

SÉANCE SPÉCIALE POUR L'ÉTUDE DES SABLES BOULANTS DU 13 MAI 1902.

Présidence de M. A. Rutot, Président.

La séance est ouverte à 8 h. 40.

Correspondance :

M. *Deblon* a fait parvenir au Secrétariat un colis contenant du sable ayant été boulant et retiré des fouilles pratiquées en vue des fondations de l'aqueduc établi pour capter deux ou trois sources à Gaillemarde, territoire de La Hulpe, près Bruxelles, le long de la rive droite de l'Argentine. Ce sable était excessivement boulant et a donné lieu à de sérieuses difficultés pour l'exécution des travaux.

Il est mis à la disposition des collègues pouvant l'utiliser dans leurs études.

Communications des membres :

M. le *Secrétaire général* résume la lettre de M. le professeur *H. Höfer*, insérée au procès-verbal de la séance spéciale du « boulant » du 2 juillet 1901 (pp. 508-509), et donne lecture d'une nouvelle lettre du savant professeur, en réponse aux observations et objections qui ont été faites, au cours de cette séance, aux vues de M. Höfer.

ACADÉMIE IMPÉRIALE ET ROYALE
des mines de Léoben

24 octobre 1901.

CHAIRE DE MINÉRALOGIE ET DE GÉOLOGIE.

TRÈS HONORÉ MONSIEUR,

Je vous ai simplement communiqué deux faits (1), à savoir :

1° Que, par le simple enlèvement de l'eau, le sable boulant ne subit pas de diminution de volume.

2° Que dans le puits de secours creusé dans la concession *Anna*, à

(1) Voir séance spéciale du « boulant » du 2 juillet 1901, pp. 508-509 des *Procès-Verbaux* (pages 106-107 du tiré à part).

l'occasion de la catastrophe de Brûx, on rencontra un grès qui plus tard se transforma en sable boulant.

L'explication de ces faits, qui sont indubitables, sera variable suivant les personnes qui chercheront à les expliquer. Vous me demandez de vous donner ma manière de voir à ce sujet ; je me conforme à votre désir, malgré mon temps très limité.

AD. I. — Jusqu'à présent, il existait en Allemagne et ailleurs une erreur assez généralement répandue, qui consistait à croire que, par le simple enlèvement de l'eau, le volume du sable boulant était diminué. Je lus d'abord l'expression de cette erreur dans les différentes publications relatives à la catastrophe de Schneidemühl, occasionnée par le sable boulant. Bientôt après eut lieu le désastre de Brûx, et là, en ma qualité de géologue expert du Gouvernement, j'eus pour premier devoir de faire l'examen critique de cette question.

Le fait suivant m'était connu : La mine Rudiay près de Bilin enlève systématiquement l'eau de la couche de sable boulant, épaisse de 8 à 20 mètres, qui se trouve au-dessus du gisement des lignites. Cet enlèvement de l'eau se fait avant l'abatage du lignite. C'est pourquoi je me rendis en cette localité pour y recueillir le résultat des expériences faites. Le directeur, M. Rubesch, me dit que cet enlèvement de l'eau ne produisait jamais d'affaissement du sol. Je profitai de l'occasion pour demander à M. Rubesch de publier les résultats de ses travaux d'assèchement des sables bouillants, travaux intéressants et importants au point de vue pratique. Cette publication fut faite dans ma *Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, année 1896, n° 3.

Aujourd'hui, on commence aussi en Allemagne à abandonner l'erreur profondément enracinée de la prétendue diminution du volume. Ce fut d'abord M. le directeur Bernhardt qui, dans le Journal du « Verein » de la Silésie supérieure, déclara faux cet axiome, en se basant sur des mesurages exacts, dont quelques-uns se rapportaient à des nivellements de chemins de fer. En juillet de cette année, l'exemple donné par M. Bernhardt fut suivi par l'Oberbergrath royal prussien M. Graeff, qui explique, dans la revue hebdomadaire *Glück Auf*, que les experts du bassin d'Essen ont attribué de notables affaissements du sol au fait de l'enlèvement des eaux contenues dans les sables bouillants ; M. Graeff démontre alors que cette manière de voir est erronée. J'ai obtenu ainsi des alliés ou des appuis de premier ordre, attendu que ces deux messieurs connaissent très bien, par une longue expérience, les bassins charbonniers de la Silésie supérieure et de la Ruhr.

Ces faits se laissent facilement expliquer théoriquement, car dans le sable boulant, et à cause de la pesanteur, les grains de sable se trouvent serrés les uns contre les autres; ces grains ne peuvent pas nager dans l'eau. Si on enlève l'eau d'un tel sable, et si l'on ne lui enlève rien que de l'eau, ce qu'on appelle le « volume des pores » est rempli d'air. Il est impossible d'imaginer que les grains de sable se rapprochent les uns des autres.

On pourrait encore imaginer que le sable boulant a été flottant au moment où il était recouvert d'eau, mais alors il semble qu'il y aurait lieu d'admettre que l'eau recouvrant le sable boulant a pénétré dans ce sable; d'ailleurs, lorsque, par la congélation, on a traversé les sables bouillants, on a constaté qu'à la partie supérieure du sable bouillant congelé il ne se trouve pas de glace pure. Au contraire, le sable, depuis en bas jusqu'en haut, forme une masse compacte.

Je vous avoue volontiers que je lus avec méfiance l'ancienne hypothèse, lorsqu'elle parut dans les publications après la catastrophe de Schneidemühl. Je me réjouis en pensant qu'actuellement les expériences dans trois grands bassins houillers ont détruit cette ancienne erreur.

Les affaissements du sol ne peuvent se produire par l'enlèvement des eaux des sables bouillants que si l'on entraîne des sables par l'enlèvement des eaux.

AD. II. — Quant au fait qui s'est passé souvent dans le district de Brûx et qui consiste dans le percement de puits à travers du grès qui devint plus tard du sable bouillant, M. l'inspecteur général Muck publiera incessamment, dans ma *Revue*, le résultat de ses importantes observations. L'explication de ce phénomène est plus difficile. Je m'imagine que le sable bouillant contient dans ce cas un « corps liant » enlevé aux roches voisines. C'est peut-être un cas tout local. Quelquefois à la surface du sol nous observons des parties de grès dans du sable.

Si un grès est traversé et que ce grès est entouré de sable bouillant, ce grès au commencement laisse suinter peu d'eau. Par suite de la surpression hydrostatique, qui n'a pu se produire qu'après le creusement du puits, l'eau se fraie de plus en plus un chemin à travers les pores, entraîne le corps liant à peine durci, le grès perd peu à peu sa fermeté, redevient du sable bouillant et se confond avec la masse qui l'environne.

C'est ainsi que je m'explique la chose. Je serais toutefois heureux

d'admettre une autre explication, si elle me paraît plus plausible que la mienne.

Avec grand respect,

Votre dévoué,

H. HÖFER.

(Traduit par A. GOBERT.)

Ensuite de la manière de voir de M. Höfer, qui paraît différer sensiblement de celle d'un grand nombre de membres de la Section du Boulant, M. le Secrétaire général a cru utile de faire imprimer, sous forme d'épreuve préalable, la lettre de M. le professeur Höfer et de la faire distribuer, avec prière d'avis à formuler, aux membres de la Section du Boulant, ainsi qu'à un très petit nombre de personnes n'appartenant pas à la Société, mais qui, par leurs connaissances spéciales, pouvaient être utilement consultées sur cette question. C'est ainsi que nous avons obtenu l'avis, qu'on lira ci-dessous, de MM. les professeurs Vander Mensbrugge et Spring, respectivement des Universités de Gand et de Liège, ainsi que l'opinion de notre estimé collègue M. le Dr Otto Lang, et une note de M. le capitaine Rabozée.

On ne peut que regretter qu'un plus grand nombre de destinataires du document envoyé n'aient pas cru devoir prendre part jusqu'ici au débat ouvert par les communications de M. Höfer.

Avis de M. le professeur G. Vander Mensbrugge sur les communications de M. le professeur H. Höfer.

Melle, 9 mai 1902.

J'ai beaucoup de peine à admettre l'exactitude des faits signalés par votre correspondant, mais ce que je n'admets absolument pas, c'est son explication. Selon moi, il n'est pas exact que dans le sable bouillant les grains se trouvent serrés les uns contre les autres et ne peuvent nager dans l'eau. A mon avis, le sable est bouillant précisément parce que l'adhésion des grains à l'eau n'est pas assez forte pour empêcher le déplacement; la couche mouillante doit être très mince si l'on veut que les grains soient très cohérents. C'est du moins ce que j'ai constaté dans mes expériences de l'an passé.

En résumé, je m'inscris en faux contre la phrase de votre correspondant : « Il est impossible d'imaginer que les grains de sable se rapprochent les uns des autres. »

Toutefois je suis forcé de convenir que, dans les grands travaux, les choses peuvent se passer autrement que dans une expérience de laboratoire, où l'on n'a pas à compter avec différents facteurs qui exercent une influence incontestable sur les résultats. C'est pourquoi je me borne à faire toutes mes réserves sur les assertions de votre correspondant.

Veuillez agréer, etc.

G. VANDER MENSBRUGGHE.

Avis de M. le Professeur W. Spring sur les communications de M. le Professeur H. Höfer.

Liège, le 11 mai 1902.

Voici ce que je pense au sujet de l'imprégnation d'un sable boulant. Quand il s'agit d'un sable *en place*, situé à une profondeur suffisante pour que, par suite de la charge qu'il a à supporter, non seulement les grains de sable soient arrivés au contact *vrai*, mais encore qu'ils aient pris, l'un par rapport à l'autre, la position ayant pour résultat de donner à la masse totale le *plus petit volume possible* (par exemple, parce que les grains plus petits auraient trouvé à se loger dans les espaces compris entre les grains plus gros), alors je crois, avec Höfer, que l'enlèvement de l'eau qui peut imprégner ce sable ne causera pas nécessairement une diminution de volume.

Mais il doit en être tout autrement d'une masse de sable qui, au lieu d'être *encaissée*, comme cela a été supposé dans le cas précédent, est libre, au moins dans une direction. Une telle masse s'imprègne *de plus d'eau*, parce que, ainsi que j'ai eu l'occasion de le constater nettement, l'eau s'insinue entre les grains qui se touchaient et, les écartant les uns des autres par la *force capillaire*, augmente le volume total de la masse de sable.

Si, les conditions étant telles, on vient à enlever l'eau nécessaire à ce gonflement, il est clair que l'on constatera une diminution de volume.

On le voit très bien en opérant dans des tubes en verre chargés de sable noyé d'où l'on enlève l'eau par aspiration ou par simple égouttement.

J'ajouterai que je suis tout enclin à regarder comme seule matière *boulante* le sable imprégné d'eau jusqu'à *disjonction* des grains. Une masse de sable *encastrée*, pleine d'eau, ne doit, à mon sens, se mettre en mouvement qu'à partir du moment où, par suite de la suppression

de contre-charges dans une direction donnée, l'eau pourra exercer son action capillaire, s'insinuer entre les grains et produire la dislocation, puis l'éboulement de l'édifice.

W. SPRING.

Avis de M. Otto Lang.

Hannover, 10 décembre 1901.

MONSIEUR ET HONORÉ COLLÈGUE,

Il ne me paraît pas difficile d'expliquer le cas d'un sable qui devient boulant lorsque l'on fait dans ce sable un trou d'une grande profondeur. J'attribue le fait à la pression de l'eau, qui augmente avec la profondeur et qui modifie la stabilité du sable. On comprend que la fermeté du sable produite par l'agrégation de ses parties soit suffisamment grande pour résister à la pression de l'eau dans la partie supérieure de la couche; on comprend aussi que cette fermeté du sable ne suffise plus pour maintenir les parois d'un trou profond, puisque, au fur et à mesure de l'approfondissement du trou, la pression de l'eau augmente dans la profondeur à raison d'une atmosphère pour 10 mètres. Il n'est donc pas nécessaire d'accepter avec M. Höfer un changement dans le degré de fermeté du sable. D'après moi, la question du boulant est une simple question d'hydrodynamique. En vous priant de soumettre mon avis à la discussion de nos collègues, je vous présente mes meilleures salutations.

(Traducteur : A. GOBERT.)

OTTO LANG.

M. l'ingénieur *E. Putzeys*, comme suite à ces communications, fait observer que si l'enlèvement de l'eau contenue dans les sables boullants devait avoir comme conséquence une diminution du volume de sable, il est logique d'admettre qu'une imprégnation nouvelle à la suite de cet assèchement devrait forcément avoir pour conséquence une augmentation de volume.

Dans les zones sableuses du pays, on assisterait donc à des abaissements et à des relèvements incessants du sol.

En effet, si à de longues périodes de pluies qui ont relevé la couche aquifère succèdent de longues périodes de sécheresse, on pourra observer de grands abaissements de la nappe aquifère.

A ces abaissements doivent nécessairement correspondre (si la théorie qu'on nous expose est exacte) des descentes du sol.

Rien de semblable a-t-il jamais été dénoncé par des travaux de nivellement?

Admettons pour un instant que les choses se soient passées ainsi.

Viennent des années pluvieuses.

Le sol devra nécessairement se relever, puisque voici de nouveau le sable gorgé d'eau.

Si la nappe se rencontre à 20, 30 ou 40 mètres de profondeur, il faudra donc que toute cette masse superposée soit refoulée vers le haut, sans quoi un assèchement subséquent n'aurait plus comme résultat de réduire le volume du sable boulant!

Je ne crois pas qu'une telle théorie supporte l'examen. Sa moindre conséquence serait que l'imprégnation du sable, appelé à devenir bouillant par introduction de l'eau, développe une puissance dont on n'entrevoit pas l'origine. Si l'on était tenté d'ajouter que les fluctuations de la nappe aquifère, dans de semblables terrains, ne sont généralement pas importantes, on aurait à répondre que des galeries drainantes ou des puits peuvent créer des sillons ou des cônes d'assèchement où ces fluctuations seront considérables.

M. A. Fiévez dit que la remarque de M. Putzeys est parfaitement d'accord avec ses expériences de laboratoire. Si l'on prend une colonne de sable bouillant bruxellien, par exemple de 20 centimètres de hauteur, le sable étant sec ou humide, bien tassé ou non, on constate, lorsqu'on le mouille ou, suivant le cas, lorsqu'on lui enlève l'eau, que *le volume ne change pas d'une manière appréciable*, la hauteur de la colonne étant mesurée au dixième de millimètre. Pour que l'expérience réussisse, *il faut que les grains de sable ne soient pas dérangés de leur position*; on y arrive facilement en introduisant ou en enlevant l'eau par le bas du récipient. L'écartement que les lames liquides pourraient produire entre les grains de sable doit être tout à fait inappréciable à nos mesures ordinaires.

L'explication de l'honorable M. Vander Mensbrugghe ne pourrait donc suffire dans ces conditions.

M. le capitaine Rabozée donne lecture de la note suivante :

Note sur la question des sables bouillants.

Nous croyons pouvoir résumer et compléter comme suit les diverses opinions émises au sujet de la question des sables bouillants.

Il existe au sujet de ce phénomène deux idées qui paraissent contradictoires.

A. La première réside dans cette opinion, généralement admise, qu'un sable ne peut être boulant qu'à la condition que les grains soient disjoints, chacun d'eux étant complètement entouré d'eau de façon que l'ensemble forme un liquide hétérogène. Nous appellerons cette masse *un sable gorgé d'eau mais incomplètement tassé*, ou bien *un sable sursaturé*.

B. La seconde idée consiste dans cette constatation que certains sables positivement reconnus comme bouillants ne subissent pas de diminution de volume par simple enlèvement d'eau, c'est-à-dire par drainage; nous appellerons cette masse *un sable strictement gorgé d'eau mais tassé au maximum*.

Dans un tel sable, en effet, la quantité d'eau est strictement suffisante pour remplir les vides entre les grains au contact et tassés au maximum, et insuffisante pour mettre la masse dans l'état « gorgé d'eau et incomplètement tassé ».

Mais cette contradiction pourra bien n'être qu'apparente.

Supposons, en effet, dans un récipient étanche, un sable strictement gorgé d'eau et tassé au maximum. Pratiquons-y une ouverture; la contre-pression de l'enveloppe disparaissant, un éboulement va se produire et les grains vont se déplacer les uns par rapport aux autres. Dès lors, la pression maintenant les grains au contact disparaissant et les forces capillaires entrant en jeu, l'eau va disjoindre les grains, faire gonfler la partie qui s'écoule et qui se transforme en un « sable gorgé d'eau mais incomplètement tassé », en bouillant proprement dit.

Cependant, pour qu'il en soit ainsi, il faut que la partie qui coule prenne un excès d'eau; cette eau ne peut être prise que par filtration, aux dépens de la masse voisine, continuellement alimentée par la nappe aquifère (1).

(1) Il est bien entendu que le phénomène du « bouillant » peut encore se concevoir en considérant un sable strictement saturé, mais dont l'arrangement des grains, supposés au contact, n'est pas celui qui répond au minimum des vides. On peut supposer que les petits éboulements successifs, vers la fissure par où le sable flue, ont pour résultat de modifier les positions relatives des grains en supprimant les contacts et en amenant la *sursaturation* avec augmentation de fluidité, sans modification de proportion d'eau ni de volume total de la masse. (Voir Procès-Verbaux des séances 1901, p. 137.)

Mais le but de cette Note est uniquement de montrer que même les deux idées extrêmes peuvent se concilier : un sable strictement gorgé d'eau et tassé au maximum peut devenir bouillant en se sursaturant par appel d'eau au fur et à mesure de l'écoulement.

La démonstration de cette hypothèse pourrait sans doute être faite facilement par l'expérience suivante :

Le sable ayant coulé serait recueilli dans un vase où il reprendrait l'état « gorgé d'eau mais tassé au maximum », simplement par l'action de la pesanteur ou en s'aidant de la pression.

S'il y a eu réellement changement dans l'état de la masse, on doit retrouver de l'eau en excès.

Si les hypothèses précédentes étaient reconnues exactes, on pourrait évidemment en déduire que la propriété de devenir boulant dépendrait :

- 1° Des dimensions des grains de la masse pulvérulente;
- 2° De leurs formes;
- 3° Peut-être de leur nature.

En effet, la cause réelle du boulant résiderait dans les phénomènes capillaires, et ceux-ci dépendent uniquement des causes que nous venons d'énumérer.

Ixelles, le 15 mai 1902.

H. RABOZÉE.

M. l'ingénieur *Casse* observe qu'un sable ne peut être boulant lorsqu'il n'est pas mélangé d'éléments vaseux, limoneux. Je ne puis admettre, dit-il, qu'un sable pur soit boulant, ce sable ne peut être qu'entraînable lorsqu'il se trouve en présence d'une quantité d'eau plus considérable que celle qu'il peut absorber. Je maintiens la définition que j'ai donnée du sable boulant lors du premier exposé que j'ai eu l'honneur de faire en juillet 1901 à la Société.

Dans certains cas particuliers, il est possible d'admettre la théorie de M. Höfer, qu'un sable ne se tasse pas lorsqu'on laisse écouler l'eau qu'il contient. Nous pouvons admettre, en effet, que, dans la nature, le sable est soumis à une compression énergique, et que si les parties limoneuses qu'il renferme ne dépassent pas en volume les vides existant entre les grains de sable, il est dès lors admissible que, les grains de sable venant se toucher, il y a incompressibilité et que, par le drainage, le sable ne pourra se tasser. Cependant il est possible que, si l'on se trouve en présence d'un sable boulant dont les éléments vaseux, limoneux, sont plus volumineux que les grains de sable, il y aura tassement par drainage. En effet, les parties vaseuses, etc., se trouvant en parfaite association avec l'eau, celles-ci seront partiellement entraînées en même temps que l'eau et il pourra, par suite, se produire une diminution de volume de la masse et, par conséquent, il y aura tassement.

Pourquoi ne pourrait-on se figurer que, dans le principe, alors que les dépôts de sable se sont formés, et grâce précisément à leur grande perméabilité, des terres vaseuses, limoneuses, y ont été entraînées précisément à cause de leur grande affinité pour l'eau? Il serait, dans ces conditions, évident qu'un sable boulant ne pourrait être diminué de volume par drainage. D'ailleurs, le limon, l'argile ont des qualités toutes différentes de celles du sable; ces terres ont une très grande affinité pour l'eau, l'eau entoure chacun de leurs éléments, tandis que pour le sable cette propriété n'existe pas : le sable s'imbibé par capillarité, il n'a que peu d'affinité pour l'eau. Quoi d'étonnant, dans ces conditions, que l'entraînement du sable est d'autant plus aisé que les quantités limoneuses, etc., qu'il contient sont plus considérables? Je reviendrai sur ces considérations dans l'exposé que j'aurai l'honneur de faire dans un instant.

On doit alors en conclure, dit M. Rabozée, qu'une boue d'argile dans l'eau se tasse instantanément, ce à quoi M. Casse répond par l'affirmative.

M. van Ertborn fait remarquer que tous les sables sont mouvants lorsqu'on abaisse trop rapidement le niveau de la nappe aquifère. Il a constaté le fait depuis de longues années au cours de ses nombreux sondages.

Lorsque, au contraire, on charge le niveau de la nappe, en versant de l'eau dans le trou de sonde, les couches sableuses se maintiennent parfaitement par l'effet de la pression en sens inverse.

M. Van den Broeck émet l'avis qu'il y a malentendu au sujet des définitions des éléments en discussion et, à l'appui de cet énoncé, cite le paragraphe suivant, contenu dans la lettre du 21 octobre de M. Höfer, après la déclaration que le drainage des sables bouillants serait sans action sur le niveau de la masse sableuse ainsi asséchée :

« Ces faits se laissent facilement expliquer théoriquement, car dans le sable bouillant, et à cause de la pesanteur, les grains de sable se trouvent serrés les uns contre les autres; ces grains ne peuvent pas nager dans l'eau. Si on enlève l'eau d'un tel sable, et si l'on ne lui enlève rien que de l'eau, ce qu'on appelle le « volume des pores » est rempli d'air. Il est impossible d'imaginer que les grains de sable se rapprochent les uns des autres. »

M. Höfer appelle donc ici « bouillant » un sable qui *peut le devenir* et non pas un sable à l'ÉTAT bouillant, et il base son raisonnement sur cette définition erronée.

Dans le sable à l'état *boulant*, les grains quartzeux ne sont nullement rapprochés les uns des autres, ils nagent et sont en mouvement au sein du liquide dont une certaine proportion les maintient à distance les uns des autres. L'état *boulant* est celui où le MOUVEMENT de la masse contrebalance et dépasse les forces d'attraction moléculaire qui, elles, amènent les grains sableux à se rapprocher les uns des autres. C'est d'ailleurs ce qui résulte des communications qui viennent de nous être faites par MM. Spring et Vander Mensbrugge, et plus spécialement de celle, si clairement exposée, de M. Rabozée.

En ce qui concerne le point soulevé par M. Casse de savoir si les interstices du sable boulant sont ou ne sont pas complètement remplis par des impuretés, M. Rutot ne croit nullement que la qualification de boulant implique la présence nécessaire d'impuretés (limon ou argile), ainsi que le pense M. Casse.

M. Rutot est d'avis qu'un sable quartzeux absolument pur peut devenir aussi boulant qu'un sable dit impur, c'est-à-dire contenant de minimes particules limoneuses, argileuses ou autres, de petite taille.

Après quelques observations complémentaires de MM. Kemna et Van den Broeck sur ce dernier point, et conformes à l'opinion de M. Rutot, M. Casse se demande s'il ne serait pas possible, dans le cas spécial des sables de Brûx, que nous nous trouvions en présence d'un terrain qu'on nomme « imprégnable », c'est-à-dire dont les éléments se trouvent dans un état d'équilibre parfait, grâce aux actions moléculaires énergiques qui s'y trouvent développées entre les grains de sable et l'eau qu'ils renferment. Si, en plus de ces actions moléculaires énergiques, on peut admettre une combinaison chimique qui stimule l'adhérence, ne pouvons-nous admettre que, si l'on perce semblable terrain par un puits, on vienne à rompre cet équilibre, que la présence de l'air va détruire la légère action chimique produite et que précisément, grâce au peu d'affinité de l'eau pour le sable, nous verrons une liquéfaction se produire et le terrain devenir boulant.

M. Rutot s'aperçoit que M. Casse doit comprendre le boulant autrement que beaucoup de membres présents, et notamment que M. Rabozée. M. Casse semble n'accorder la qualification de boulant qu'aux sables plus ou moins impurs qui s'éboulent *sous l'eau seulement*. Telle n'est pas la manière générale de comprendre le boulant exprimée par la majorité des membres, qui appellent boulant tous les sables qui s'écoulent comme un fluide *lorsqu'on cherche à y creuser des tranchées ou des galeries à sec*.

M. Rutot déclare se rallier de la manière la plus complète à ce qu'a

exposé M. Rabozée, et il ajoute que dans l'expérience indiquée par le savant officier du génie, si l'on n'ajoutait pas d'eau dans le vase, l'écoulement du sable cesserait bientôt, parce que la partie bouillante aurait entraîné une quantité d'eau supérieure à la moyenne d'eau répartie dans la masse et qu'ainsi la quantité de sable restante, ayant été drainée, ne renfermerait plus assez d'eau pour que toute la masse expérimentée conserve l'état bouillant.

L'Assemblée aborde ensuite la discussion du second point de la lettre de M. Höfer, c'est-à-dire celui où il est question du *grès qui peut devenir du sable bouillant*; point déjà rencontré dans la lettre ci-dessus de M. O. Lang.

M. le baron *van Ertborn* ne peut admettre que des grès de *dureté moyenne*, c'est-à-dire ceux qu'il serait fort difficile de percer à l'aide d'outils à rotation, ce en exceptant bien entendu ceux du système à diamant, puissent se réduire en sable au bout de quelques jours. Il a percé fréquemment dans le Landenien inférieur des couches de sable agglutiné séparant les psammites. Ces sables agglutinés constituent les grès les plus friables; il doute fort qu'ils puissent se désagréger en un temps très court, même en étant soumis aux influences atmosphériques.

M. *Rutot* connaît très bien les niveaux concrétionnés de la partie moyenne du Landenien inférieur. Parfois le sable agglutiné se laisse écraser sous le doigt, et cependant, malgré cette faible cohésion, M. *Rutot* n'a jamais eu connaissance d'un cas où ce sable agglutiné se soit transformé en bouillant lorsqu'il est compris dans une nappe aquifère. La présence de l'eau, même en abondance, ne suffit pas pour désagréger le sable faiblement agglutiné.

M. *Van den Broeck* émet l'hypothèse d'un sable légèrement agglutiné par un ciment calcaire; l'eau, attirée par la rupture d'équilibre hydrostatique amenée par le forage, arriverait en abondance anormale et, en dissolvant le calcaire, donnerait ainsi naissance à un sable dégagé de ses causes de cohésion et pouvant alors devenir bouillant.

M. *Rutot* ne croit pas que le simple passage de l'eau d'un niveau aquifère suffise pour faire disparaître rapidement par dissolution la quantité de calcaire strictement suffisante pour consolider légèrement un sable calcareux; la quantité d'acide carbonique nécessaire ferait défaut.

Du reste, nous avons sous les yeux l'exemple de sables calcareux faiblement agglutinés par le calcaire, tels que ceux appartenant au Lédien, au Laekenien et surtout au Bruxellien supérieur.

Il est revenu souvent à M. Rutot que l'on peut creuser des galeries drainantes et des puits dans ces sables noyés d'eau, sans qu'ils présentent, pendant longtemps, des traces de désagrégation.

M. De Schryver est d'accord avec M. Rutot sur ce point; il a pu en faire l'expérience lors de la construction de la gare de Baulers. Le sable bruxellien, dont parle M. Rutot, ne devient pas boulant sous le niveau de l'eau.

M. Fiévez fait remarquer qu'un sable peut devenir boulant s'il ne l'était pas dans certaines conditions; ainsi les sables calcaireux ne sont, en général, pas boulangers.

M. Fiévez a fait des expériences sur un sable bruxellien calcaireux qui n'était pas boulangier. En dissolvant le calcaire qui enrobait les grains et surtout les plus petits, le sable était devenu boulangier et en présentait les caractères.

Ce point fait précisément l'objet de son travail mis à l'ordre du jour de la séance.

M. Rutot est d'avis que dans le cas de Brûx, signalé par M. Höfer, il s'agit d'un cas tout à fait spécial, qu'il ne faut nullement généraliser. Nous ne nous faisons aucune idée de l'aspect, de la nature, de la dureté réelle du grès dont parle M. Höfer, qu'il déclare être de dureté moyenne, et qui peut assez rapidement se transformer en boulangier. C'est un type de roche qui nous est inconnu et dont il serait très désirable que nous puissions recevoir des échantillons à l'état normal, c'est-à-dire dur, et à l'état désagrégé conduisant au boulangier par imbibition.

M. Van den Broeck pense qu'il s'agissait d'un sable gréseux calcari-fère et non pas d'un grès proprement dit, car ce dernier n'aurait pas pu donner de l'eau abondante, d'autant plus qu'il n'est pas question de grès fracturés, comme nos grès rocheux primaires. Il propose de demander à M. Höfer un échantillon de la roche à laquelle il fait allusion dans sa lettre. (*Assentiment.*)

M. Casse objecte qu'il y a des terrains *imprégnables*, c'est-à-dire dont les grains sont d'une finesse telle que l'eau ne passe au travers que sous une pression assez forte. Dès lors, si l'on touche à ces terrains par un forage ou autrement, on en transforme la stabilité, ou plutôt on détruit celle-ci, et l'on en modifie les conditions d'équilibre.

M. le Président déclare close la discussion sur les lettres de M. Höfer, du moins jusqu'au moment où, pour en élucider le second point, nous serons en possession d'un échantillon de la roche, tant à l'état cohérent naturel qu'à l'état de sable devenu boulangier.

M. Casse donne ensuite lecture de son travail intitulé :

QUELQUES MOTS A PROPOS D'HYDROLOGIE.

LE RÔLE DE L'EAU DANS LES SABLES BOULANTS

PAR

A. CASSE,

Ingénieur civil.

La lecture du rapport, *Essai de terminologie hydrologique*, présenté au V^e Congrès d'hydrologie médicale, de climatologie et de géologie, par mon honorable ami, M. Th. Verstraeten, m'a suggéré l'examen de quelques faits caractéristiques, que j'ai cru intéressant de vous communiquer.

Le but que je me propose est de vous entretenir du rôle de l'eau dans les terrains en général et particulièrement des conséquences de sa circulation et de sa pénétration dans le sol.

Pour faciliter la démonstration des théories que je vais me permettre de vous exposer, je diviserai les terrains en trois catégories principales : les terrains *imperméables*, les terrains *perméables* et les terrains *imprégnables*. Nous allons examiner rapidement ce qui les caractérise, quelles sont les conséquences de la présence de l'eau qu'ils renferment et comment cette eau circule ou se combine dans lesdits terrains.

Terrains imperméables. — Perméable vient du grec *pera*, qui signifie : au delà, et du latin *miabilis*, où l'on peut passer; perméable veut donc dire passer au travers, imperméable ne pouvant passer au travers.

La perméabilité d'un corps est chose relative; tout corps se laisse traverser par un fluide, pourvu qu'il y ait pression suffisante; mais dans le sens que nous y attachons, l'imperméabilité ne doit être considérée que dans les conditions de pression normales et en prenant les terrains tels que nous les rencontrons dans le sol.

Un terrain imperméable, d'après la définition que le mot lui-même lui donne, ne doit donc pas se laisser traverser par l'eau, ni par écoulement ni par suintement. Mais un terrain peut être imprégnable, c'est-à-dire absorber l'eau sans la laisser s'écouler, tout en restant intimement lié avec elle, et c'est probablement par suite de son imprégnabilité,

comme nous allons le voir, que l'argile, par exemple, est imperméable.

L'argile sèche, celle qui a perdu son eau naturelle par évaporation et qui sera placée dans l'eau, voire même dans un milieu très hygrométrique, va s'imprégner d'eau; au bout d'un certain temps, étant imprégnée, de dure et fissurée qu'elle était, elle va se ramollir et redevenir compacte, elle va se gonfler, les fissures qui s'y étaient produites par la dessiccation auront, en effet, disparu. Les anciens l'avaient si bien compris, ils étaient si persuadés de ce fait, que les toitures de leurs habitations, comme nous le voyons encore en Orient, étaient formées de plates-formes en argile, qu'on humecte aussitôt que, par une trop grande dessiccation, des fissures ont commencé à se produire.

Mais à quoi est dû ce gonflement de l'argile?

Ne paraîtrait-il pas que par suite de la grande affinité de l'eau pour l'argile, il se fait que l'eau vient entourer chacune de ses molécules, que celles-ci sont, par suite, forcées de s'isoler en quelque sorte les unes des autres, de faire de la place à l'eau pour lui permettre de les entourer?

L'argile, en effet, n'est point, hydrologiquement parlant, poreuse après dessiccation. Ne voyons-nous pas (1) que, lorsque l'argile a été bien imbibée et qu'elle a été soumise à une dessiccation suffisamment prolongée, le liquide des couches mouillantes s'évapore peu à peu, les molécules sont obligées de se resserrer de plus en plus? Elle devient tellement compacte que, dans l'ensemble, il se produit nécessairement des crevasses plus ou moins larges et profondes.

Je pose donc en fait que, humide, l'argile ne se laisse guère traverser par l'eau; l'eau ne se place pas dans ses pores, par conséquent elle ne se mouille pas par capillarité, et, tenant compte de cette propriété de l'argile, on est conduit à dire que l'effet de l'eau sur l'argile consiste à isoler chacune de ses molécules, que l'argile se comporte vis-à-vis de l'eau comme l'eau vis-à-vis d'elle-même par attraction moléculaire. Mouillez l'argile réduite en poudre, aussitôt ses molécules viennent adhérer l'une à l'autre; mouillez du sable pur, aucune adhérence ne se produit entre ses grains; en faut-il davantage pour démontrer cette affinité? L'eau forme pour l'argile un élément naturel qui a la propriété de congutiner ses molécules entre elles, et M. Vander Mensbrugge, dans le travail que nous venons de citer, se

(1) Discours de M. le professeur Vander Mensbrugge « sur une triple alliance naturelle ». — Université de Gand. Ouverture solennelle des cours, 1901-1902. Gand, broch. in-8°, 1901.

demande si l'eau mouillante est constituée comme l'eau ordinaire. L'expérience l'a conduit à une réponse négative, et, s'appuyant sur des calculs et de nombreux faits, il a conclu que l'eau mouillante est dans un état de condensation plus prononcée que celle de l'intérieur de la masse. Quoi d'étonnant, ajoute-t-il, que les particules extrêmes des corps solides exercent contre celles de l'eau des chocs énergiques, malgré l'excessive minceur ($1/20\ 000^{\text{mm}}$) des couches en présence? Il s'ensuit que la densité de la couche mouillante, composée à la fois de molécules solides et de molécules liquides, devient plus forte que celle de l'intérieur. Nous en concluons qu'une différence très notable existe entre l'eau contenue dans les tubes capillaires et celle qui, comme l'argile, entoure chacune de ses molécules.

Dans le mémoire de M. Spring, *Recherches expérimentales sur la filtration et la pénétration de l'eau dans le sable et le limon*, l'auteur, à la suite d'une expérience qu'il a faite sur la perméabilité de l'argile, conclut que l'argile non comprimée est perméable, bien que dans une faible proportion.

Quelque contradictoire que puisse paraître l'expérience de M. Spring, j'estime qu'elle ne fait que confirmer la théorie que je viens d'exposer. Nous avons dit, en effet, que nous prenions les terrains tels que nous les rencontrons dans le sol. En faisant son expérience, M. Spring a pris une boue d'argile bien délayée; au bout d'un mois, dit-il, la filtration était extrêmement ralentie, sans devenir nulle, et je me demande si, au cas où son expérience aurait duré le double de temps, par exemple deux mois, il se fût encore produit une filtration quelconque. N'aurait-il pas fallu au moins ce temps pour que cette argile eût pu reconstituer les molécules dans leur état d'équilibre définitif? Enfin, M. Spring a fait son expérience à l'aide d'un tube en verre de 2 centimètres de diamètre. N'y a-t-il pas eu de filtrations entre l'argile et le tube en verre? Je serais assez tenté de le croire, et je pense, à la vérité, que, pour faire une expérience absolument concluante, il y aurait lieu de faire des expériences comparatives, c'est-à-dire de voir si, à l'aide d'un tube d'une section trois ou quatre fois plus grande, les quantités d'eau filtrées resteraient proportionnelles. Il est d'autre part incontestable, et la nature elle-même nous le démontre, que plus l'argile est comprimée, plus elle est imperméable; l'imperméabilité est par conséquent relative, mais elle existe toujours.

La quantité d'eau que l'argile pourra absorber varie suivant sa nature. N'est-ce pas la plus compacte, la plus imperméable qui absorbera la plus grande quantité d'eau? Nous savons que le sable sec et fin

a une densité de 1.40 et que certaines argiles sèches et maigres ont une densité de 1.52, tandis que les argiles les plus grasses, lorsqu'elles sont humides, ont une densité de 2.85; il faudrait donc, pour que le sable eût une densité égale à l'argile, qu'il eût 145 % de vides et que l'argile maigre en eût 135 %, et nous savons qu'il n'y a guère de terrains dont les vides atteignent plus de 65 %. Dans notre mémoire sur les sables boullants, nous avons conclu que ce vide atteignait au maximum 65.6 %.

Les argiles maigres contiennent du sable, et le sable, ayant moins d'affinité pour l'eau que l'argile, tient la place d'éléments d'argile plus lourds que lui; la quantité d'eau que cette argile absorbe est donc moindre que celle absorbée par les argiles grasses.

Les chiffres que nous venons d'indiquer sont des limites; aux argiles ordinaires, on n'attribue, en effet, qu'une absorption d'eau de 50 à 55 %, tandis que pour les sables cette absorption descend à 35 et 30 %.

Comme conclusion, nous pouvons affirmer que l'argile ne possède pas de petits canaux, de petits tubes de circulation. Ses éléments constitutifs étant microscopiquement petits (un grossissement de 500 diamètres ne permet pas de distinguer l'un d'eux), l'eau ne peut, grâce à l'absence de ces canaux, la traverser, elle ne peut que l'imprégner, entourant chacune de ses molécules jusqu'au moment où elle devient imperméable.

Voici du reste une petite expérience qui prouve combien est grande l'affinité de l'eau pour l'argile comparativement à ce qu'elle est pour le sable. Prenez un même volume de sable sec et d'argile sèche pulvérisée, imbinez-les tous deux d'une même quantité d'eau, placez cette argile et ce sable ainsi imbibés sur un filtre: l'eau aura bientôt fait d'abandonner le sable, tandis que l'argile aura conservé son eau, qui ne pourra lui être enlevée que par évaporation.

Terrains perméables. — Ainsi que nous l'avons vu, perméable signifie pouvant être traversé. Il ne faut pas confondre poreux avec perméable. Il existe une différence sensible entre ces deux propriétés, bien que certains auteurs leur donnent la même signification.

Un terrain poreux peut toujours absorber l'eau, mais ne pas toujours la rejeter: il y a pénétration sans rejet. Dans les terrains perméables, l'absorption se fait par capillarité, et les éléments constitutifs de ces terrains peuvent parfaitement n'avoir que peu d'affinité pour l'eau; la distinction est, pensons-nous, assez sensible; par les effets de la capillarité, nous ne modifions pas l'état d'équilibre des molécules des terrains

perméables; l'eau ne vient pas, en effet, entourer isolément chacune de celles-ci, elle vient se loger dans l'infinité de tubes capillaires ou de pores qu'ils renferment.

Nous entendons par terrain perméable celui qui, sans excès de pression, se laisse traverser par l'eau; c'est ainsi que se comportent les sables en général, et nous verrons tantôt que plus un sable est composé d'éléments homogènes sans mélange d'autres terres et plus les grains sont gros, plus grande est sa perméabilité, mais au moins aussi grande est également son affinité pour l'eau.

C'est ainsi qu'une ville de Bulgarie (Bourgas, sur la mer Noire) ne s'alimente que de l'eau filtrée naturellement au travers d'une couche de sable de 5 à 6 mètres d'épaisseur; l'eau est captée par un puits placé au milieu de la plaine de sable, et il arrive qu'après une longue période de sécheresse, il y a pénurie d'eau; le sable en question est coquillier et assez gros.

Il est certain, comme le dit Dupuit dans son ouvrage sur la recherche et l'emploi des eaux souterraines, que l'eau de pluie est filtrée à travers le sol jusqu'à la première couche imperméable; elle s'écoule tantôt directement par le mouvement lent qui est le propre des terrains perméables, tantôt par un mouvement plus rapide au moyen des canaux naturels creusés par le passage continu du courant. L'action incessante de l'eau qui traverse ces terrains en a modifié la constitution sur plusieurs points, soit en dissolvant les éléments qui les composent, soit en les entraînant mécaniquement.

Il s'est formé ainsi dans certaines directions des espaces vides dans lesquels l'eau a pu librement circuler. Les masses perméables sont donc sillonnées çà et là de petits ruisseaux souterrains; c'est un drainage naturel, irrégulier, incomplet, mais qui fonctionne absolument comme les drainages artificiels qu'on fait aujourd'hui.

Je pense avoir ainsi nettement défini la manière dont l'eau se comporte dans les sables, et avoir donné une idée très nette et exacte de ce qu'on doit entendre par perméabilité d'un terrain dans toute l'acception du mot.

Terrains imprégnables. — Se désignent ainsi des terrains pouvant être sursaturés d'eau, c'est-à-dire être susceptibles d'absorber une quantité d'eau plus considérable que ne le comporte le volume des vides qu'ils renferment. Ces terrains forment en quelque sorte une transition entre les terrains perméables et les terrains imperméables. Nous pensons que ce phénomène est dû aux frottements intenses existant dans les parois des tubes capillaires que forment leurs pores, et que ce n'est que grâce

à une pression supérieure à la pression atmosphérique pouvant vaincre ces frottements que l'eau les traversera.

Je citerai ici un exemple typique de ces propriétés.

Lors de la construction d'une partie du barrage de Rivière, sur la Meuse, j'avais établi un caisson métallique à air comprimé dont l'une des parois était formée par l'un des bajoyers de l'écluse; ce mur avait plus de 1^m,50 d'épaisseur, et cependant l'air comprimé le traversait parfaitement, tandis que, pendant le travail, il fallut recourir à l'argile pour boucher le joint entre le bajoyer et les tôles du caisson, et ce bouchage était absolument satisfaisant, malgré les imperfections d'adhérence entre l'argile et le mur, d'une part, et les parois en fer, d'autre part; le mur et l'argile étaient cependant saturés d'eau; le mur pouvait absorber l'eau sans le laisser traverser, mais il n'était pas imperméable à l'air; l'argile, au contraire, était imperméable à l'air, et si l'on avait pris la précaution d'enduire le mur d'une mince couche d'argile, il est certain qu'il aurait été rendu imperméable.

Nous disons donc que ce genre de terrains dans des conditions normales absorbent l'eau et ne la rendent que sous un excès de pression. Une distinction est cependant à faire : l'absorption d'eau peut être plus ou moins élevée, suivant la nature du terrain. Les sables boullants sont susceptibles d'absorber une énorme quantité d'eau. Cette nature de sables s'assimile en quelque sorte avec l'eau, l'eau les entraîne avec elle, et nous constatons que, contrairement à ce qui se passe pour les terrains perméables, ainsi que nous l'avons vu il y a un instant, nous n'aurons pas ces petits drains naturels comme pour les sables purs, il ne s'y trouvera pas de ces petites rivières dans lesquelles l'eau pourra circuler librement; le mélange du terrain et de l'eau existera toujours, ils se trouveront toujours associés. Pour les disjoindre autrement que par évaporation, il faudra une cause anormale qui vienne rompre leur état d'équilibre naturel.

Nous en concluons qu'un sable n'est en réalité boullant que lorsque une partie de ses éléments ont assez peu de poids pour être entraînés par l'eau; c'est la confirmation de la définition du sable boullant que j'ai donnée lorsque j'eus pour la première fois l'honneur de vous entretenir de ce genre de terrains.

Examinons maintenant si, par la disposition des éléments d'un terrain quelconque, nous pourrions conclure des différentes manières dont se manifeste son hydraulicité.

Les molécules d'un terrain quelconque peuvent prendre des dispositions à l'infini en ce qui concerne leur groupement et leurs dimen-

sions. A l'examen d'une disposition quelconque, nous nous rendons compte immédiatement à l'évidence que, plus les éléments sont uniformes, plus les vides sont relativement grands, c'est-à-dire en rapport avec les éléments qui composent le terrain, mais que plus il y aura de différence de grandeur entre ces éléments, plus les vides deviendront petits; que si ceux-ci devenaient microscopiques, les vides le deviendraient également et que, à un moment donné, toute porosité, tout petit canal ou tube capillaire viendrait à disparaître.

Le sable a un grain toujours appréciable, il sera par conséquent toujours perméable, c'est-à-dire se laissera traverser par l'eau d'autant plus facilement qu'il aura le grain plus gros, et si ce sable était impur, c'est-à-dire mélangé d'éléments d'argile, de limon, etc., ceux-là seraient entraînés à la faveur de leur affinité pour l'eau et de la grandeur des tubes ou canaux capillaires. Cependant, si ces éléments hétérogènes sont suffisamment abondants, il pourra se faire que le sable perdra de sa perméabilité, mais il pourra absorber l'eau jusqu'au moment où la quantité d'eau sera suffisante pour que le terrain ne puisse plus s'opposer à la fluidité qu'il a acquise; le terrain sera entraîné et le sable deviendra ce qu'on est convenu d'appeler boulant.

Les différents degrés de perméabilité d'un terrain peuvent donc aller à l'infini; le degré de perméabilité dépendra également de la quantité de sable qu'il contient; les grains de sable constituent des corps mobiles sans affinité aussi grande pour l'eau que les éléments de limon ou d'argile, et l'eau trouvera, de par ce fait même, une issue le long des grains de sable, et si ce terrain est vierge de sable, il devra devenir nécessairement imperméable, après que tous ses éléments auront pris leur position d'équilibre définitif : tel sera le cas pour l'argile pure.

En terminant cette première partie de mon exposé, je ne puis m'empêcher de faire remarquer que le limon et l'argile, tout en ayant des qualités d'affinité presque analogues pour l'eau, se caractérisent principalement par leur grande différence de densité, comme le montre d'ailleurs ce fait expérimental que le premier se précipite dans l'eau moins rapidement que le second.

COMPRESSIBILITÉ.

Il existe encore une autre différence entre ces diverses espèces de terrains : je veux parler de la *compressibilité*, qui en constitue une nouvelle caractéristique.

Plus un sable est pur, moins il est compressible, nous plaçant toujours dans l'hypothèse du sable noyé. C'est ainsi qu'un sable absolu-

ment pur serait presque incompressible, parce qu'il possède la propriété de transmettre uniformément dans tous les sens les efforts auxquels il est soumis.

Chacun de nous a déjà, par exemple, essayé d'enfoncer sa canne ou un bâton dans les sables très humides de nos plages par une simple pression verticale. Quel que soit l'effort que l'on produise, on n'arrive qu'à un enfoncement très faible, et uniquement parce que l'on déplace les sables entourant le point d'appui.

Dans un sable moins pur, moins grossier, cet enfoncement sera plus commode, parce que les pressions se répartissent moins uniformément. Pour de semblables terrains, il peut, en effet, se produire de la compression, et l'enfoncement deviendra d'autant plus aisé que le sable sera moins pur; à un moment donné, cet enfoncement deviendra même très commode : ainsi se comporteront les sables bouillants non comprimés.

Pourquoi cette facilité d'enfoncement? Mais nous l'avons vu il y a un instant, parce que ces terrains contiennent de l'eau dans des conditions telles que les éléments qui les constituent sont disjoints par interposition d'eau; dans les sables purs, cette interposition n'existe pas, les grains se touchent; en comprimant les premiers, on en exprime simplement l'eau; en comprimant les seconds, il faut déplacer la masse entière.

Examinons comment se répartissent les pressions dans un terrain quelconque, ou plutôt comment elles se transmettent.

Nous pensons que, sans même qu'il soit besoin d'en faire la démonstration, cette transmission se produit suivant les génératrices d'un cône, comme le montre la figure 1.

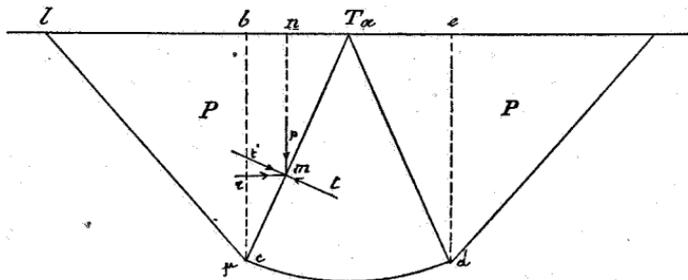


FIG. 1.

Le cône aura d'autant plus de hauteur que la pression T sera plus grande, c'est-à-dire que la charge pourra se continuer, se propager, jusqu'au moment où l'effort deviendra sans effet par unité de surface, c'est-à-dire jusqu'au moment où la poussée P du prisme de plus grande

poussée abc viendra faire équilibre à la pression T . Dans une section AB , cet effort sera égal à la surface de la section multipliée par une pression x par unité de surface. A la limite, c'est-à-dire à la base cd , cet effort sera égal à 1 par unité de section; l'effort y sera égal au poids du cylindre bcd . Les génératrices du cône seront d'autant plus inclinées que les sables seront moins purs, car s'il n'en était pas ainsi, rien ne pourrait contrebalancer l'effort T .

Pour nous en rendre compte, voyons quel est l'état d'équilibre d'un grain m situé sur l'une des génératrices du cône. La résultante t des forces qui le sollicitent sera normale à la génératrice ac , elle sera équilibrée par la résultante des réactions t' , que nous décomposerons en une force verticale p , égale au poids de la colonne de sable mn , et en une force de réaction horizontale r . A la base du cône en c , la réaction r est égale à zéro, et le grain μ n'est plus tenu en équilibre que par le poids de la colonne de sable bc . Ce qui est vrai pour c l'est également pour tous les points de la base du cône situés à égale distance du point de pression a , de sorte que le lieu de ces pressions se trouvera être l'arc de cercle formant la base du cône. Mais pour que tous les grains de la base du cône soient dans le même état d'équilibre, il faudra qu'ils soient également distants du point a , et nous pouvons donc dire que la base du cône de pressions sera une calotte sphérique.

Mais nous avons fait remarquer que, la tige T s'enfonçant au point initial a et le sable étant supposé incompressible, il faut nécessairement qu'il y ait un déplacement des grains de sable; ce déplacement se constate par la surélévation de la surface du sable, que l'on remarque toujours autour de la tige T , et l'on peut conclure que suivant le degré de surélévation, on pourra se rendre compte du degré d'incompressibilité et par conséquent de la pureté du sable.

Il est à remarquer que, plus la matière sur laquelle on appuie a de cohésion, plus les génératrices du cône se rapprocheront de la verticale; pour la pierre, par exemple, ce cône se réduirait à un cylindre ayant pour base la base de l'appui; de même, moins la matière aura de cohésion, plus les génératrices du cône seront inclinées, et si cette matière devient fluide, c'est-à-dire sans aucune cohésion, ces génératrices se confondront avec l'horizontale. Mais plus les génératrices seront inclinées, plus les forces verticales p deviendront grandes, et plus les efforts horizontaux diminueront. Un corps s'enfoncera donc d'autant plus facilement que la matière sera plus fluide, aura moins de cohésion et, dans l'eau, par exemple, il ne sera plus retenu que grâce aux efforts de réactions verticales.

Comme conclusion, nous arrivons à dire qu'un corps est appuyé lorsque les réactions qui le sollicitent font équilibre aux poussées verticales par unité de surface horizontale, auxquelles il est soumis par son propre poids et par les pressions qu'il supporte. Une plaque de métal pourra se maintenir sur une matière ayant peu de cohésion quand elle est appuyée horizontalement sur sa plus grande surface, et s'enfoncer lorsqu'on l'appuie sur le tranchant, parce que bien que la somme des efforts dus à son poids soient les mêmes, ces efforts sont réduits par unité de surface lorsque la plaque est posée à plat.

Revenant à notre expérience de la tige appuyée sur le sable, nous remarquons que plus la tige sera fine, plus l'enfoncement sera aisé, car cette finesse permettra une compression latérale, l'incompressibilité absolue n'existant pas. Une aiguille de 1 millimètre, par exemple, pourrait s'enfoncer indéfiniment; s'il ne fallait tenir compte des frottements latéraux, la masse pourrait, en effet, se comprimer sur tout le parcours d'enfoncement de l'aiguille, d'un aussi faible espace.

Mais si nous prenons un pieu affûté, la pointe s'enfoncera, et au moment où le corps du pieu atteindra le sable, l'enfoncement deviendra pénible; il ne se produira que sous les efforts les plus puissants, et plus le terrain sera incompressible, plus on verra celui entourant le pieu se gonfler; si le terrain dans lequel on enfonce le pieu n'est pas uniforme dans sa compressibilité, on aura de grandes chances de briser le pieu; en effet, au passage du terrain compressible, il pourra y avoir flexion et, par conséquent, bris sous l'effet d'efforts répétés. Ceux qui ont exécuté de nombreux travaux de battages de pieux ne l'ignorent pas; aussi sera-t-il toujours prudent avant de les entamer de se rendre compte, par des sondages, de leur nature. A l'examen du terrain seul, comme nous croyons l'avoir démontré, on se rendra facilement compte du plus ou moins de compressibilité.

Supposons maintenant qu'un pieu d'une longueur L soit enfoncé dans un terrain quelconque; par l'effort d'enfoncement, le terrain a été comprimé latéralement, et cette compression se maintient contre le pieu; celle-ci étant t (fig. 2) par unité de longueur du pieu pour la longueur enfoncée, il arrivera un moment où la somme des efforts t deviendra tellement considérable qu'il faudra une force anormale pour la vaincre lorsqu'on voudra retirer le pieu. Les efforts, savons nous, diminueront au fur et à mesure que l'enfoncement deviendra moindre, et en raison de ce que nous venons de dire, n'est-il pas évident que c'est précisément parce que la somme des efforts de compression diminuera? Nous concluons que dans les terrains les plus compressibles, ces efforts

d'extraction seront les moindres. Mais ne peut-on calculer ces efforts? Nous pensons que oui, si l'on arrivait à connaître exactement le degré de compressibilité des terrains.

Nous voyons (fig. 2) que l'effort le plus grand de compression est situé au point *S*. Cet effort est représenté par le cône *bSc*, c'est-à-dire par le prisme de plus grande poussée; mais au fur et à mesure que le pieu va s'élever, l'effort *T* va diminuer : il sera toujours proportionnel à la hauteur du cône *bSc*.

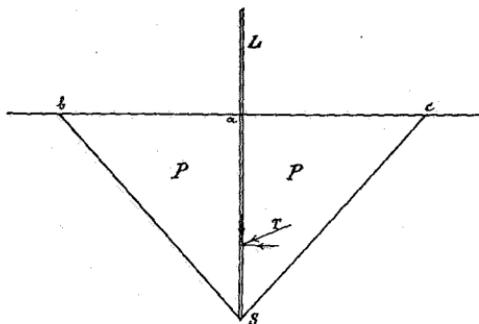


FIG. 2.

A la séance du 5 mars 1901, notre estimé secrétaire, M. Van den Broeck, faisait remarquer qu'il devient souvent impossible de retirer une sonde par traction directe, mais que par mouvements saccadés répétés, la sonde se dégage aisément; la masse qu'on a ainsi mise en mouvement se transforme en un sable bouillant fluide. Quelques-uns de nos honorables membres voulurent expliquer ce phénomène, mais on ne put se mettre d'accord sur les raisons qui le provoquaient. Il est incontestable, Messieurs, qu'il s'agissait ici d'un terrain compressible; par le mouvement de va-et-vient donné à la sonde, on comprime le terrain; à chaque mouvement ascensionnel, on exprime l'eau du terrain longeant la sonde. Cette eau vient se condenser à côté de la sonde et l'on a ainsi bientôt fait de changer absolument la nature du terrain; le terrain longeant la sonde aura à un moment donné suffisamment de fluidité pour que le retrait de la sonde devienne aisé.

Un autre exemple qui me prouve qu'il en est bien ainsi et que j'ai pu constater mille fois : lorsque des ouvriers veulent retirer un pieu ou piquet fortement enfoui dans le sol, ils donnent sur ce pieu ou piquet des coups répétés comme pour l'enfoncer, alors qu'en même temps ils produisent un effort de traction continu; que se passe-t-il dans cette opération? C'est que, grâce à la compression du terrain, que l'on produit en frappant le pieu, on modifie, pendant un moment très court

sans doute, la nature du terrain, on le comprime, et par cette compression on amène l'eau contre le pieu; lorsqu'on a obtenu une fluidité suffisante, le piquet cède grâce à l'effort continu de traction.

Ces exemples sont une preuve évidente de la théorie que j'ai eu l'honneur de vous exposer. Si l'on avait affaire à un terrain incompressible, je suis convaincu que le même phénomène ne se reproduirait pas. On ne pourra transformer la nature du terrain le long de la sonde, du piquet, du pieu, et il pourra devenir impossible de les retirer, même sous les plus grands efforts; heureusement pour les travailleurs, ces terrains sont très peu fréquents.

Cependant, et quoi qu'il en soit, quel que soit le terrain auquel on a affaire, la sonde ou une tige quelconque, fût-elle lisse, au moment où l'extraction sera terminée, le terrain se gonflera, et il est dès lors incontestable qu'il donnait encore une poussée; la modification produite le long de la sonde n'était, en effet, que momentanée, le terrain tend à reprendre rapidement sa constitution primitive qui formait son état d'équilibre.

Sur la proposition de M. le Président, la discussion de ce travail, difficile après une simple audition, est remise jusqu'après l'impression de celui-ci.

M. le capitaine *Rabozée* expose la première partie de son analyse des résultats fournis par les RECHERCHES EXPÉRIMENTALES de M. le professeur W. Spring, SUR LA FILTRATION ET LA PÉNÉTRATION DE L'EAU DANS LE SABLE ET LE LIMON.

Vu l'heure avancée, il est décidé, après audition de cette première partie, de reporter à la séance supplémentaire du 3 juin la suite de l'exposé du travail de M. *Rabozée*, ainsi que celui de M. *Fievez*: EXAMEN MICROSCOPIQUE DES SABLES BOULANTS, et ces travaux figureront en entier dans le procès-verbal de cette séance qui constituera ainsi une *séance supplémentaire* de la première série de nos réunions consacrées à l'étude du Boulant.

La séance est levée à 11 h. 15.

ANNEXE A LA SÉANCE DU « BOULANT »
DU 15 MAI 1902.

La catastrophe de Brûx. — Inondation du puits Jupiter.

Prague, le 25 janvier 1902.

Voici quelques détails sur la terrible catastrophe qui s'est produite le 14 janvier au puits Jupiter près de Brûx, en Bohême, et où ont péri quarante-quatre personnes dont l'ingénieur et le chef-gouverneur de la mine.

Le puits Jupiter appartient à la Société minière du Nord de la Bohême : *Nordböhmische Kohlenbergbau Gesellschaft*. Il a été creusé en 1895. C'est un centre d'exploitation peu important donnant 120,000 tonnes par an avec un personnel de deux cent. soixante ouvriers ne travaillant que de jour; néanmoins l'installation en est fort moderne et des précautions toutes spéciales avaient été prises, lors de sa mise en exploitation, contre les eaux d'infiltration. Ces précautions avaient été particulièrement indiquées par le fait que le champ d'exploitation se trouve sous la rivière Biala et que, dans la région, les venues d'eaux sont une des difficultés principales de l'exploitation par le fait que celle-ci se trouve au-dessous de l'ancien lac de Bommer, qui s'étendait autrefois de Brûx à Seedstadt et est remplacé aujourd'hui par une partie marécageuse ayant plusieurs mètres de profondeur. Une épaisseur d'une centaine de mètres d'argile et schistes argileux surmonte les couches de lignite, dont la puissance varie de 7 à 16 mètres. La méthode d'exploitation est le défilage par chambres et foudroyage comme dans tout le bassin de Brûx-Teplitz.

Par suite de la chute des chambres de défilage, il se forme au jour des sortes d'entonnoirs, nommés dans le pays *Pingen*.

Jusqu'à présent, grâce aux mesures de précautions prescrites par les autorités, la présence de ces *Pingen* n'avait pas amené d'obstacles sérieux à l'exploitation.

Dans cet ordre d'idées, des barrages en maçonnerie protègent les

galeries principales contre une inondation partielle. Ces portes avaient toujours jusqu'ici fonctionné d'une façon satisfaisante. Au puits Jupiter tout particulièrement, tous les chantiers étaient réunis entre eux, ainsi qu'aux galeries de roulage, au puits et au bureau du jour par des signaux électriques. Des remontées avaient été pratiquées pour assurer la retraite du personnel en cas de danger. D'ailleurs, ce même personnel doit être tenu en alerte par des alarmes fréquentes.

Les pluies qui ont été abondantes dans les derniers jours, la crue de la rivière Biala n'avaient pas été sans inspirer des inquiétudes. Déjà l'exploitation avait été arrêtée dans quatre puits de la Compagnie : les sièges d'exploitation Humboldt, Ruido, Central à Niedergeorghenthal et Radetzky à Maltheuren, et l'on avait même réduit le travail au puits Jupiter, depuis que le siège d'exploitation Hedwig, tout voisin de ce puits et appartenant à l'État, avait été noyé.

Déjà depuis quelques jours des bruits insolites s'étaient fait entendre dans le quartier qui a été submergé, et l'ingénieur avait même retiré le personnel des deux chantiers, n'y laissant qu'un surveillant ; mais les bruits anormaux ayant cessé, il avait fait reprendre le travail le matin même à équipe réduite ; les maçonneries étaient en ordre et le boisage jointif en bon état.

Dans la matinée, le grondement reprit et des blocs commencèrent à se détacher du toit dans les chambres de dépilage. Le chef-gouverneur informa aussitôt le bureau du jour : l'ordre de remonter fut donné. Au milieu de la retraite, un bruit effroyable se produisit, le toit avait donné coup, l'eau se précipitait dans les voies de fond, chassant devant elle le personnel affolé. Le refoulement de l'air qui avait suivi l'effondrement en éteignant les lampes augmenta la confusion. Dans l'obscurité, plusieurs ouvriers s'égarèrent ou tombèrent pour ne plus se relever.

A l'alarme donnée au jour, l'ingénieur descendit immédiatement pour procéder au sauvetage. Trois cordées successives remontèrent soixante-treize ouvriers. A la quatrième cordée, l'eau avait déjà envahi le puits, la cage se coinça. Tout sauvetage immédiat était impossible. Le reste du personnel, l'héroïque ingénieur Binder, qui s'était tenu au milieu de la galerie de roulage pour éclairer le chemin aux fugitifs, le stoïque gouverneur Seeman, qui, un des premiers, s'était trouvé à la recette et veillait à la remontée des hommes alors qu'il pouvait se sauver lui-même : en tout quarante-quatre personnes étaient victimes de la catastrophe.

On avait espéré, tout d'abord, que quelques hommes se seraient

échappés par les autres sièges d'exploitation communiquant avec la mine Jupiter. Vain espoir.

Après la catastrophe, le niveau de l'eau atteignit 6 mètres dans le puits au-dessus de la voie de fond, d'où l'impossibilité du sauvetage. Des mesures immédiates furent prises pour arrêter la venue. Des centaines d'ouvriers furent employés au jour au remblayage des *Pingen*. Le 16, on put constater que la voie était obstruée et commencer les travaux de déblaiement en faisant écouler les eaux vers le puits Quido, mais on n'a aucun espoir relativement aux disparus. Parmi les cadavres retrouvés, plusieurs ont, d'après les constatations médicales, péri par asphyxie.

Les rapports techniques établissant d'une façon définitive la cause de la catastrophe manquent encore, mais il est probable que celle-ci est due à l'existence des *Pingen* dont il a été question ci-dessus. Sous l'influence de la pluie torrentielle et de courants souterrains, les terrains auront été détremés dans le voisinage d'un de ces souterrains, le toit aura cédé et l'énorme masse d'eau remplissant ces *Pingen* n'aura trouvé en s'engouffrant dans la mine qu'une résistance insuffisante dans les barrages et portes de sûreté.

RAOUL HEURVERGES.

(*Écho des Mines et de la Métallurgie*, 3 février 1902, pp. 114-115.)
