les couches du sol, ne va certainement pas croire que des couches meubles et poreuses, mêmes drainées à leur base, puissent être absolument sèches et dépourvues même de leur eau de rétention capillaire. Mais alors la comparaison avec les plans de Magdebourg est mal établie, car ce n'est pas aux plaques sèches, mais aux plaques mouillées qu'il faut assimiler les grains de sable; et alors toute la comparaison s'effondre.

Les phénomènes de capillarité ne sont invoqués par M. Suess que pour expliquer la pénétration de l'eau dans les interstices et la formation de lames minces entre les points de contact des grains; il a passé sous silence l'effet mécanique de la tension superficielle des lames

liquides, qui fixent les grains les uns aux autres comme avec des brides ou des membranes de caoutchouc et donnent de la solidité à tout l'ensemble. Dans la séance du 5 mars 1901, nous avons insisté sur ce paradoxe apparent que l'addition d'eau à une masse de sable sec, sans cohérence, a pour effet de le solidifier. C'est du reste ce que savent et pratiquent les bonnes d'enfants et les enfants eux-mêmes, quand ils jouent avec du sable mouillé pour faire des pâtés.

De tout quoi il résulte que l'explication donnée par M. Suess des sables bouillants ne semble pas très plausible dans ce qu'elle contient de nouveau. La fixité du sable sec par adhérence moléculaire des grains entre eux, la mobilité du sable bouillant parce que les lames liquides interposées ont rompu ou n'ont pas permis cette adhérence, ces deux notions inverses mais connexes sont peu probables. Mais le rôle d'entraînement mécanique de l'eau est pleinement reconnu, et l'auteur discute, pour la rejeter, l'opinion que le caractère bouillant puisse être indépendant de la question d'hydrologie. On se ferait une idée fort inexacte du travail de M. Suess en le jugeant uniquement d'après ce qui en est dit ici; le but de cette note n'était pas de donner un compte rendu, mais d'utiliser les observations du géologue viennois (fils de l'auteur du livre célèbre : *La Face de la Terre*) comme une contribution à l'étude du bouillant pour arriver à une théorie rationnelle. Tout ce qui était conforme à la théorie sans être nouveau et ne constituant qu'une confirmation, pouvait être passé sous silence ou simplement mentionné, sans insister; mais la discussion devait porter spécialement sur les points qui s'écartaient des idées déjà admises au cours de l'enquête à laquelle procède notre Société. Le travail de M. Suess a donc forcément été soumis à une espèce de sélection à rebours, et précisément sur une question pour lui quelque peu accessoire, puisqu'il a été fait abstraction ici de toute la partie géologique.

---

#### Note ajoutée pendant l'impression.

Les phénomènes d'attraction moléculaire des liquides et les phénomènes de capillarité ont été, en Belgique, l'objet d'études approfondies. Il suffit de citer le nom de Jos. Plateau. Le gendre de l'illustre physicien, M. G. Van der Mensbrugghe, a continué ces recherches, et nul mieux que lui n'est à même de résoudre les divers problèmes se rapportant à la tension superficielle des liquides.

Or, la question des sables bouillants soulève plusieurs de ces problèmes. En voici quelques-uns : Quelles sont les quantités d'eau pouvant être retenues par capillarité



par des sables de diverses dimensions de grain? Au-dessous d'une certaine dimension de grain, toute l'eau est retenue par capillarité, et il ne peut y avoir d'écoulement que sous l'action d'une pression; au-dessus de cette même dimension, une couche saturée peut abandonner par simple gravitation une partie de son eau; il y aurait peut-être intérêt pratique à déterminer cette dimension de rétention optimum. — Calculer l'intensité de la tension superficielle d'une lame liquide réunissant deux grains de sable, en faisant varier dans certaines limites les dimensions des grains et la quantité d'eau.

Je me suis permis de signaler à M. Van der Mensbrugge l'étude entreprise par notre Société et de lui demander sa collaboration. Le savant professeur de l'Université de Gand m'a répondu qu'il avait justement préparé, pour la séance de juin de l'Académie royale de Belgique, une note sur *l'imbibition des sables par l'eau*. « Je signale notamment un fait connu, mais demeuré sans explication précise : c'est la diminution de volume du sable quand il est imbibé d'une quantité d'eau convenable. Je montre ensuite, par des expériences bien simples, la grande cohésion du sable convenablement mouillé; cela est conforme à ce que vous avez affirmé vous-même à cet égard; seulement, j'explique le phénomène autrement que vous : j'invoque les propriétés d'une couche mouillante qui est plus dense que la masse liquide intérieure. — Les diverses questions que vous me posez dans votre lettre dépendent toutes d'un facteur que nous ne connaissons pas, savoir la loi des attractions moléculaires, soit entre particules de même espèce, soit entre molécules d'espèces différentes. — Ma note paraît venir à son heure et je souhaite qu'elle puisse être de quelque utilité pour les membres de la Société de Géologie. »

M. Van den Broeck attire l'attention de l'Assemblée sur l'expression « boulant sec » employée par certains auteurs. Il croit que c'est à tort qu'un sable sec est appelé « boulant »; le boulant ne saurait être sec, puisque c'est le mouvement de l'eau qui lui donne ses propriétés; c'est plutôt « sable coulant » qu'il faudrait dire. Le sable *coulant* est, en effet, un sable mobile et très sec, qui a simplement la propriété de s'écouler très facilement et de passer entre les fins interstices. A la différence du sable boulant, il ne peut suivre des voies ascendantes.

Il y a donc là un terme à définir, et ce point sera, il l'espère, bientôt résolu par notre collègue, M. Bleicher, qui s'occupe, en ce moment, de l'étude au microscope des quelques échantillons de sables qui lui ont été envoyés, et parmi lesquels se trouve un beau type de sable sec « coulant » soumis à l'examen par M. Choffat.

M. Gobert rappelle, à ce sujet, l'expérience décrite dans le livre de M. Froidure et qui consiste à mêler un peu d'eau à du sable sec pour en faire une sphère, laquelle est ensuite déposée sur une assiette; la dite sphère s'y maintient avec tout son relief intact, mais l'addition nouvelle d'une petite quantité d'eau provoque immédiatement la formation de l'état boulant.

M. *Kemna*, de son côté, relate des phénomènes analogues à celui de Brûx, exposés également par M. *Suess* dans son travail, qui se seraient produits à une époque géologique ancienne, c'est-à-dire à l'époque tertiaire.

Établissant un parallèle entre les données fournies par M. *Suess* et les constatations faites dans certaines couches de la Californie septentrionale, où l'on a trouvé des filons remplis de sable cimenté par du calcaire qui avait cristallisé, et constaté, par la structure géologique de la région, que ces sables provenaient par injection d'une profondeur de 3,000 pieds et avaient dû remplir, à l'état fluide et bouillant, les fentes où on les retrouve aujourd'hui durcis. Cela rappelle les vues de *d'Omalius* sur les sables geysériens ou éruptifs.

M. *Simoens* croit prudent de disjoindre la question des sables dits « éruptifs » de celle des sables bouillants, même fossiles. Que certains dépôts arrivés au jour naguère à l'état de fluidité et d'émulsion, qui pouvaient en faire de véritables sables bouillants, aient été des sables éruptifs, cela peut s'admettre; mais il faut se souvenir que les idées de l'ancienne école géologique sont aujourd'hui singulièrement abandonnées, et pour cause, en ce qui concerne la grande majorité des dépôts dits « éruptifs ». Ce n'est pas seulement *d'Omalius*, mais c'est encore *André Dumont* qui a considéré comme dépôts éruptifs ou geysériens des formations sédimentaires marines et autres, vis-à-vis desquels une telle thèse n'a rien de sérieusement soutenable. C'est ainsi que les sables et cailloux des poches à sédiments meubles, remplissant certaines cavités des calcaires de la haute Belgique, les sables pliocènes fossilifères du Diestien, le limon hesbayen, l'argile fossilifère des polders ont été tour à tour considérés comme des dépôts éruptifs et geysériens.

M. le baron *van Ertborn* fait observer incidemment que l'angle que forme le sable moyen quartzéux pur quand on le laisse couler, angle de plus de 51°, est donc très voisin de celui de 51°43' présenté par les arêtes de la pyramide de Cheops, n° 1, en Égypte.

Serait-ce ce phénomène naturel qui aurait guidé les constructeurs de pyramides, édifices humains qui sont le symbole d'un maximum de stabilité en matière de construction.

La parole est donnée ensuite à M. SIMOENS pour faire la communication ci-contre.

## SUR LES RELATIONS

EXISTANT AU POINT DE VUE DES

## PHÉNOMÈNES DYNAMIQUES DUS AUX SABLES BOULANTS

ENTRE LE SOUS-SOL DE BRÛX EN BOHÈME  
ET CELUI DE LA VILLE DE BRUXELLES

PAR

G. SIMOENS.

Docteur en sciences minérales,  
Chef de section (f) au Service géologique de Belgique.

Parmi les nombreuses manifestations dynamiques dues à l'action des sables aquifères, il y a lieu de signaler celles qui dans ces dernières années ont eu pour théâtre la ville de Brûx, située sur la Biela, tributaire de l'Elbe, au nord de la Bohême. Les désastres occasionnés par la présence, dans le sous-sol de cette dernière ville, de sables aquifères provoquant l'effondrement d'une grande partie de la localité ont été si considérables qu'ils ont attiré l'attention de savants géologues autrichiens et même étrangers (1). Aussi, grâce à eux, sommes-nous en possession de nombreux renseignements géologiques sur cette région si éprouvée. La Biela passe par Brûx en se dirigeant du nord-ouest au sud-est, puis, un peu au sud de la ville, la rivière présente un coude et continue à couler du sud-ouest vers le nord-est.

Le sous-sol de la région est constitué par des assises tertiaires.

Dans son travail, paru dans les *Annales des Mines*, M. De Launay (2) a donné une description de ce terrain tertiaire bohémien. On le divise en trois étages : 1° l'étage prébasaltique grésiforme, surmonté de schistes

(1) F.-E. SUSS, *Studien über unterirdische Wasserbewegung* (JAHRBUCH DER K. K. GEOLOG. REICHSANSTALT, Bd XLVIII). Wien, 1898.

F. TOULA, *Über die Katastrophe von Brûx* (VORTRÄGE DES VEREINES ZUR VERBREITUNG NATURW. KENNTNISSE IN WIEN), 1896.

(2) L. DE LAUNAY, *Les mouvements des eaux souterraines dans la région de Teplitz et de Brûx en Bohême* (ANNALES DES MINES, t. XVI). Paris, 1899.

avec lits de lignite; 2° l'étage moyen avec tufs basaltiques; 3° l'étage postbasaltique formé de schistes et d'argiles renfermant des lignites exploités dans la région et contenant les sables aquifères. On exploite, nous dit M. De Launay, dans ces assises et aux environs de Brûx, une couche de lignite de 10 à 30 mètres de puissance, et qui affleure non loin de la ville. Cet étage appartient au Miocène. C'est précisément au toit de la couche ligniteuse que se trouvent les sables aquifères, qui présentent une stratification oblique fluviale; ces derniers forment des lentilles alternant avec des masses argileuses. Ces sables, fortement aquifères et bouillants à certains endroits, ne présentent pas partout ce caractère; au contraire, en certains points, ils sont secs et très résistants au point que de très nombreux sondages, pratiqués dans leur masse, n'ont pas laissé supposer la présence de l'élément dévastateur.

Ce fait ne doit pas nous étonner, étant donnée la disposition de l'ensemble de ces roches, présentant des alternances continues de sables et d'argiles, phénomène assez semblable à celui dont nous constatons la présence dans notre Ypresien supérieur. Les couches du sous-sol de Brûx sont inclinées d'environ 8° vers le nord-ouest, de telle manière que la vallée de la Biela doit recouper successivement les différentes assises tertiaires et par conséquent aussi les sables aquifères. En outre, le sous-sol de la région de Brûx présente une série de *failles* qui méritent d'attirer notre attention.

Ces failles sont de deux sortes, les premières sont dues à des dislocations ayant une origine profonde; les secondes sont localisées à la partie supérieure des dépôts miocènes, c'est-à-dire dans les sables aquifères. M. De Launay nous dit, en effet, que ces sables présentent « une série de failles de tassement qui n'atteignent pas les terrains sous-jacents ». Les cassures du sous-sol des environs de Brûx sont disposées pour la plupart en arcs de cercles, et l'une d'elles semble atteindre la rivière et la couper presque normalement à la direction de celle-ci. Cette faille a joué un grand rôle lors de la catastrophe qui a ravagé la ville de Brûx. En effet, la grande lentille de sable aquifère vient se limiter brusquement contre cet accident géologique, et les sondages les plus rapprochés de la ville ayant été exécutés à l'ouest de cette faille, « on en avait conclu, avec une logique apparente, qu'il n'y avait pas de sables aquifères sous Brûx » (1). Il n'existe de l'autre côté de la faille que de minces lentilles de sable bouillant qui, n'atteignant tout au plus qu'une épaisseur de 20 centimètres, n'ont cependant pas

(1) DE LAUNAY, *loc. cit.*

été étrangères à la production du désastre. Nous avons vu que la couche ligniteuse et les sables aquifères qui la surmontent plongent sous la ville vers le nord-ouest et affleurent à l'est de Brûx; nous avons fait remarquer que la rivière suit à peu près cette direction, et que dès lors celle-ci doit recouper les couches ligniteuses et par conséquent les sables aquifères sus-jacents. Le sondage 20, exécuté près du fleuve, indique au niveau du sol la cote 210.45. Or, en ce point se trouve prolongée la cote 206 indiquant le toit du sable aquifère. Il n'est pas douteux que le thalweg de la rivière, qui se trouve en contre-bas de ce point de sondage, n'atteigne au moins la cote 206, d'autant plus que le niveau des sables bouillants s'élève rapidement vers la direction de l'est. Faisons encore remarquer qu'avant la catastrophe, le niveau piézométrique de la nappe aquifère, dans les puits de la région, indiquait une légère pente vers le fleuve. Après la catastrophe, au contraire, les eaux ayant pris le chemin des galeries souterraines situées à l'ouest, le niveau des eaux présentait une pente vers cette région de la ville. Il devient donc évident que les failles de tassement, dont la présence a été constatée dans les sables miocènes aquifères, sont dues à l'écoulement, vers la vallée, de ces roches imprégnées d'eau.

« Ces sables sont, en effet, dit M. De Launay, par suite de l'eau qui les imprègne, dans un état de mobilité, de fluidité extrême; la moindre issue qu'on vient à leur offrir amène leur départ presque subit, d'où la formation de cavités, qui s'affaissent et entraînent à la surface des effondrements. »

Les failles de tassement se sont produites très lentement pendant le cours des temps géologiques, par suite d'un écoulement continu; mais ces mouvements dynamiques, bien que dus à l'écoulement des sables, se distinguent des effondrements récents par ce fait : que les premiers sont le résultat de phénomènes très lents, et dont l'action se répartit uniformément sur d'assez grandes étendues, tandis que les seconds ont pour origine une rupture brusque d'équilibre et ne peuvent donner lieu qu'à des phénomènes dynamiques locaux, mais très accentués. Ces derniers se sont malheureusement produits à Brûx, à différentes reprises : en juillet 1895, en août, septembre et décembre 1896 et en décembre 1897.

Ces effondrements, qui ont ravagé la ville, se sont produits à la suite de travaux miniers exécutés en vue de l'exploitation des lignites que surmontent les sables aquifères.

Rappelons maintenant la constitution du sous-sol de la ville de Bruxelles et voyons s'il n'existe pas certaines analogies entre les faits

constatés dans ces deux localités. Les étages de l'Éocène des environs de Bruxelles plongent d'une manière générale vers le nord; cette inclinaison des couches est cependant peu prononcée et peut être négligée en l'occurrence. La Senne charrie ses alluvions dans l'argile ypresienne *Yc*, et en quittant la rivière, on ne tarde pas à rencontrer, sous les terrains quaternaires, les affleurements en sous-sol du terme de l'Ypresien supérieur *Yd*. Cette assise est constituée par des alternances de sable, de sable argileux et d'argile, laquelle ressemble souvent à s'y méprendre à l'argile sous-jacente *Yc*. Le complexe des sables et argiles *Yd* reposant directement sur l'épaisse couche d'argile schistoïde *Yc* constitue dans son ensemble une couche très aquifère, mais ces sables, présentant de nombreuses intercalations argileuses, on comprendra facilement que le degré d'imprégnation des éléments sableux sera en partie fonction de la fréquence et de l'étendue des intercalations d'argile.

Si le terme *Yd* était constitué par une masse homogène de sables fins, les eaux, après avoir filtré à travers les sédiments bruxelliens, passeraient dans la masse sableuse de l'Ypresien *Yd* pour s'arrêter sur l'argile schistoïde *Yc*; elles y formeraient une nappe aquifère assez régulière, dont l'allure se confondrait sensiblement avec la pente de l'argile sous-jacente. Mais, comme nous l'avons vu plus haut, la constitution de l'*Yd* n'est pas aussi simple, ces sables fins contiennent des lentilles d'argile, nombreuses et souvent étendues, qui retiennent au passage les eaux d'infiltration, constituant ainsi autant de nappes aquifères, dont l'importance varie avec l'étendue des masses argileuses (fig. 4 de la page 305).

C'est donc l'irrégularité que présentent les sédiments sableux et argileux de l'Ypresien supérieur qui en constitue le principal danger, car, outre la difficulté qu'il y a de délimiter ces différents éléments, il y a encore celle de préciser leur teneur en eau, qui varie avec les fluctuations des précipitations atmosphériques. Lorsqu'on se trouve en présence d'une formation contenant des alternances d'argile et de sable fin, on remarque souvent, comme à Brûx et à Bruxelles, que les sables sont stratifiés obliquement. La présence de ce genre de stratification au sein de masses sableuses formées de grains fins constitue déjà une première indication, au point de vue de la possibilité de rencontrer des sables bouillants.

En effet, de même qu'on peut inférer de la présence d'alternances d'argiles et de sables fins que ces derniers sont probablement obliquement stratifiés, de même, des sables fins à stratifications obliques,

signifient pour le géologue que l'argile et souvent l'eau ne sont peut-être pas très éloignés. Ces relations sont faciles à saisir, si l'on se rappelle les conditions qui président généralement au dépôt de ces éléments (fig. 2). (Voir le commentaire fourni par la note du bas de la page 306.)

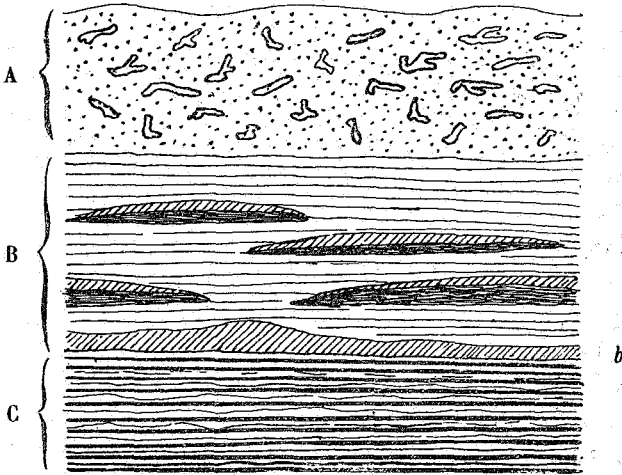


FIG. 1.

- A. Sable bruxellien avec grès Br.  
 B. Sable fin ypresien supérieur Yd contenant des lentilles argileuses retenant les eaux d'infiltration.  
 b. Nappe aquifère reposant sur l'argile.  
 C. Argile d'Ypres schistoïde Yc.



FIG. 2.

- A. Sable fin ypresien supérieur Yd.  
 B. Argile ypresienne Yc.

← Sens de la régression de la mer à l'époque de l'Ypresien supérieur.

Rivages. →

Le sous-sol tertiaire de Bruxelles est, comme celui de Brûx, découpé par une série de failles; il est peu de géologues qui n'aient eu l'occasion de les voir dans les sablières des environs de Bruxelles, mais il en est d'autres que des travaux exécutés dans le sous-sol de la ville ont décelés au cœur même de la capitale. Il a été fréquemment question de ces accidents géologiques au sein de la Société belge de Géologie, et depuis longtemps M. A. Rutot les a considérés, et tous les géologues après lui, comme dus à l'écoulement lent des sables aquifères Yd vers la vallée de la Senne. Il n'est pas inutile de remémorer quelques faits, sur lesquels s'appuient les idées émises par notre savant confrère. En forant un puits dans sa propriété, rue de Terre-Neuve, M. Van den Broeck m'a dit avoir constaté la présence des sables bruxelliens à la cote 17 et se prolongeant sur une épaisseur de 5 à 6 mètres.

Rue des Ursulines, la présence du Bruxellien avec grès fistuleux a été remarquée par M. M. Mourlon vers la cote 22, mais on ignore à cet endroit l'épaisseur de ces sables.

D'après M. A. Rutot, à la distillerie Raucq, rue Haute, près de l'hôpital Saint-Pierre, l'Ypresien a été atteint à la cote 26; au carrefour des rues de l'Empereur, Montagne de la Cour et Saint-Jean à la cote 38, et au bas de la place du Grand-Sablon à la cote 44. A ce propos, M. Rutot me fait savoir qu'il n'a plus rencontré de contact à

Les remarquables travaux de MM. Van den Broeck et Rutot sur la théorie des cycles sédimentaires ont mis en relief les conditions qui président, d'une manière générale, à la distribution des éléments au sein de nos dépôts sédimentaires. Les graviers sont des sédiments côtiers; les sables entraînés par les vagues et les courants se déposent à une certaine distance du rivage; les argiles, dont la ténuité est extrême, sont entraînés au large. On remarquera que la présence simultanée de sables et d'argiles indique une zone limite, où cette dernière roche est fréquemment remplacée par des sables excessivement fins. Cette alternance n'est pas nécessairement due à une oscillation des lignes de rivage, déplaçant en même temps l'endroit du dépôt des éléments argileux tenus en suspension dans l'eau. Il est facile de comprendre que les perturbations atmosphériques peuvent modifier aussi cette ligne séparatrice et oscillante des dépôts de sable fin et d'argile. Les tempêtes peuvent entraîner vers les régions argileuses des sables très fins, qui, à la faveur du mouvement de l'élément liquide, se déposeront sur l'argile, en présentant une stratification oblique ou entrecroisée; alors qu'en des temps plus calmes ces mêmes sables se déposaient horizontalement. Dans ces conditions, ces sables fins, à stratification oblique, indiquent un empiètement momentané de l'élément sableux sur l'élément argileux et permet, dans une certaine mesure, de prévoir le retour de ce dernier. Il va de soi que cette zone d'alternance intermédiaire entre les zones argileuse et sableuse suivra le déplacement général de l'ensemble des sédiments liés aux progressions et régressions de la mer. Ces faits s'observent également dans les dépôts fluvio-marins et fluviaux.



une cote plus élevée; il considère donc cette cote 44 comme étant celle de vrai contact, *in situ*. Il semble donc qu'il existe sur les versants de la vallée de la Senne des failles nombreuses et rapprochées, dues à l'écoulement des sables vers la vallée.

M. A. Rutot dit, dans son intéressant mémoire sur le puits artésien de la distillerie Raucq : « Ces failles, qui n'ont pas de rapports avec les véritables fractures de l'écorce terrestre, sont dues à l'écoulement lent, vers la vallée, de la partie inférieure du sable ypresien reposant sur l'argile; ces sables se sont écoulés lentement et progressivement dans la vallée lors de son creusement; c'est ce coulage latéral qui a produit, dans la masse supérieure, des cassures avec tassement et descente des couches en escalier, comme le présente le croquis ci-dessous (fig. 3). »

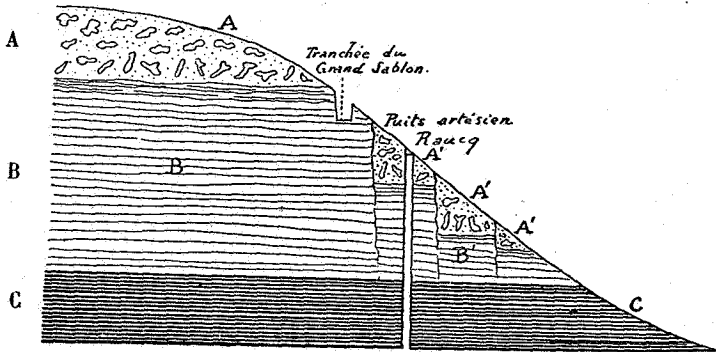


FIG. 3. — Coupe diagrammatique, d'après M. A. Rutot, montrant, au travers de la vallée de la Senne, les failles successives de tassement par écoulement latéral du sable ypresien.

- A. Sable bruxellien *in situ*.
- A', A', A'. Paquets de sable bruxellien, successivement descendus.
- B. Sable ypresien *in situ*.
- B'. Sable ypresien fluide, en partie écoulé dans la vallée.
- C. Argile ypresienne imperméable.

Comme on le voit, il existe une grande analogie entre la disposition générale et le détail des couches aquifères de Brûx et de Bruxelles. Il existe une analogie non moins frappante entre les phénomènes dynamiques lents dus à l'écoulement des sables bouillants de ces deux régions. Espérons que les travaux souterrains, qu'on se propose de commencer à Bruxelles prochainement, n'étendront pas l'analogie jusqu'aux déplacements brusques. Quoi qu'il en soit, la présence de failles de tassement dans un sol renfermant des sables aquifères doit être pour l'ingénieur un avertissement.

M. le Président partage l'avis de M. Simoens au sujet de la compa-

raison qu'il vient d'établir entre la disposition des points faibles du sous-sol de Bruxelles et celle des terrains de Brûx; comparaison qui n'est pas sans offrir de la justesse au point de vue géologique.

M. *Van den Broeck* fournit quelques éclaircissements complémentaires de nature à appuyer la manière de voir de M. *Simoens* au sujet de la disposition faillée des dépôts tertiaires de la vallée de la Senne, à Bruxelles. Il rappelle notamment la constatation, faite l'année dernière au cours d'une excursion de la Société, dans la région d'Uccle et Forest, de la descente de paquets de sédiments tertiaires englobant le gravier ledien et ayant ramené celui-ci au niveau de l'Ypresien. Il rappelle la curieuse série de failles en escaliers qui a été constatée sur les flancs du coteau et qui a pu permettre à l'Éocène moyen de descendre à ces altitudes, occupées normalement par l'Éocène inférieur. On se demandera peut-être comment ces sables ont pu ainsi descendre dans les bas niveaux de la vallée dont, primitivement, ils couronnaient les hauteurs! Il ne faut pas perdre de vue que le thalweg de la vallée actuelle est très différent comme altitude de celui de la vallée quaternaire, qui a été en partie comblée par les alluvions de remplissage moderne. Le creusement de la vallée quaternaire s'est fait bien plus profondément, et c'est à cette époque ancienne du *maximum de creusement* et de drainage latéral de coteaux que le sable fin, bouillant, de l'Ypresien, compris entre le substratum imperméable d'argile ypresienne et le recouvrement des sables plus grossiers de l'Éocène moyen (Bruxellien, Laekenien, Ledien, etc.), s'est trouvé affleurer sur les flancs inférieurs de la vallée. Imprégnés d'eau, pressés par l'épaisse masse des sables et des grès recouvrants, les sables fluides et bouillants de l'Ypresien supérieur ont « foiré » dans la vallée et en s'y déversant peu à peu, entraînés qu'ils étaient par les eaux dont ils se trouvaient imprégnés; c'est ainsi qu'ils ont provoqué, par leur échappement latéral dans le drain fourni par la vallée, l'affaissement des masses sableuses superposées, lesquelles ont perdu leur niveau et leur état d'équilibre primitif. Ces amas supérieurs se sont affaissés en massifs successifs, découpés en escaliers par des failles de tassement et d'arrachement mécanique, failles parallèles à la direction de la vallée. C'est ainsi que le contact *in situ* du Bruxellien sur le sable fin ypresien, qui s'observe, par exemple, vers le bas de la place du Grand-Sablon, vers la cote 44, se trouve, par places, reporté bien au-dessous du thalweg de la vallée actuelle.

Lorsqu'il habitait naguère le bas de la ville, M. *Van den Broeck* a, comme l'a signalé tantôt M. *Simoens*, constaté chez lui, rue Terre-

Neuve, c'est-à-dire à la cote 17 environ, qu'un puits de 5 à 6 mètres *au moins* était resté entièrement creusé dans le même sable bruxellien, dont la base n'existe *in situ* qu'à plus de 53 mètres plus haut, sur les flancs supérieurs de la rive droite de la Senne. Des forages exécutés rue Haute, soit à mi-côte de la vallée, ont également fait retrouver le Bruxellien en paquet épais descendu sous le niveau primitif de ces sables.

Les circonstances, fait remarquer M. Van den Broeck, qui, pendant la phase quaternaire de creusement maximum de la vallée de la Senne, ont donné lieu au « foirage » des sables fins supérieurs aquifères et à la formation du boulant, dont l'échappement latéral a causé graduellement les ruptures d'équilibre avec faillage en escaliers des masses sableuses supérieures, *n'existent heureusement plus*. En effet, le remplissage des parties profondes de la vallée quaternaire par le paquet développé des alluvions quaternaires et modernes (qui, par places, atteignent 21 mètres d'épaisseur dans la région bruxelloise de la vallée de la Senne) s'oppose actuellement au drainage et à l'entraînement latéral des parties basses des flancs sableux de l'ancienne vallée, aujourd'hui remblayée. Le sable ypresien ne peut plus trouver de voies d'évacuation pour ses parties profondes aquifères et à caractères boullants : il est devenu emprisonné et comme tel rendu *stable*. Avec lui s'est consolidée la masse sableuse recouvrante (bruxellienne, etc.) dont les failles et les cassures ne peuvent plus avoir aucune tendance à l'agrandissement ni à aucune nouvelle rupture d'équilibre provoquée par le déplacement des niveaux « boullants » ypresiens, enfouis actuellement dans les profondeurs du sous-sol de la colline de Bruxelles.

M. *Simoens* partage la manière de voir de M. Van den Broeck, quant à la non-existence à notre époque des conditions qui ont déterminé les failles de tassement dans les environs de Bruxelles, et il fait remarquer qu'il en est de même à Brûx, où d'épaisses couches de dépôts quaternaires recouvrent les couches tertiaires miocènes; là, comme dans nos régions, ces failles de tassement ne peuvent plus guère se produire de nos jours. C'est précisément cet arrêt du « foirage » qui fait que ces sables boullants, maintenus sous pression, ne demandent qu'à s'échapper en provoquant alors des effondrements désastreux dès qu'on vient à leur ouvrir une issue, c'est-à-dire dès qu'on les met brusquement, en un point quelconque de leur masse, dans des conditions identiques à celles qu'ils présentaient avant leur revêtement par des dépôts quaternaires.

M. *van Erthorn*, voyant dans ce phénomène de faillage la produc-

tion d'une zone de complet remaniement sédimentaire ayant affecté le sous-sol d'une bonne partie de la ville, M. le Président croit pouvoir faire remarquer, d'accord avec ce que vient de dire M. Van den Broeck, qu'il s'agit ici d'un phénomène de descente bien régulière, chaque paquet sédimentaire étant descendu en bloc et sans brouillage; tout le sol des flancs de la vallée est représenté par une série d'escaliers dont chacun contient sa coupe géologique partielle propre, bien intacte et montrant à l'évidence qu'il n'y a pas eu de bouleversement. (Voir la figure 3 de la page 307.) Pour le surplus, il s'en rapporte à la coupe observée jadis par de nombreux confrères et qui était visible, à Forest, le long du chemin longeant la propriété Mosselman.

Relativement aux phénomènes signalés par M. Kemna lors des travaux de sondage destinés à étudier les causes de la catastrophe de Brûx, MM. le Président et van Ertborn sont d'accord pour reconnaître que la venue d'eau et les accidents amenés par le trou de sonde de septembre 1896 avaient dû être causés par l'échappement de l'air qui avait pu être comprimé dans les cavités de l'exploitation. C'est aussi l'avis de M. Kemna, qui constate que le trou de sonde ci-rappelé a fourni une projection d'air et a amené également la venue d'une grande masse d'eau.

M. van Ertborn dit ensuite quelques mots au sujet d'une série de forages pratiqués à Saint-Nicolas pour obtenir de l'eau; l'argile rupélienne n'étant pas assez résistante, les puits se détruisaient par la simple trépidation produite au passage des trains. Les puits se comblaient par éboulement et l'on était obligé d'en creuser d'autres.

M. Simoens croit pouvoir faire remarquer, au sujet de la forme des grains dans les sables aquifères, que ceux-ci ont d'autant plus de chances de devenir bouillants que ces grains s'éloignent davantage de la forme sphérique. Plus cette forme sphérique s'altère et plus la surface susceptible de retenir l'eau augmente; de plus, les interstices entre les grains s'agrandissent et permettent de loger un volume d'eau plus considérable.

Si après avoir rempli un récipient cylindrique de boules en cire parfaitement sphériques, on exerce une pression au sommet du cylindre de manière à écraser et à refouler au fond du vase les sphères, celles-ci, après l'effort, présenteront la forme polyédrique se rapprochant du dodécaèdre rhomboïdal. En effet, si l'on choisit une sphère au centre d'un amas de sphères identiques, on peut constater qu'elle touche au moins à douze sphères semblables. Par la compression, ces douze points

se transforment insensiblement en douze surfaces qui iront en s'agrandissant jusqu'à se rencontrer pour former les arêtes du polyèdre.

Si après avoir détaché ces polyèdres les uns des autres on les rejette dans le cylindre, on remarque alors que le vase, malgré les secousses qu'on lui imprime, ne peut plus les contenir, à moins de procéder à un arrangement méthodique des rhomboèdres.

Lorsqu'il s'agissait de réunir les sphères (celles-ci étant des polyèdres présentant autant de faces que de points), l'ensemble de la masse présentait une structure identique dans toutes ses parties, mais il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de réunir des polyèdres sans procéder à un arrangement de ceux-ci. Il se produit alors des interstices d'autant plus grands que les polyèdres s'écartent davantage de la forme sphérique et se rapprochent du polyèdre présentant le moins de faces, c'est-à-dire le tétraèdre, et plus ces vides seront grands, plus il y aura de place pour contenir l'eau; ce qui est la condition première du charriage de toute la masse.

M. le *Président* rappelle à l'Assemblée la question de la *Bibliographie des sables boullants*, que M. le commandant *E. Cuvelier* vient de faire entrer dans la *voie pratique* en déposant pour les Annexes au Procès-Verbal un premier et très utile travail, fournissant un précieux *modèle à suivre*, et il sollicite le concours de chacun à ce sujet.

De l'avis de MM. *Mourlon* et *Simoens*, cette bibliographie n'est pas chose aisée, le boullant étant scientifiquement peu connu et ayant été étudié occasionnellement sous beaucoup de rubriques, spécialement d'ordre technique.

M. *Van den Broeck* a déjà réuni un grand nombre de fiches sur la matière, mais insuffisantes cependant, par la multiplicité des lacunes, pour que l'on puisse utilement en commencer la publication. Il voudrait voir nos collègues de l'étranger surtout, nous documenter sur l'utile bibliographie que la Société se propose de dresser, et le mieux serait de s'inspirer de la voie pratique et judicieuse ouverte par le travail, que l'on trouvera plus loin, du commandant *Cuvelier*.

M. *Gobert*, de son côté, soulève la question de l'organisation d'expériences de laboratoire relatives à l'étude et à l'assèchement des sables boullants à l'action des drains. Les études microscopiques consacrées à la détermination et aux caractères des grains sédimentaires constituant le boullant et ses divers types éventuels lui paraissent aussi d'une haute utilité, et il serait désirable que plusieurs de nos confrères voulussent bien s'en occuper activement.

M. *Van den Broeck* rappelle à ce sujet que notre confrère,

M. *De Schryvere*, qui dirige les travaux et chantiers de « Bruxelles-maritime », a mis gracieusement à notre disposition son laboratoire des installations maritimes, ce qui permet pratiquement de réaliser les désirs exprimés par M. *Gobert*. Il y a lieu d'acter aussi, dans cet ordre d'idées, l'offre aimable faite (voir correspondance) par M. le D<sup>r</sup> *Petermann*, directeur de la station agronomique de Gembloux.

Il estime cependant qu'il y aurait lieu de tenter de faire également certaines expériences en séance, lesquelles pourraient être adjointes à celles faites par des spécialistes au laboratoire. Il propose, en conséquence, de mettre cette question à l'ordre du jour de l'une de nos prochaines séances, consacrées au « boulant ». — Adopté.

Enfin, M. *Van Erborn* donnant quelques détails au sujet de l'assèchement progressif, très efficace, qui a été effectué lors du creusement des bassins de batelage d'Anvers, dont le fond atteignait le niveau primitif des « sables boulanges » de la région d'Anvers, M. le *Président* l'engage à rédiger une note sur cette question, laquelle pourra être lue à une séance ultérieure.

La séance est levée à 10 heures 30.

---

## ANNEXE A LA SÉANCE DU 30 AVRIL 1901.

---

### BIBLIOGRAPHIE CHRONOLOGIQUE DU « BOULANT »

D'APRÈS LES « ANNALES DES TRAVAUX PUBLICS DE BELGIQUE »

de 1843 à 1893, 1<sup>re</sup> série (cinquante et un premiers volumes),

par **E. CUVELIER**,  
 Capitaine commandant du génie,  
 Professeur à l'École militaire.

---

L'étude du « boulant » a été faite dans bien des Recueils spéciaux, dans un grand nombre d'ouvrages, et à divers points de vue.

Il nous semble que, pour en arriver à une bonne *synthèse* et mettre la question bien au point, il faudrait *analyser* succinctement le plus grand nombre possible d'écrits relatifs au « boulant », les condenser, les coordonner, en tirer les conclusions et les procédés.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons dressé la Bibliographie

chronologique qui va suivre, et nous avons pris le premier recueil belge venu qui se trouvait à notre disposition (1).

Pareille étude étant faite par un certain nombre d'entre nous, et les sources originales étant ainsi connues, un comité pourrait être formé, qui aurait pour mission de faire une classification synthétique et de faire une subdivision en groupes et méthodes des divers systèmes employés; chaque méthode ou groupe serait plus spécialement étudié, creusé, par un membre de la Société ou par plusieurs, le cas échéant. Des règles pourraient alors être déduites, qui fixeraient sur le système que l'on doit employer dans *chaque cas particulier*; car il est certain que les procédés à mettre en œuvre peuvent et doivent varier suivant les circonstances, si l'on ne veut pas faire d'inutiles dépenses : il ne faut pas recourir inconsciemment, en quelque sorte, aux méthodes les plus compliquées — sûres, sans doute — pour des travaux de peu d'importance.

## I. — Emploi de l'air comprimé pour le fonçage des puits dans les terrains aquifères, par M. TRASENSTER, sous-ingénieur des mines (2).

Les substances exploitables que recèle le sein de la terre sont fréquemment recouvertes de couches de terrains plus récents, *perméables aux eaux*, soit par leur état d'agrégation, soit par les fissures nombreuses qui les traversent... Ces couches donnent passage à des courants d'eau qui circulent dans les interstices de la matière solide.

Lorsqu'on pratique une *excavation dans ces couches*, l'effet produit est le même que si l'on faisait descendre dans une rivière un vase fermé à parois plus ou moins perméables; de toutes parts, les eaux tendent à l'envahir, et cela en raison de la facilité avec laquelle elles se meuvent et de la profondeur au-dessous de leur niveau naturel.

Le moyen jusqu'ici employé pour pénétrer dans ces terrains, sans être submergé, consiste à disposer des pompes en quantité suffisante pour que l'épuisement l'emporte de vitesse sur l'affluence des eaux. On conçoit dès lors que l'efficacité de ce moyen est loin d'être absolue.

(1) On y peut suivre assez bien la progression dans la puissance des moyens mis en œuvre.

(2) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1847, t. VI, pp. 5-28. En 1848, M. Trasenster était professeur d'exploitation à l'Université de Liège.

Les courants qui convergent vers le puits entraînent les matières meubles contenues dans le terrain, de manière à gêner beaucoup la marche des pompes, à augmenter les déblais et surtout à occasionner des vides et des tassements inégaux, qui rendent le soutènement des parois fort difficile pour peu que l'opération ait de durée.

M. Trasenster donne ensuite la description du procédé par l'air comprimé, imaginé par Triger en 1841, pour la traversée de sables très aquifères aux environs de Chalonnnes (Loire), et qui présentent une puissance d'environ 20 mètres au-dessus du terrain houiller; puis son application par la Société des mines de Douchy (près Valenciennes) et enfin des indications nouvelles — pour l'époque (1847) — relatives à l'emploi de l'air comprimé.

## II. — Creusement à travers les sables mouvants d'un puits de la mine de Strépy-Bracquegnies, par M. V. Bouhy, aspirant des mines (1).

M. Bouhy fait connaître que la Société de Strépy dut abandonner, en 1811, le creusement de deux avaleresses (2) par suite de la rencontre d'un banc de *sable mouvant* que l'on ne put traverser avec les moyens alors connus; la même chose se produisit en 1836 et encore quelques années après : un sondage ayant montré qu'on devait traverser 50 mètres de sables mouvants, on n'osa pas poursuivre les enfoncements des puits (3).

En 1814, la Société ouvrit deux nouvelles avaleresses, en employant un nouveau procédé imaginé par M. Alphonse de La Roche, directeur gérant, et consistant à enfoncer dans le terrain un cuvelage cylindrique en tôle composé de plusieurs tronçons, reliés les uns aux autres par des boulons; ces puits avaient des diamètres respectifs de 5<sup>m</sup>,50 et de 2<sup>m</sup>,50. Les travaux furent arrêtés par le refoulement de l'eau et des sables qui écrasèrent les parties inférieures des cylindres (4).

De 1845 à 1847, M. de La Roche, convaincu de l'excellence de son

(1) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1848, t. VII, pp. 35-80.

(2) Lorsqu'on approfondit un puits existant ou que l'on enfonce un nouveau puits, l'excavation ou creusement s'appelle *avaleresse*.

(3) Heureusement qu'on n'en n'est plus là aujourd'hui!

(4) Les cylindres furent écrasés par *soufflage* ou venue subite du sable, comme on désigna cet accident à Strépy.



système, fit recommencer l'enfoncement d'un puits et, cette fois, l'opération réussit. M. *Bouhy* donne la description complète du procédé employé pour l'enfoncement du puits n° 3 de *Saint-Alexandre*.

Voici ce qu'il dit des *sables mouvants* :

« Le banc de *sables mouvants* est formé de couches de sable de couleur grisâtre, blanchâtre ou bleuâtre, dont le grain est *tantôt* très *fin*, tantôt assez *grossier*. Ces sables sont d'une mobilité excessive à cause de la *grande* quantité d'eau dans laquelle ils sont noyés; la masse est souvent divisée par de petits lits d'argile plastique, qui cependant n'isolent pas les eaux que contiennent les couches qu'ils séparent, probablement parce que ces bancs sont fissurés ou qu'ils ne se prolongent pas dans toute la masse des sables. On y a rencontré :

- » 1° Des couches assez puissantes de lignite très chargé de pyrites;
- » 2° Des poudingues, formés de cailloux de calcaires et de quartz, réunis par une pâte très pyriteuse et formant des masses souvent très volumineuses;
- » 3° Des blocs de calcaire, des morceaux de houille et quelques fragments de succin. »

III. — Creusement, à travers les sables boullants, d'un puits vertical de la mine de Bois-des-Vallées, à Piéton, district de Charleroi, par M. HANCART, sous-ingénieur honoraire des mines, directeur de charbonnages (1).

Le terrain houiller, dans l'étendue de la concession de Bois-des-Vallées, est recouvert par un *mort-terrain* renfermant trois couches de *boullant* :

- 1° Un sable gris sur 4<sup>m</sup>,07;
- 2° Un sable blanc sur 5<sup>m</sup>,52;
- 3° Un sable bleu sur 4<sup>m</sup>,57.

Les deux premières couches de *boullant* reposent sur de l'argile, alors que la troisième surmonte du sable non boullant; ces deux premières couches purent être traversées assez facilement par un boisage provisoire, tandis que la troisième demanda un procédé relativement compliqué, « le sable boullant faisant irruption dans la fosse et la remplissant en quelques secondes à environ 5 mètres de hauteur ».

(1) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1849-1850, t. VIII, pp. 249-255.

IV. — Creusement des galeries à travers les terrains mouvants, par M. V. BOUHY, aspirant et sous-ingénieur honoraire des mines (1).

« Au nombre des terrains que l'on est souvent obligé de traverser, soit pour atteindre ou pour assécher les gîtes de substances minérales, soit pour creuser des canaux, pour percer des tunnels, etc., il n'en est pas qui présentent plus de difficultés que les couches ou bancs de terrain meuble connus sous le nom de *sables mouvants*, de *sables boullants* ou, simplement, de *boullants*; en général, ils sont composés de sables siliceux à grains très fins noyés dans une quantité d'eau considérable et quelquefois telle que le mélange ne forme plus qu'une sorte de vase ou de boue liquide. Il est inutile d'insister pour faire comprendre ce que l'exécution de galeries dans de semblables terrains doit avoir de laborieux et de pénible : agissant, par suite de leur fluidité, à la manière des liquides, ils pressent, dans tous les sens, les parois des excavations et affluent incessamment dans les espaces déblayés par les moindres ouvertures laissées dans ces parois ou qui viennent à s'y former. Toujours l'attention doit être éveillée, l'ouvrier sur ses gardes, si l'on ne veut voir anéantir en quelques minutes le fruit du travail de plusieurs semaines et quelquefois de plusieurs années. Et cependant, cette lutte de tous les instants contre le flot envahisseur pour l'empêcher de se frayer un passage à travers le revêtement dont on garnit les parois n'est, pour ainsi dire, que peu de chose vis-à-vis des obstacles que l'on rencontre lorsqu'il s'agit de faire avancer la galerie; ici est, en effet, le difficile et quelquefois même l'impossible; entamer ce terrain coulant, aussitôt remplacé qu'enlevé, et cela sans être débordé, sans occasionner de vide dans la masse environnante, sans déterminer d'affaissements à la surface, sans rien enlever qui ne soit nécessaire, tel est le problème à résoudre et dont la solution a souvent échappé, heureux alors quand aux pertes de temps et d'argent ne vient pas se mêler le regret de la perte d'un plus ou moins grand nombre d'ouvriers, tout à coup surpris et submergés par la subite irruption de la matière liquide. »

Après avoir fait ce *sombre tableau*, M. Bouhy indique et décrit des

(1) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1849-1850, t. VIII, pp. 257-348.

procédés qui ont été employés *avec succès* pour la traversée du « *boulant* » (1) :

- 1° Par palplanches et cadres en fer;
- 2° Par palplanches et cadres en bois;
- 3° Par bouclier du système *Brunel*;
- 4° Par bouclier formé de *picots* (2) jointifs.

Le procédé *Brunel* a servi pour le percement du tunnel sous la Tamise entre Wapping et Rotherhite; le système par picots, imaginé par M. *Durieux*, a été appliqué par lui au percement d'une galerie d'écoulement à Saint-Vaast (3).

#### V. — Notice sur le procédé *Kind*, par M. J. CHAUDRON, sous-ingénieur des mines (4).

Le procédé inventé par l'ingénieur saxon *Kind* a principalement pour but de faciliter l'établissement des puits dans les terrains difficiles et notamment dans les *sables boullants* et les terrains aquifères en général, tels qu'on en rencontre fréquemment en Belgique.

L'emploi de l'air comprimé est impraticable quand la couche aquifère se trouve à une grande profondeur au-dessous du niveau des eaux (40 à 50 mètres?).

Le procédé *Kind* a pour but de faire disparaître les écueils contre lesquels on a échoué jusqu'à ce jour, ou tout au moins de réduire notablement les dépenses (4).

(1) Les amas de sables mouvants, dit M. Bouhy, sont souvent divisés en plusieurs couches distinctes par des bancs d'argile de peu d'épaisseur, qui se trouvent rarement dans une position horizontale; ils sont plutôt disposés de manière à former des espèces de bassins superposés qui divisent ainsi la masse de terrains mouvants en plusieurs couches distinctes que l'on peut assécher; sous ce rapport, ces bancs d'argile sont avantageux.

(2) Courts piquets en bois de chêne ou de hêtre, de forme conique.

(3) On avait fait une galerie dont l'avancement, *en un siècle*, dans les sables mouvants, ne fut que de 1150 mètres; des irruptions subites de la matière boueuse vinrent surprendre plusieurs fois les travailleurs et remblayer entièrement la galerie, après l'avoir détruite sur une grande longueur. En 1859, elle avait atteint 3500 mètres.

Le procédé *Durieux* fut aussi employé à Engis, à la Société de la Nouvelle-Montagne.

On trouvera, pages 344 à 348 du tome VIII des *Annales des Travaux Publics de Belgique*, le résumé des prescriptions relatives à la traversée du *boulant*. On y peut encore puiser d'utiles renseignements.

(4) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1853-1854, t. XII, pp. 327-338.

VI. — **Sur un cas d'affaissement du sol à Nimègue,**  
par M. E. BIDAUT, ingénieur en chef des mines (1).

La ville de Nimègue, située sur la rive gauche du Waal, est construite sur le penchant de collines à pente douce, qui prennent naissance à peu de distance de la rivière....

Un affaissement considérable s'est produit dans le sol et a fortement endommagé plusieurs constructions, établies entre la rivière et le pied de ces collines.

La cause des désastres est attribuée à l'existence, constatée d'ailleurs par le sondage, d'une couche de *sable mouvant* au-dessous de la partie affaissée.

Ce sable, en communication par divers petits canaux souterrains avec la rivière, s'y déverserait lentement, entraîné par la circulation des eaux et donnerait ainsi naissance à des vides qui, en se comblant, déterminent l'enfoncement du sol.

Dans les dépressions qui affectent les digues le long des rivières, on peut du reste distinguer :

- 1° Des *enfoncements* ou descentes brusques (*verzinkingen*);
- 2° Des *affaissements* ou descentes graduelles (*verzakkingen*);
- 3° Des *glissements* (*afschuivingen*) (2).

VII. — **Creusement de deux puits à travers les sables bouillants, par le moyen de l'air comprimé, au charbonnage de La Louvière,** par M. ALB. SIMONIS, sous-ingénieur au corps des mines (3).¶

La couche de sable bouillant avait 23 mètres d'épaisseur; elle reposait directement sur le Houiller et fut traversée par un cuvelage en tôle de 4<sup>m</sup>,58 de diamètre extérieur. M. Simonis indique les modifica-

(1) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1858-1859, t. XVII, pp. 93-101.

(2) Ce sont les termes employés par M. M. Conrad, ingénieur du Waterstaat, et Delpat, général du génie, membres de l'Académie royale des sciences, auxquels le Gouvernement hollandais s'était adressé à la suite de l'accident de Nimègue.

(3) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1859-1860, t. XVIII, pp. 5-69.

tions apportées au fonçage par l'air comprimé et l'on trouve dans son mémoire quelques renseignements sur les accidents qui peuvent se produire pendant le travail :

« Une première tentative avait échoué. On était parvenu à la profondeur de 42 mètres, lorsque tout à coup une venue d'eau et de sable, se faisant jour à travers le boisage et prenant en peu de temps des proportions formidables, fit irruption dans le puits et en provoqua l'éboulement avec une rapidité telle que les ouvriers qui travaillaient dans le fond n'eurent que le temps de remonter au jour. Le boisage, quoique construit très solidement, s'écrasa de proche en proche jusqu'à 10 mètres de la surface, sans qu'il fût possible d'arrêter les progrès du mal. Il se produisit autour de l'orifice un affaissement marqué du sol et l'on dut renoncer à reprendre le travail (1). Ce fait se rattache à un genre de phénomène que les mineurs nomment *soufflage* et qui se remarque assez souvent dans les *sables boullants*. »

« Il faut chercher l'explication de ce phénomène dans la formation, au milieu des sables, de cavités qui se remplissent d'eau ou d'un mélange d'eau et de sable... »

« Enfin, il peut y avoir dans la fosse injection d'une gerbe de sable, d'eau et d'air, malgré l'action de l'air comprimé (2). »

#### VIII. — Travaux exécutés en Belgique, par M. J. CHAUDRON, ingénieur au corps des mines (3).

Après avoir rappelé les insuccès du procédé *Kind*, M. Chaudron donne la *description* du procédé suivi pour l'exécution des puits de Saint-Vaast et de Péronnes. Dans un premier chapitre, il fait connaître les outils de forage, les cuillers à draguer, les tiges d'assemblage, la glissière d'échappement qui s'adapte entre ces tiges et l'outil, les moteurs, les instruments de sauvetage, etc.; dans un second chapitre, il expose quelques considérations sur la marche des appareils de sondage.

(1) Par les anciens procédés.

(2) Dans son travail, M. Simonis renvoie à la *Revue Universelle*, puis à l'*Annuaire de la Société des Arts, des Sciences et des Lettres du Hainaut*, dans lequel a été publiée une note de M. TASQUIN, ingénieur des arts et manufactures de l'École de Liège.

(3) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1859-1860, t. XVIII, pp. 169-287 et pp. 289-291.

**IX. — Appréciation du système de M. J. Chaudron,**  
par M. A. DE VAUX, inspecteur général des mines (1).

Dans une visite d'inspection de la mine de Péronnes, dit M. De Vaux, nous avons constaté avec satisfaction le succès complet obtenu par M. l'ingénieur Chaudron dans l'application du système Kind perfectionné par lui au forage des puits à travers les *terrains aquifères*.

La fosse Sainte-Marie, du charbonnage de Péronnes, laissait à désirer au point de vue de l'aérage. Un puits d'appel spécial étant devenu indispensable, la construction en fut décidée et commencée à la fin de juin 1859, et le 21 août 1860 elle était terminée moyennant une dépense d'environ 56,000 francs, à peine le quart de ce qu'aurait coûté ce travail par les moyens connus.

A cette époque, près de la moitié des terrains du *Couchant de Mons* étaient regardés comme à peu près inaccessibles à l'exploitation, à cause de la grande épaisseur des morts-terrains à traverser, des *sables bouillants* qui s'y rencontrent et de l'énorme quantité d'eau qu'ils recèlent.

**X. — Creusement d'un puits à travers les terrains aquifères,** par M. BLEES. (Traduction par MM. A. PELTZER et A. GREINER) (2).

« Cette notice très intéressante, qui montre le génie et la patience que le mineur doit déployer dans ses luttes avec la nature, principalement contre l'action des eaux, et qui témoigne également des moyens ingénieux dont l'homme peut disposer aujourd'hui, a été accueillie avec une véritable satisfaction par la Commission directrice des *Annales*..... »

On avait à peine enlevé 20 pieds de sable (1 pied rhénan = 0<sup>m</sup>,314), quand tout à coup le cylindre (cuvelage), se mettant en mouvement, descendit avec une rapidité effrayante et disparut sous les eaux; la sonde indiquait qu'il était descendu de 36 pieds d'un coup.....

(1) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1859-1860, t. XVIII, pp. 169-287 et pp. 289-291.

(2) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1863-1864, t. XXI, pp. 291-312.

XI. — Notice sur le creusement d'un puits à travers les terrains aquifères, etc., près Ruhrort, par MM. A. PELTZER et A. GREINER (1).

Avant d'atteindre le terrain houiller, on devait traverser 82 mètres de couches plus ou moins meubles offrant les plus sérieuses difficultés au creusement d'un puits; ces difficultés étaient telles que plusieurs sociétés voisines de *Ruhr et Rhein* ont interrompu leurs travaux.....

Le creusement comprit :

1° La descente de deux tours (puits) en maçonnerie pour traverser le *boulant (fliesssand)*;

2° La descente de plusieurs revêtements pour traverser les couches argileuses atteintes par les tours : *essais* de cuvelage en bois, en fer, en fonte;

3° Descente d'un revêtement en fonte par la méthode dite de *drage à niveau plein*.

XII. — Fonçage des puits à niveau plein par le procédé *Kind-Chaudron*. Note sur les travaux exécutés pendant l'année 1868, en Westphalie et en France, par M. J. CHAUDRON, ingénieur des mines (2).

M. Chaudron n'indique dans cette note rien de bien *spécial*; il y donne tous les détails divers relatifs à son mode de construction.

XIII. — Tunnel sous l'Hudson-River, en Amérique, par M. A. DE SOMER, sous-ingénieur des ponts et chaussées (3).

Le but du travail était d'établir, au moyen d'un tunnel sous l'Hudson, une communication directe entre New-York et Jersey-City.

La longueur du tunnel est de 3560 mètres. Il aboutit dans une gare souterraine-terminus au Broadway.

(1) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1864, t. XXII, pp. 249-282.

(2) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1869, t. XXVII, pp. 135-165, avec renvoi aux tomes XII, XVIII et XXV.

(3) *Annales des Travaux Publics de Belgique*, 1884, t. XLI, pp. 223-256.

La section *transversale* du tunnel montre deux tubes accolés en maçonnerie, avec chemise de tôle.

Le *profil en long* indique qu'il reste une épaisseur minimum de 6<sup>m</sup>,10 entre le sommet du tunnel et le fond du fleuve, et que l'ouvrage d'art est presque tout entier construit dans de l'*argile vaseuse*.

On eut recours, pour l'exécution du travail, à l'emploi de l'air comprimé.

La construction fut marquée par un très grave accident le 21 juillet 1880. Une fuite d'air comprimé se déclara, une brèche se produisit, le tunnel fut inondé de terre, de boue et d'eau et vingt hommes, dont l'ingénieur Woodland, — qui avait voulu rester le dernier pour veiller au sauvetage, — périrent suffoqués. Huit ouvriers purent s'échapper par le *sas à air*.

XIV. — Enfin, le tome L des *Annales* (1895), pages 159 à 256, renferme une très importante note de M. l'ingénieur des ponts et chaussées CHRISTOPHE, sur les **Fondations à l'air comprimé** pour la reconstruction de la passe navigable du barrage de Rivière, sur la Meuse (près Namur). Ce travail est la première application faite en Belgique de l'un des nouveaux procédés pneumatiques auxquels on a aujourd'hui recours à l'étranger pour réduire au minimum la quantité de fer perdue dans les fondations (1).

Que conclure de l'aperçu de ces *quelques études*? On peut dire que :

1° Le « boulant » est un ennemi sournois. (Voir nos II, III, IV, VI, VII, X.)

2° Le « boulant » est un ennemi dangereux. (Voir nos IV, VII, X, XIII.)

3° Le « boulant » n'est pas indomptable; et l'ingénieur possède bien des moyens pour le maîtriser. Outre les divers procédés que nous avons énoncés en faisant la revue des travaux publiés dans les *Annales*, on peut encore citer, notamment :

a) Le système *Poetsch* (par congélation du terrain);

b) Des *combinaisons* des divers systèmes.

(1) Pour les travaux à l'air comprimé des murs de quai à Anvers, voir, par exemple, le tome XLVII des *Annales*.