

SÉANCE SPÉCIALE DU « BOULANT »
DU 2 JUILLET 1901.

Présidence de M. A. Rutot, président.

La séance est ouverte à 8 h. 55.

Correspondance :

M. H. Chabal remercie pour sa nomination de membre effectif de la Société.

M. G. Simoens promet sa collaboration à la bibliographie du « bou-lant » et commencera ses recherches, à cet effet, par l'examen de certains des ouvrages que possède le Service géologique.

M. Debauwe a fait parvenir une lettre en date du 14 mai dernier, de laquelle nous extrayons le passage suivant :

MONSIEUR ET CHER COLLÈGUE,

Je me trouve avoir des échantillons de sable bou-lant (sable du Sois-sonnais et surtout du sable de Bracheux) que j'ai conservés, lors des son-dages opérés en 1881 pour mon service, par M. Dru, entre Marn et Noyon, au col qui, vers Guiscard, sépare le bassin de la Somme de celui de l'Oise; ces sondages se rapportaient aux études du canal du Nord, alors projeté, qui devait traverser le col par une tranchée de 28 mètres.

Le sable recueilli sous l'argile plastique donne bien au toucher la sensation d'un assemblage de grains rugueux; mais ces grains sont

très fins, ils se mettent en suspension dans l'eau par un mouvement faible en se déposant lorsque le verre est au repos; sur un cinquième environ de la hauteur, le dépôt prend une apparence vaseuse avec teinte plus grise; sur le reste de la hauteur, on perçoit à l'œil nu les grains de sable malgré leur finesse. Il semble donc qu'il existe dans le mélange des particules vaseuses, mais c'est le sable qui domine; l'eau l'entraîne du reste avec la même facilité que la vase; une cloison en planches ou une crépine ne sauraient l'arrêter. Cependant, la masse desséchée devient compacte et résistante; il semble donc qu'avant d'employer le remède héroïque de la congélation, il faut recourir, si les lieux s'y prêtent, à un drainage ou à un système d'épuisement à marche lente prenant les eaux dans des puisards de grand diamètre.

(S.) DEBAUVE.

M. le Prof^r *H. Höfer*, de Leoben, a adressé à M. le Secrétaire général une lettre dont nous extrayons les passages suivants :

« Vous trouverez dans l'année 1896, page 29, n° 3, de la *Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, l'article sur la méthode de drainage du sable bouillant, méthode appliquée dans la mine de lignite de Rudidy à Bilin. Cet article est du directeur M. *Rubesch*.

» Cette méthode est appliquée depuis bien des années avec le meilleur résultat.

» Je veux appeler votre attention sur une particularité du sable bouillant de Brûx, parce que cette particularité est peu mentionnée dans les publications et parce qu'elle a, d'une façon indirecte, amené la catastrophe de Brûx.

» Ce sable bouillant, lorsqu'on le traverse par un sondage, se manifeste d'abord sous forme de grès de consistance moyenne, et il est désigné comme tel dans les registres de sondages lorsque le trou de sonde est promptement tubé.

» Cette particularité originale était inconnue auparavant.

» La société minière de Brûx fit faire des sondages avant de commencer l'exploitation qui eut de si tristes résultats.

» Ces sondages révélèrent du sable bouillant vers la limite de la concession. Ce sable bouillant était déjà connu par la concession voisine, celle du puits *Julius I*, du domaine Impérial et Royal.

» Cette partie de la concession, recouverte de sable bouillant, fut

exclue de l'exploitation, et la société minière de Brûx avait admis — et d'après le résultat de ses sondages elle avait dû admettre — qu'elle n'avait pas de sable boulant au-dessus de son exploitation.

» Avant de connaître cette propriété du sable boulant, je supposais qu'il y avait entre les trous de sondage d'étroites lentilles de sables bouillants, mais plus tard j'appris qu'il en était autrement.

» Sur notre proposition, on fit un puits dans la partie de la concession où le bouillant solide avait été reconnu, dans une région où, d'après les résultats de plusieurs sondages, la présence du sable bouillant était considérée comme impossible.

» Ce puits de mine fut descendu à travers un grès, qui au commencement était à peine humide et qui ensuite donna de l'eau de plus en plus, de telle sorte que les pompes avaient peine à maîtriser l'eau. Finalement le sable bouillant se détacha des parois du puits et l'on dut alors renoncer à descendre ce puits davantage.

» Par cette expérience, je m'expliquai aussi certains détails qui précédèrent la mise en mouvement du sable bouillant lors de la catastrophe de Brûx.

» Il n'est pas nécessaire que je vous donne l'explication de ces originales particularités de quelques sables bouillants.

» Je voudrais encore vous indiquer une erreur commise par les géologues prussiens lors de la catastrophe produite par le sable bouillant à Schneidemühl; ces géologues ont admis que le sable bouillant se tasse par le drainage. J'ai fait des observations, dans le district du Nord-Ouest de la Bohême, notamment dans la mine Radiar, observations qui démontrent que les géologues prussiens se sont trompés. D'ailleurs leur manière de voir est contraire à la nature des choses.

» Le directeur général *Bernhardi* arriva récemment, pour la Silésie supérieure, à la même conclusion que celle à laquelle j'étais arrivé en 1896.

» Veuillez agréer, etc.

» H. HÖFER. »

M. le *Secrétaire général* retient de cette lettre un premier point qu'il conviendrait d'examiner :

M. *Höfer* mentionne qu'il a rencontré du grès qui s'est graduellement transformé en bouillant. Un sable ne peut prendre l'aspect cohérent et les caractères d'un grès que par l'action de deux éléments : 1° la présence d'un ciment, soit calcaireux, soit siliceux, ferrugineux ou autre, qui fait adhérer entre eux les grains quartzeux et les transforme en une

véritable roche; 2° l'action d'une forte *compression* qui en exprime l'eau, en rapproche les grains et peut éventuellement donner lieu à une *apparence* gréseuse. En matière de ciment, ce n'est guère que le ciment *calcaire* qui, sous l'influence chimique d'eaux d'infiltration, peut arriver à disparaître et à mettre les grains sableux en liberté. D'autre part, dans la dernière hypothèse, celle d'un sable fortement comprimé, on peut admettre que l'action des forages qui modifient les conditions d'équilibre de sables comprimés, percés par eux, peut aussi arriver, en diminuant les pressions et en facilitant les venues d'eau, à rendre la masse sableuse environnante fluide et bouillante.

La lettre de M. le professeur Höfer ne nous fait pas connaître quelle est l'explication du cas signalé par lui, et l'Assemblée est d'accord avec M. Van den Broeck pour demander à M. Höfer quelques éclaircissements complémentaires à ce sujet.

Pour M. Gobert, le fait exposé par M. le professeur Höfer s'explique en ce sens qu'il faut admettre qu'il s'agit ici d'une roche sableuse bien homogène, solide, compacte et comprimée, devenue peu à peu bouillante par suite des travaux effectués qui en ont modifié l'état d'équilibre et les conditions aquifères.

Il n'en reste pas moins vrai que l'on se trouverait alors en présence d'un *grès* devenu « bouillant », problème très curieux, qui demande une solution. Aussi estime-t-il, avec M. le *Secrétaire général*, qu'il y a lieu de demander à l'auteur plus de renseignements et des détails précis au sujet de ce phénomène, assurément peu connu.

M. Van den Broeck fait encore remarquer que d'après M. Höfer, le sable bouillant ne serait pas tassé par le drainage.

Cette conclusion ne sera sans doute pas admise par tous ceux qui se sont occupés du bouillant. Elle doit donc aussi être étudiée.

M. le *Secrétaire général* invoque à l'appui de sa manière de voir les observations de M. Van der Mensbrugge, récemment publiée, dans le *Bulletin de l'Académie royale de Belgique* (Classe des sciences), 1901, n° 7, pp. 572-577, sous le titre : *Remarques sur quelques phénomènes d'imbibition*.

Une discussion s'ouvre à ce sujet entre MM. Gobert, Simoens, Casse, van Erthorn et Van den Broeck. Elle sera reprise et ses résultats insérés au *Bulletin* lorsque des éclaircissements supplémentaires auront pu être obtenus de M. le professeur Höfer.

M. le *Président* éprouve la satisfaction de faire part à l'Assemblée de la promotion du lieutenant d'artillerie Kestens, notre confrère, au grade de capitaine. (*Félicitations*.)

Présentation et élection de nouveaux membres :

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

En qualité de membres effectifs :

MM. LAMPE, ingénieur civil, 123, avenue de la Toison d'Or, à Bruxelles.

MARBOUTIN, chef adjoint du service chimique de l'Observatoire de Montsouris, boulevard Saint-Michel, à Paris.

DAVAL, J., ancien greffier du tribunal de commerce, à Saint-Dizier, Haute-Marne.

En qualité de membre associé regnicole :

M. SIMOENS, Émile, 25, rue des Patriotes, à Bruxelles.

Communications des membres :

M. A. Casse fait la communication suivante :

DÉFINITION, COMPOSITION, DRAINABILITÉ

DES

SABLES BOULANTS

CONSTRUCTION D'OUVRAGES DANS CES TERRAINS

PAR

A. CASSE

Ingénieur civil.

Définition. — On appelle sables boullants, des sables dont la masse est imprégnée d'une grande quantité d'eau et pouvant être entraînés par le courant de cette eau, fût-elle d'une vitesse très peu appréciable.

Leur nature. — Ces terrains sont très peu compressibles; la quantité d'eau qu'ils renferment varie de 33 à 45 % lorsqu'ils sont à l'état non boullant et de 45 à 65 % lorsqu'ils sont à l'état boullant. Ces proportions s'entendant pour du sable non tassé, il en résulte qu'à l'état

boulant, les quantités d'eau renfermées dans le sable sont beaucoup plus grandes que les vides que renferme ce même sable lorsqu'il est à l'état sec.

Pour nous en convaincre, prenons un tube-éprouvette en verre gradué; remplissons-le sur une certaine hauteur de sable vaseux, limoneux, bien sec; mesurons exactement la hauteur du sable; saturons-le d'eau et, cette saturation obtenue, ajoutons-y de l'eau complémentaire: le sable ne la boira plus; mais retournons le tube à plusieurs reprises; secouons-le au besoin, de manière à avoir un mélange intime du sable et de l'eau. Comme le sable restera collé au verre, ajoutons encore un peu d'eau en la faisant couler doucement le long des parois, et lorsque le sable sera détaché complètement du tube, mesurons la colonne de sable: nous constaterons que de l'eau en excès surnagera, mais le volume de sable aura augmenté, le sable aura foisonné, il aura gonflé.

De par cette expérience, nous pouvons donc conclure logiquement que les vides du sable sec étant plus petits que ceux du sable mélangé à un excès d'eau, le sable se trouve pour ainsi dire en suspension dans l'eau.

Mais si cette expérience est exacte pour les sables vaseux, elle ne l'est plus pour les sables purs. Si nous prenons, en effet, un sable parfaitement pur, soit du sable qui a été soumis à un lavage énergique, nous remarquons que le sable pur ne pourra absorber un excès d'eau et que cette eau va filtrer avec une très grande rapidité au travers de la colonne de sable: elle sera bien claire.

On peut en déduire que le sable pur n'est pas boulant, qu'il peut se maintenir verticalement sous l'eau lorsque rien ne vient détruire son état d'équilibre, et que pour que le sable soit boulant, il faut que, étant sursaturé d'eau, il se trouve en quelque sorte en suspension dans l'eau; il prend sous eau un talus, ce qui n'est possible qu'à l'aide de sable impur, d'où sa grande mobilité, caractère essentiel du sable boulant.

Cette expérience nous porte également à dire que les grains de sable pur prennent une position d'équilibre instable.

Il y a déjà plusieurs années que j'avais constaté les faits que je viens de signaler, mais désirant les voir se confirmer par des expériences nouvelles sur nos sables bruxelliens, j'ai prié mon ancien collaborateur et ami, M. Zone, de me procurer un échantillon du sable qui, paraît-il, a tant gêné l'entrepreneur des bassins maritimes de Bruxelles dans l'application du mode d'exécution primitivement prévu pour la construction des murs de quai.

Après avoir réduit en poussière mon sable primitivement bien assé-

ché, j'ai rempli une éprouvette de 0',110 de ce sable *non tassé*, j'y ai ajouté de l'eau avec tous les soins voulus; l'absorption totale a été de 0',045, soit de 41 p. c. du volume primitif. Dans cet état, le sable n'était pas boulant. Pour le rendre boulant, il a fallu que j'y ajoute un volume d'eau de 0',025, soit de 28.8 p. c., de sorte que mon sable contenait à l'état boulant 0',070 d'eau, soit 65.6 p. c. de son volume primitif, et ce volume avait gonflé à 0',115, soit de 4.5 p. c. seulement.

Ayant fait la même expérience avec le même sable, mais après l'avoir tassé naturellement, c'est-à-dire sans poussées, mais simplement par petits chocs répétés, j'ai constaté qu'un volume de 0',167 non tassé a été réduit à 0',135, c'est-à-dire de 20.5 p. c., qu'il y a eu une absorption d'eau pour obtenir l'état boulant de 0',105, soit de 75 p. c. du volume de sable tassé et de 61.7 p. c. du volume de sable non tassé. Le gonflement obtenu a porté le volume du sable à 0',170, soit 27.8 p. c. de son volume tassé et 1.8 p. c. (1) de son volume non tassé. (Le sable pur se tasse d'environ 11 à 15 p. c.)

On remarquera que ces deux expériences se contrôlent assez bien; les résultats ne sont pas identiques mais se rapprochent sensiblement.

J'ai procédé ensuite au lavage de ce même sable. Ce lavage a été très laborieux, tant étaient intimes le mélange de limon, de vase et de sable pur.

Toutes ces expériences sont assez délicates et demandent énormément de soins; elles pourraient sans doute être faites plus exactement par la méthode des pesées combinées à celles de la méthode par volumes; mais, quoi qu'il en soit, les résultats pourront varier suivant la nature des sables; aussi voudrais-je voir notre Société procéder elle-même à ces expériences et il est désirable que quelques-uns de nos membres dévoués puissent y présider.

Pendant cette opération, il m'a été extrêmement facile de constater à la fois le mouvement ascensionnel des particules de limon et de vase et le mouvement descendant des grains de sable. J'ai pu en conclure la confirmation de ce fait que j'ai déjà énoncé, que les particules de limon et de vase, faisant l'office de flotteurs, tendent à entraîner les grains de sable, à les soulever, et cela d'autant plus facilement que ceux-ci sont plus petits et que leur densité est moindre.

(1) Cette différence de 1.8 p. c. à 4.5 p. c. ne doit guère nous surprendre si l'on remarque que les expériences de tassement sont toujours différentes et qu'avec un même sable on peut obtenir des tassements complètement différents.

Partant de là, on peut donc affirmer que plus un sable est fin, plus facilement il peut se transformer à l'état boulant.

Enfin, pour terminer ces expériences, j'ai constaté que le volume du sable lavé avait été réduit à 0,065, soit de 45 p. c. Ayant fait sécher ce sable, le volume n'a pas varié et a absorbé 43 p. c. d'eau; les vides étaient proportionnellement à peu près les mêmes dans le sable boulant sec que dans le sable pur.

Quant à la vitesse d'absorption d'eau, elle a été de 30 minutes pour une colonne de sable boulant sec de 110 millimètres de hauteur; la vitesse d'infiltration a donc été de 0^m,000.061 par seconde; pour le sable pur, sec, traversant verticalement une colonne de 60 millimètres, cette vitesse a été de 0^m,000.67 par seconde.

D'après Darcy (1), la vitesse de l'eau à travers le sable grossier serait de 0^m,0008 par seconde, cette eau traversant verticalement la couche; mais si l'eau, au lieu de traverser verticalement le terrain, se trouvait devoir traverser un terrain disposé dans le fond d'une vallée, la vitesse peut être réduite à des fractions de millièmes de millimètre pour des sables fins.

Le sable qui a servi à cette expérience étant très fin, nous pouvons en conclure que pour le sable spécial qui nous occupe, nous sommes dans le vrai, que plus le sable est fin, malgré que ses vides soient en totalité plus grands, plus difficilement l'eau y pénètre.

Il est essentiel de ne pas confondre le sable boulant avec le sable entraînable; un courant d'eau entraîne tout. Cet entraînement ne dépend que de la vitesse du courant, et je dis que le sable boulant est un sable qui coule lorsqu'il est sursaturé d'eau, fût-il même à l'abri d'un courant d'eau de vitesse appréciable; le sable très perméable, très drainable, n'est pas boulant : il est entraînable.

Il serait assez aisé d'établir une limite entre les sables à l'état boulant et ceux à l'état non boulant, par exemple en déterminant son coefficient de perméabilité, mais cette étude nous conduirait trop loin et je me bornerai à ces quelques considérations.

A Anvers, lors de la construction des bassins Africa et America, j'eus à traverser des couches de sable de plusieurs mètres d'épaisseur; ces sables n'étaient pas boullants à proprement parler. Pourquoi? 1° Parce qu'ils se drainaient avec une très grande facilité; 2° parce qu'ils contenaient beaucoup de débris de coquillages qui rendaient leur glissement, leur roulement presque nul. Le drainage, dis-je, était très

(1) Voir dans DUPUIT, *Du mouvement de l'eau au travers des terrains perméables*, p. 233.

rapide, et, en effet, après avoir établi un puits de drainage, descendu à la côte — 11, six mois après un épuisement continu (une pompe de 0,20 d'aspiration suffisait amplement), le terrain était complètement asséché; sur une étendue de près d'un kilomètre, toutes les fouilles étaient à sec et tous les puits avoisinant les travaux étaient privés d'eau.

Lorsqu'on arrive à faire abandonner au sable boulant une certaine quantité d'eau, il n'est plus boulant, et il serait intéressant de connaître, pour chaque nature de sable, la quantité d'eau en excès qui le rend boulant. Celle-ci varie, à n'en pas douter, suivant la nature et la composition des sables.

Mais, quoi qu'il en soit, le sable, n'étant plus à l'état boulant, constitue un excellent terrain pour l'établissement des fondations d'un édifice. On enlève au sable, par compression, son excès d'eau.

La définition du sable boulant implique que, pour que le sable soit boulant, il ne peut être emprisonné; c'est l'évidence même, attendu qu'arrêtant le courant d'eau qui peut le traverser, on enlève la raison qui le maintient à l'état boulant. Si donc j'emprisonne étroitement une surface de terrain, sable boulant, et que je bâtis sur ce terrain ainsi emprisonné, que va-t-il se passer? Si le poids de ma bâtisse est considérable, je produirai une pression suffisante pour en exprimer l'eau en excès, et en même temps que cette eau sera exprimée une partie des éléments vaseux qui composent mon sable; les grains de sable vont prendre une position telle que les vides seront réduits à un minimum, les parties vaseuses, limoneuses ayant été entraînées, la nature du sable sera modifiée, son état boulant sera diminué. Si donc, à un moment donné, après que ma bâtisse aura obtenu son poids maximum, j'enlève l'obstacle qui empêchait mon sable de « bouler », je rétablirai le terrain dans sa situation primitive, et la partie du sable sur laquelle repose mon édifice ne pourra plus devenir à l'état boulant alors que tout le sable qui l'entoure est boulant : j'aurai des fondations parfaitement assises.

Pour enlever au sable l'état boulant, de quel poids par centimètre carré et par mètre de hauteur faut-il qu'il soit comprimé? Je l'ignore. Les expériences seraient faciles à faire en laboratoire. Mais, quoi qu'il en soit, nous savons déjà qu'il en est ainsi, parce que l'expérience nous a démontré notamment que plusieurs édifices à Bruxelles, établis sur des sables bouillants, se maintiennent dans un parfait état d'équilibre.

Quelle est l'inclinaison d'un talus de sable bouillant; ne peut-on déterminer si un sable est bouillant rien qu'en examinant l'inclinaison

de ce talus? Je pense que oui, et disons immédiatement qu'un sable est d'autant plus boulant que le talus qu'il prend est plus incliné. Nous savons que certains sables s'étendent en nappes presque horizontales, et l'on sait que dans semblables terrains il est absolument impossible de creuser une tranchée, à moins qu'on ne la creuse sous eau, l'eau formant contre-pression ou, mieux, annulant la vitesse de l'eau contenue dans le sable. Ce courant étant annulé, le sable n'est plus entraîné, il n'est plus à l'état boulant. C'est ce qui peut se produire dans la construction d'un canal. Mais si je charge les berges de ce canal, je vais par cette pression rétablir mon sable à l'état boulant, mes berges ne tiendront plus, car mon sable va couler, et cet effet est tellement considérable que, vu le peu de compressibilité du sable, il se produira par des charges bien éloignées des rives.

Aussi, tous les travaux de canaux établis dans semblables terrains sont-ils d'un entretien coûteux, et cependant le moyen de rendre ces talus stables n'est pas bien compliqué : empêchez le sable de couler, c'est-à-dire isolez les berges du canal de manière que les sables à l'arrière ne puissent plus être entraînés jusqu'à lui et votre canal sera en état d'équilibre stable ; j'indiquerai plus tard le moyen d'y arriver, et l'on verra qu'il n'est pas bien onéreux, d'autant plus qu'il ne sera nécessaire de l'établir que d'un côté du canal, soit à l'amont de la pente du terrain sur lequel repose le sable.

Comme conclusion de l'examen que je viens de faire, on peut affirmer que le sable pur ne peut être rendu boulant ; il lui faudrait pour cela un grain tout au moins très arrondi, et on le trouve rarement dans la nature à cet état.

Je crois devoir faire observer ici que certains sables peuvent être coulants, notamment lorsqu'ils sont fortement asséchés, et ne pas être boullants. Leur composition est essentiellement différente des premiers : les grains du sable coulant glissent les uns sur les autres et ne roulent pas. Le sable coulant peut ne pas être vaseux, il est en général coquillier. Enfin, le sable coulant peut l'être à l'état sec et ne pas l'être à l'état mouillé, l'eau faisant adhérer les grains entre eux.

Revenant au sable boulant, nous disons que moins il est pur, moins il est perméable ; la vase et l'argile venant remplir les vides laissés entre ses différents grains étant moins perméables, il faut souvent un temps très long pour son assèchement.

Mouvement de l'eau dans les sables. — L'eau contenue dans les terrains perméables circule dans le sens de la pente du terrain imperméable sur lequel ils reposent : ces terrains sont toujours sursaturés d'eau.

Le mouvement de cette eau peut se comparer au mouvement permanent ordinaire. On peut le considérer comme se produisant au travers d'une infinité de petits tubes, ou drains naturels, qui restent dans leur position normale aussi longtemps qu'on ne vient pas troubler leur position d'équilibre. Plus ces drains seront grands, plus la vitesse de l'eau sera grande; on peut en conclure que plus le sable sera pur, sans mélange de matières ténues, plus rapidement le sable pourra s'assécher, et nous avons vu, il y a un instant, combien cette vitesse diffère dans le cas de l'eau traversant verticalement une couche de sable vaseux.

Drain artificiel. — Si dans les terrains perméables j'établis un drain artificiel, il est de toute évidence que l'eau réunie dans ce drain aura une vitesse plus grande que celle des filets d'eau courant au travers de ces terrains. Le drain forme un vide relatif dans la masse des sables. L'eau étant entraînée par le vide, il y a drainage. L'entraînement de l'eau contenue dans le sable est plus rapide au fur et à mesure qu'elle se rapproche du drain, qui joue dans l'espèce le rôle d'un véritable aimant. Cette vitesse se représente par des courbes paraboliques (fig. 1) qui varient suivant chaque espèce de sables, mais qui pourraient se

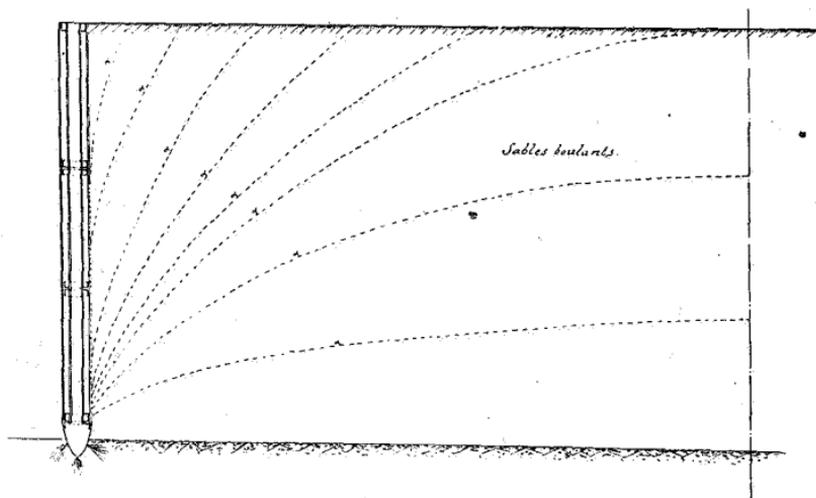


FIG. 1.

déterminer assez exactement si l'on connaissait leur composition et, partant, les coefficients de résistance à l'écoulement. Nous savons, en effet, que la vitesse est proportionnelle à la charge et en proportion inverse de l'épaisseur des couches à traverser; pour certains sables, la vitesse n'atteint même que des fractions de millièmes de millimètre par seconde, pour le sable traversé par l'eau avec une faible pente du terrain.

Drainabilité des terrains sableux. — On peut conclure de ce qui vient d'être dit, que tout terrain aquifère est drainable, mais qu'il faudra à tel terrain, pour être asséché, un temps d'autant plus long que les pores du terrain sont plus petits, et l'on peut ajouter logiquement, que si les étendues de terrain sont grandes, certains terrains sableux peuvent paraître indrainables. Un simple exemple va nous le démontrer. Supposons que nous ayons à drainer une couche de sable très fin sur une longueur de 1 kilomètre et supposons que la vitesse des eaux à travers semblable terrain soit de $0^m,000,005$ par seconde. Pour que l'eau arrive au drain, il lui faudra, avant d'avoir parcouru cette distance de 1 kilomètre, $1\ 000 : 0,000,005 = 200\ 000\ 000$ secondes, soit 2 315 journées ou 6 ans 4 mois.

Un appareil très simple, représenté ci-dessous, pourrait nous servir à déterminer la vitesse de l'eau au travers des terrains perméables en se rapprochant autant que possible de ce qui se passe dans la nature.

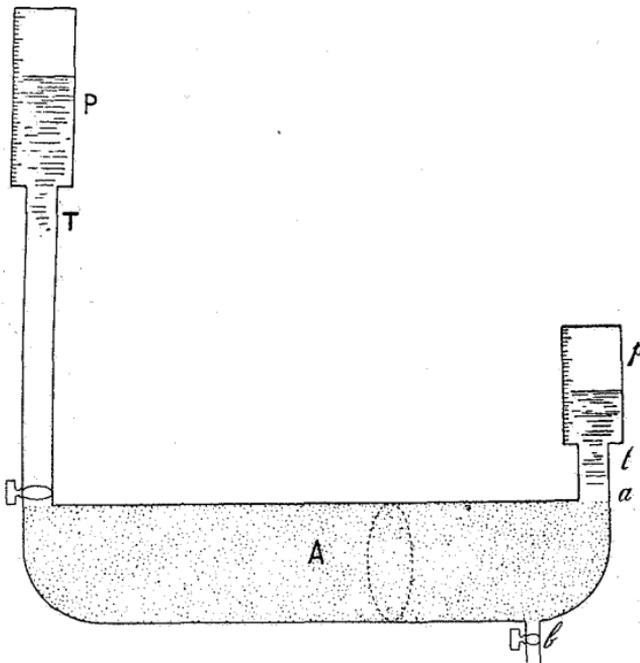


FIG. 2.

Supposons que nous ayons rempli la partie cylindrique *A* de sable non tassé sec. Introduisons de l'eau par le tube *T*; la quantité d'eau introduite sera mesurée; par la partie jaugée *P*, on pourra déterminer l'absorption par seconde et par conséquent on connaîtra la vitesse de l'eau au travers de la colonne horizontale de sable au moment où celle-ci viendra se montrer au point *a*.

Si l'on continue l'expérience, en raison de la charge d'eau de la colonne T , ce sable prendra un excès d'eau qui pourra être, à un moment donné, une quantité égale à celle contenue dans le sable bouillant, et à tout moment, par l'expérience, que nous devons à M. Marboutin, à l'aide de la fluorescéine, nous pourrions déterminer la vitesse de l'eau au travers de la colonne de sable que nous avons prise comme expérience.

Quant aux dimensions à donner à l'appareil, il faudrait, pour avoir une très grande approximation de ce qui se passe dans la nature, donner au moins 1 mètre de longueur au tube horizontal A et un diamètre d'au moins 0^m,20; la colonne T aurait également 1 mètre de hauteur; la colonne t serait le plus petite possible.

A l'aide du même appareil, on pourrait également déterminer le degré de perméabilité: il suffirait de laisser en b une ouverture par laquelle s'écoulerait l'eau drainée.

Ceci exposé, on conçoit que pour drainer un terrain aquifère dans lequel on veut établir une construction quelconque, il sera avant tout utile de circonscrire le terrain à drainer dans des limites étroites, d'autant plus étroites que le terrain sera moins perméable. Ce drainage doit pouvoir se faire économiquement et surtout rapidement. C'est la solution de ce problème que je vais avoir l'honneur de vous soumettre.

Pour fixer les idées, j'admettrai que nous ayons à établir un aqueduc dans un terrain de sables bouillants. Il y aura lieu de circonscrire les deux parois de cet aqueduc entre deux drains.

Établir un drain dans semblables terrains est un problème pour ainsi dire insoluble par les moyens qui ont été employés jusqu'à ce jour; des travaux de l'espèce ont même dû être abandonnés. Je rappellerai à ce sujet le drain qui fut établi sous les radiers du voûtement de la Senne à Bruxelles; ce drain coûta, si ma mémoire m'est fidèle, plus de 100 francs le mètre, alors qu'il n'était placé qu'à 1 mètre de profondeur; de plus, son curage, nécessité par des ensablements continuels, était également dispendieux et vicieux: il se faisait très imparfaitement à l'aide d'une corde à nœuds à laquelle on donnait journellement un mouvement de va-et-vient. (Je note ici, comme exemple de ce que j'ai dit plus haut, que ces travaux sont établis sur du sable bouillant et qu'ils tiennent parfaitement bien.) Le système que je mets en avant a pour but de simplifier l'établissement des drains, quelle que soit l'épaisseur des couches aquifères, et, partant: 1° de diminuer leur coût dans d'énormes proportions; 2° de rendre toujours possible des constructions de maçonneries dans ces terrains.

Description. — Je construis une palplanche en fer de plusieurs mètres de longueur, creuse (fig. 1) et ouverte à sa partie supérieure. A sa partie inférieure est ménagée une poche percée de trous, qui reçoit l'eau par un tuyau (*t*), sous pression d'une pompe foulante. L'une des parois de cette palplanche, celle du côté de l'ouvrage à construire, est percée de trois trous lorsqu'il s'agit de sables grossiers, ou d'une toile métallique pour les sables fins, toile dont les mailles pourront du reste varier suivant la nature des sables à drainer; la paroi extérieure sera pleine. La partie ajourée de la palplanche sera établie sur les deux tiers environ de sa hauteur. La palplanche aura une hauteur au moins égale à la couche de sable à drainer; mieux vaudra toujours la faire descendre jusqu'au terrain consistant afin d'éviter la venue des sables par suite des sous-pressions.

Drainage. — Voici maintenant de quelle manière s'opérera le travail du drainage.

Les palplanches drains s'établiront de chaque côté et le long de l'ouvrage à construire de manière que les maçonneries ne viennent pas à les toucher et qu'on puisse, une fois l'ouvrage terminé, les retirer, comme nous le verrons plus loin.

Leur enfoncement se fera par injection d'eau dans la poche inférieure; des poids artificiels seront établis à la partie supérieure de la palplanche; plus la pression d'eau injectée sera forte, plus les charges qu'on emploiera seront grandes, plus facile et plus rapide sera l'enfoncement et, d'autre part, plus large pourra être la palplanche.

Le dessin nous montre une palplanche (fig. 3) de 8 mètres de lar-

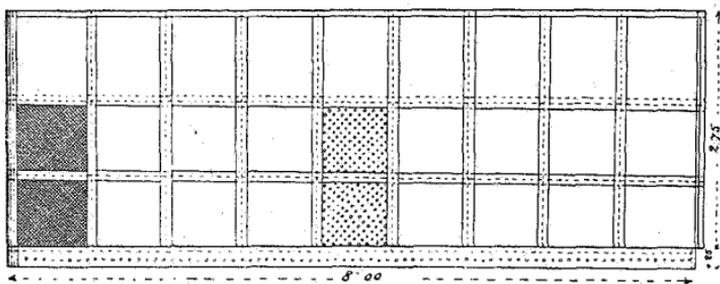


FIG. 3.

geur. J'estime qu'il faudra pour son enfoncement, c'est-à-dire pour donner au terrain toute la fluidité voulue; une pression d'eau de 3 à 4 atmosphères et un poids de 1 000 kilogrammes par mètre.

Pour éviter de trop grandes dépenses, soit pour réduire autant que possible le nombre des puisards de captage des eaux, que l'on pourra

aisément établir par mon système de fonçage de puits par injection, il y aura lieu de diviser la longueur du terrain à drainer en sections, en donnant à chacune d'elles une longueur d'au moins 50 à 50 mètres. Les palplanches seront enfoncées par séries les unes à la suite des autres. Pour assurer la liaison d'une palplanche à l'autre et pour que le drain soit continu, j'établis un joint comme l'indique la figure 4; au lieu de fer pour les tôles prolongées (*m*), on pourra, pour avoir une jonction plus parfaite, remplacer celles-ci par des tôles minces d'acier légèrement recourbées à leur extrémité et formant ressort. Les sables qui seraient emprisonnés dans l'espace *L* compris entre deux palplanches consécutives pourront s'enlever à la sonde ou à la cuillère. A l'aide d'injections d'eau et s'aidant de grattoirs maniés du haut de la palplanche, on pourra faire évacuer les sables et vases qui auraient été entraînés dans le drain vers le puisard établi à son extrémité. Les deux drains seront réunis soit à un puisard pour chaque drain ou à un puisard unique pour les deux drains. Les eaux recueillies dans les

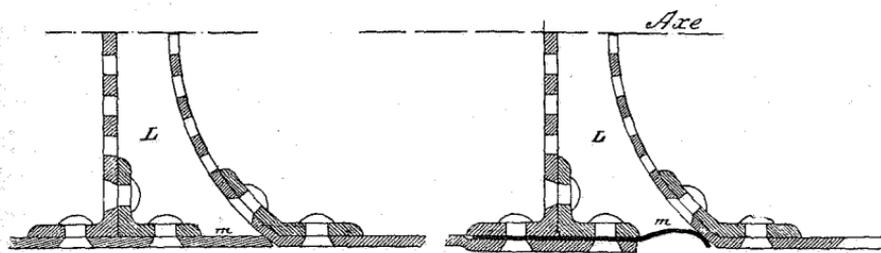


FIG. 4.

puisards seront épuisées à l'aide d'une pompe rotative; je dis rotative, parce que les eaux étant nécessairement chargées de sable et de vase, ces pompes conviennent mieux que les pompes à piston, dont l'usure serait trop rapide.

Quant à l'objection qui pourrait être faite, de ce que les sous-pressions sont toujours à craindre, elle ne peut avoir de valeur que pour autant que les palplanches n'atteindraient pas le terrain consistant; dans tous les cas et pour éviter toute surprise, on aura toujours soin, au fur et à mesure de l'enlèvement des derniers déblais, de charger le terrain par de larges dalles plates qu'on pourra recharger d'autres pierres au besoin; celles-ci s'enlèveront au fur et à mesure de la construction.

Le travail terminé, il sera aisé d'enlever les palplanches drains en rétablissant l'injection d'eau telle qu'on l'avait fait pour l'enfonce-

ment; l'arrachement se fera soit par une grue puissante, soit à l'aide de verins.

Pour déterminer la longueur à donner aux palplanches, il sera utile de déterminer, au préalable, par des sondages, quelle est l'épaisseur des couches de sable à drainer, soit de connaître le profil de la surface du terrain sur lequel elles reposent.

Le travail de drainage devra commencer par l'aval, de manière à assurer toujours un bon écoulement des eaux de drainage.

L'aqueduc établi, le terrain va se retrouver dans sa position d'équilibre primitive, il contiendra un corps dur, qui sera soumis dans tous les sens à des pressions uniformes, absolument comme celles dues à un véritable fluide. La partie inférieure du terrain, celle sur laquelle l'ouvrage repose, a perdu sa fluidité, et si elle l'a conservée, c'est que l'ouvrage se trouve dans la situation d'un bateau qui flotte, sans entraînement possible cependant.

Revenant maintenant à ce que j'ai déjà dit par rapport à la possibilité d'empêcher le sable de couler lorsqu'il s'agit de la construction d'un canal, j'enfoncerai le long des berges une série de palplanches en fer par le même système d'enfoncement que celui pour le drainage; leurs parois seront pleines et je les remplirai de béton ou simplement d'argile bien tassée. Au lieu de les faire en fer, je pourrais les construire en béton, armées par exemple de métal déployé. Ce système très économique se trouve décrit dans mon mémoire sur un nouveau système de fondations pour terrains sablonneux et aquifères, dont j'ai l'honneur de remettre un exemplaire à la Société pour ceux que la chose pourrait intéresser.

M. le *Président* remercie M. *Casse* de son intéressant exposé, qui nous a fait connaître le résultat de ses longues expériences.

Cette communication contient une quantité de faits et de données qui demandent à être étudiés à loisir. Il propose, en conséquence, d'en remettre la discussion après l'impression. — *Adopté.*

M. le *Secrétaire général* exprime cependant le désir d'obtenir quelques renseignements au sujet de l'expérience permettant de déterminer la faible vitesse de la circulation de l'eau dans les sables bouillants et préconise, à cette fin, des vérifications par l'emploi de la fluorescéine et du fluoroscope Trillat-Marboutin. Éventuellement, il demande à être avisé des expériences de ce genre que l'un ou l'autre de nos collègues pourrait être amené à exécuter dans les sables et met à la disposition

des expérimentateurs le fluoroscope Marboutin, dont il a fait récemment l'acquisition.

M. Casse renvoie aux travaux de M. Darcy pour tous les détails et renseignements précis relatifs à la question de vitesse de translation de l'eau dans les sables.

Il s'agit du livre intitulé : *Fontaines de Dijon*, et, faute de cet ouvrage, on peut trouver mention des expériences de M. Darcy dans l'ouvrage de M. DUPUIT, publié sous le titre : *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux*.

M. le Secrétaire général donne lecture des deux notes ci-après, respectivement envoyées par les auteurs :

N O T E

SUR

LE SABLE BOULANT

par DEBAUVE

Ingénieur en chef du département de l'Oise, à Beauvais.

Le sable boulant est caractérisé par la finesse de ses éléments, qui se tiennent facilement en suspension dans l'eau et qu'entraîne le moindre courant.

Alors que le gros sable et le gravier offrent un crible à l'eau cheminant à faible vitesse, le sable très fin s'y mélange intimement et forme avec elle un fluide particulier.

C'est surtout quand une eau ascendante vient au jour en traversant un dépôt de sable que l'effet est sensible; c'est ainsi qu'on trouve, par exemple, dans le Tongrien à l'Ouest de Paris, des sables où existent des *mollières*, produisant en petit le phénomène de l'enlèvement bien connu sur les plages du mont Saint-Michel; une source de fond, en général peu abondante, se dégage en bouillonnant au milieu du sable qu'elle entraîne, le liquide s'épanche difficilement, le sable détrempe occupe un cône de diamètre plus ou moins grand; des bestiaux s'y enlèvent parfois et les enfants courent quelque danger lorsqu'ils s'en approchent.

L'eau en mouvement est nécessaire au phénomène; car, dans l'eau tranquille, la bouillie de sable se clarifie assez rapidement et le sable se dépose.

Le sable qui se dépose est résistant, et si on le laisse sécher à l'air, il devient dur; nous avons des témoins de sondages effectués il y a plus de vingt ans dans les sables du Soissonnais et de Bracheux, qui ont pris une grande dureté dans les compartiments de la caisse en bois qui les contient, mais qui, plongés dans un verre d'eau, s'y délitent en un instant et forment une bouillie fluide à la moindre agitation; le sable en suspension se dépose assez rapidement, on remarque une légère couche vaseuse à la surface du dépôt.

Nous avons dressé la coupe en travers des sondages effectués avec le concours de M. Léon Dru, il y a vingt ans environ, pour les études du canal du Nord, section de Ham à Noyon; cette section devait passer du bassin de la Somme dans le bassin de l'Oise au col de Rouvrel, près Guiscard; c'est de ces sondages que proviennent les témoins de sables bouillants dont nous parlons plus haut et qui ont été conservés.

Lorsque la sonde atteignait certaines couches de sable, elle éprouvait des enfoncements brusques indiquant la présence d'un courant souterrain; il y a même eu, dans quelques trous, des ascensions artésiennes du niveau de l'eau.

Cette section du canal n'a pas été construite, mais on vient d'en reprendre l'étude; nous avons projeté au col, dont le profil est joint en manuscrit à cette note, une tranchée de 28 à 30 mètres de profondeur très évasée; elle eût présenté en exécution d'énormes difficultés; nous avons pensé qu'avant de l'entreprendre, il eût été préférable d'établir une galerie de mine dans la craie, au-dessous du plafond, pour assécher lentement la masse à l'aide de sondages verticaux pénétrant jusqu'à la galerie. Il est certain que le maintien de ces canaux verticaux eût lui-même exigé bien des précautions; on sait, en effet, combien il est difficile d'assurer le fonctionnement des tubes filtrants placés dans les sables fins pour en recueillir les eaux. Dans le nouveau projet à l'étude, on se demande s'il ne vaudrait pas mieux abandonner la tranchée et la remplacer par un tunnel ouvert par congélation.

Cependant, comme la masse de sable à traverser sous l'argile plastique est du sable de Bracheux qui semble peu aquifère, il y a des chances pour que l'assainissement et l'assèchement par drainage réussissent, surtout si la fouille est menée avec méthode et lenteur.

Les sables de cette nature ont donné de grandes difficultés au tunnel

du bief de partage du canal de l'Oise à l'Aisne; on a trouvé des sables fluides à la calotte du souterrain et l'on ne pouvait y ouvrir la galerie d'avancement sans les avoir au préalable assainis; comme ces sables reposaient sur une épaisse couche d'argile, l'entrepreneur a cherché à percer des galeries auxiliaires dans l'argile en enfonçant des pieux de bas en haut pour écouler l'eau des sables supérieurs. On s'est heurté à d'énormes difficultés; il fallut recourir à l'établissement de galeries par l'air comprimé et surmonter bien des accidents, dont le plus grave fut l'asphyxie d'une équipe d'ouvriers, asphyxie produite par le gaz de la combustion des lignites. (Voir deux notices insérées dans le volume des documents présentés par M. le Ministre des Travaux publics à l'Exposition de 1889.)

NOTE

SUR

LE SABLE BOULANT

par M. PIERRET

Ingénieur des ponts et chaussées à Compiègne.

On peut, à mon avis, définir le sable boulant en disant simplement que c'est *du sable fin imprégné d'eau*.

L'expression « boulant » n'est pas, en effet, un terme scientifique; elle ne s'applique pas à une composition chimique définie ou à un étage géologique déterminé; c'est simplement un terme de chantier par lequel on désigne le sable qui, entraîné par l'eau de la nappe souterraine, envahit les fouilles dont le fond est au-dessous du niveau de cette nappe.

Il faut, par conséquent, deux éléments pour constituer le sable boulant : du sable fin et de l'eau imprégnant ce sable.

Il nous arrive fréquemment, trop fréquemment à notre gré, d'avoir affaire à ces deux éléments réunis dans les travaux du service de la navigation entre la Belgique et Paris.

Le sable boulant, contre lequel nous avons à lutter, appartient soit à l'étage géologique des *sables nummulitiques du Soissonnais*, qui sont

superposés à l'*argile plastique*, soit plus fréquemment aux *sables de Bracheux* qui sont au-dessous de l'*argile plastique* et qui reposent directement sur la craie.

Les *sables du Soissonnais* sont ordinairement fauves ou gris verdâtre, calcaires ou quartzeux, micacés et parfois glauconieux.

Les *sables de Bracheux* de cette région sont micacés, légèrement argileux, parfois très glauconieux et dans ce cas verdâtres; lorsque la glauconie manque ou n'est pas abondante, ces sables sont jaunes ou gris.

Les fouilles que nous préparons, en ce moment même, pour les fondations des nouvelles écluses de Tergnier, du canal de Saint-Quentin, sont ouvertes dans la masse des sables de Bracheux.

Le sable boulant est toujours la source de sérieuses difficultés sur les chantiers; mais il est particulièrement redoutable lorsque, et c'est le cas des travaux que nous exécutons en ce moment, il s'agit d'ouvrir des fouilles contre d'anciens ouvrages (écluses) qui doivent être maintenus en service pendant l'exécution des travaux.

Si l'on procède par voie d'épuisements et si l'ouvrage existant n'est pas étanche (c'est le cas général), le sable est entraîné par l'eau qui, provenant dudit ouvrage, se rend au puisard des pompes, des affouillements se produisent et de graves accidents sont à craindre.

Les procédés ordinaires de boisage n'arrêtent pas le sable boulant qui, mélangé à l'eau, *coule* par les interstices les plus étroits. Il faut recourir à d'autres moyens.

La définition que j'ai donnée plus haut en indique tout d'abord un qui consiste à s'affranchir de l'un des deux éléments qui constituent le sable boulant : l'eau. Lorsque le sable boulant n'est pas très aquifère, on peut parfois parvenir à l'assécher, et ce sable, rendu sec, devient très dur et même imperméable.

Nous recourons à ce moyen sur nos travaux, partout où il peut être mis en œuvre, en creusant, à l'avance, dans le sol où nous voulons travailler, un puisard dont le fond est descendu à 1^m,50 environ en contre-bas du niveau que doit atteindre le fond de la fouille et qui nous permet, à l'aide de pompes, d'assécher le terrain. Ce résultat obtenu, on peut, à la condition de ne pas laisser remonter le niveau de la nappe, travailler en toute sécurité.

Lorsque ce procédé n'est pas applicable, il faut recourir à l'air comprimé, avec lequel le succès est certain mais coûteux. Je ne parle pas du procédé de congélation qui ne semble pas applicable dans nos travaux.

M. le *Secrétaire général* a reçu de M. *Feret*, chef du laboratoire des ponts et chaussées de Boulogne-sur-Mer, une lettre dont la lecture, dit-il, réclamerait quelques commentaires et la reproduction au tableau de quelques-uns des croquis que renferme cette lettre.

En l'absence de l'auteur, M. le capitaine du génie *Rabozée* veut bien se charger d'exposer et commenter en séance quelques passages de la lettre envoyée par M. *Feret*. La rédaction ci-dessous en est extraite pour le procès-verbal.

Extraits d'une lettre de M. Feret, chef du laboratoire des ponts et chaussées de Boulogne-sur-Mer, au sujet d'expériences sur les sables.

PREMIÈRE PARTIE.

Dans la première partie de sa lettre, M. *Feret* résume comme il suit les résultats de diverses expériences qu'il a faites :

1° Quand on pulvérise de plus en plus finement une même matière (par exemple du ciment), les compositions granulométriques (1) des poudres obtenues successivement sont les mêmes que si les plus gros grains disparaissaient seuls, la partie la plus fine conservant sensible-

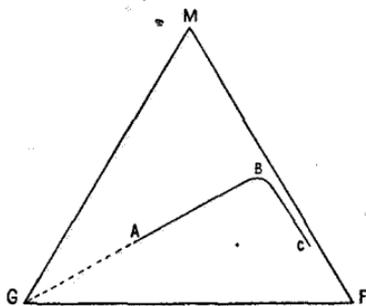


FIG. 1.

ment la même composition jusqu'à ce que les particules les plus grosses qu'elle contient soient attaquées à leur tour. Autrement dit : a) Le lieu géométrique des points représentatifs des diverses poudres brutes obtenues

(1) Voir *Compacité des mortiers hydrauliques*. (ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES DE FRANCE, juillet 1892, ou BULL. DE LA SOC. BELGE DE GÉOL., 1901.) Procès-verbal de la séance du 30 avril 1901.

nues, à mesure que la finesse augmente, est une ligne telle que A B C (fig. 1) (1); b) Si l'on supprime dans chaque poudre les grains représentés par le sommet G du triangle et que, avec deux nouveaux tamis, on sépare la poudre restante (mélange de M et de F) en trois nouvelles grosseurs plus fines G', M', F', toutes les poudres qui correspondaient à la branche A B ont sensiblement le même point représentatif dans le nouveau diagramme, alors que celles de la branche B C s'en écartent plus ou moins, suivant une nouvelle courbe analogue à la courbe A B C du premier.

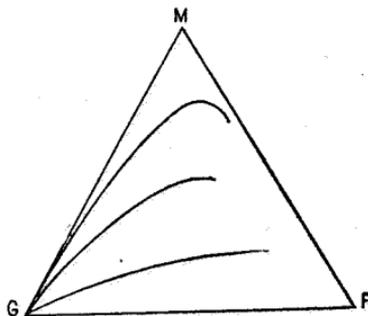


FIG. 2.

2° Si, au lieu de poudres très fines, on considère des ensembles de grains de grosseurs analogues à ceux des sables, par exemple les sables obtenus après des nombres croissants de coups de pilon donnés à une même manière initiale, la brisure en B est moins accentuée et l'on a, suivant la matière étudiée, des courbes telles que celles de la figure 2.

3° Pour un certain nombre de matières variées, M. Feret a déterminé les compositions granulométriques des sables obtenus après un même nombre de coups de pilon. Ces points sont répartis sans ordre dans le triangle.

4° M. Feret a déterminé les compositions granulométriques de nombreux échantillons de sable grenu prélevés en différents points d'une plage d'environ 2 kilomètres d'étendue. Ces compositions sont très variables, mais, quand on fait des moyennes par région, on constate que tous les sables peuvent être considérés comme étant des mélanges de deux mêmes sables à grains de toutes grosseurs, le premier où prédominent les gros grains, le second, riche surtout en grains fins et dont les proportions relatives varieraient d'une manière continue d'une extrémité à l'autre de la plage.

(1) La courbe ABC de cette figure a été mal rendue par le dessinateur qui a interprété les croquis de M. Feret, inclus dans sa lettre. L'allure de cette courbe est de beaucoup trop anguleuse en B.

5° Détermination des vides dans divers ensembles de grains bien secs, de grosseurs uniformes, tassés par secousses sans compression :

(d'après la formule : $Vides = 1 - \frac{\text{Poids de l'unité de volume apparent}}{\text{Poids spécifique}}$)

Plomb de chasse. . .	}	Grains d'environ 2 ^{mm} ,5 de diamètre. . .	0,36
		Grains d'environ 3 ^{mm} ,6 de diamètre. . .	0,39

Sable quartzeux moulu : 0,43 à 0,44, quelle que soit la dimension des grains, sauf 0,46 pour la poussière passant au tamis de 4 900 mailles (1).

6° Vides dans des mélanges à sec, non tassés et tassés à refus, d'un même ciment ajouté en diverses proportions à des sables à grains de grosseur uniforme pour chacun, mais variable de l'un à l'autre.

Résultats très complexes et d'où ne ressort aucune conclusion bien intéressante.

7° Appréciation numérique de la forme plus ou moins irrégulière des grains de sable d'après le *diamètre moyen* des grains compris entre deux tôles perforées à trous de diamètres voisins.

Plus la forme des grains d'un sable est régulière et arrondie, plus est grand le volume de chacun des grains restant entre deux tôles données. On peut donc, dans une étude théorique des sables, définir, dans une certaine mesure, la forme des grains restant entre deux tôles de diamètres voisins donnés, par le rapport du diamètre moyen de ces grains (diamètre d'une sphère de même volume) à la moyenne des diamètres des trous des deux tôles.

Cette opération a été faite pour des sables à grains de différentes formes.

8° Définition des grosseurs élémentaires des grains des sables et graviers. Depuis son mémoire sur la *Compacité des mortiers*, M. Feret a modifié la définition des grosseurs de grains, en substituant aux tamis en toile métallique, difficiles à définir exactement, des passoires en tôle perforée, dont les trous, égaux et circulaires, ont les diamètres suivants :

Cailloux : Morceaux restant sur la passoire à trous de 20^{mm} de diamètre;

Pierrettes : Morceaux traversant la passoire de 20^{mm} et retenus par celle de 10^{mm};

Grains : Grains traversant la passoire de 10^{mm} et retenus par celle de 5^{mm}.

Sable proprement dit	{	Gros grains (G) trav. la pass. de 5 ^{mm} et retenus par celle de 2 ^{mm} .		
		Grains moyens (M) — 2 ^{mm} —		0 ^{mm} ,5.
		Grains fins (F) — 0 ^{mm} ,5		

(1) Pour les mélanges sableux contenant des grains de toutes grosseurs, voir *Compacité des mortiers hydrauliques* (fig. 26 à 29, 40 et 41).

DEUXIÈME PARTIE.

Dans la seconde partie de sa lettre, M. Feret signale un dispositif qui, à première vue, lui paraît pouvoir rendre des services pour l'étude expérimentale du mouvement de l'eau à travers les sables. Il ne l'a pas appliqué et pense que l'appareil et le programme d'essai qu'il indique devraient sans doute être modifiés plus ou moins en cours d'expérience, suivant les résultats obtenus. La figure 3, qui représente schématiquement ce dispositif, est suffisamment explicite.

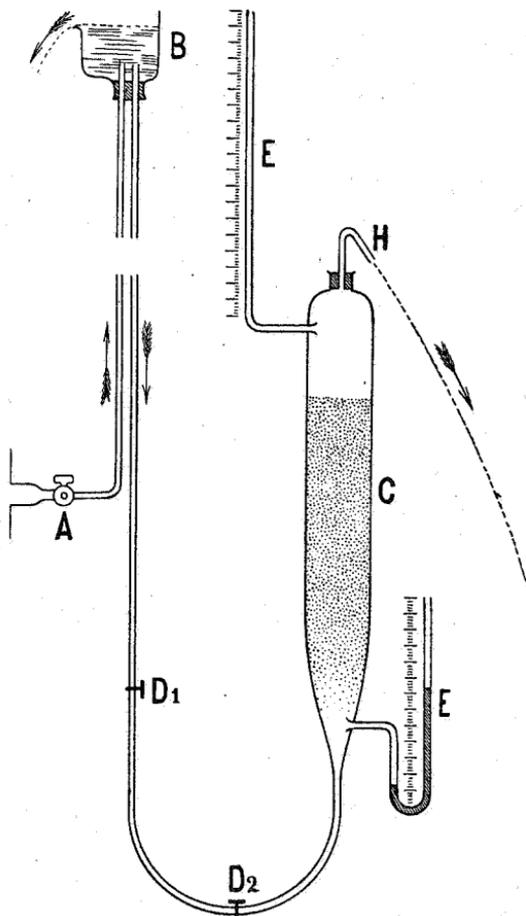


FIG. 3.

- A. Prise d'eau.
 - B. Niveau constant.
 - C. Tube CYLINDRIQUE contenant le sable.
 - D₁. Robinet de réglage
 - D₂. Robinet d'arrêt
- } ou pinces à vis serrant le caoutchouc.
- E, E. Tubes piézométriques indiquant la pression de l'eau avant et après la colonne de sable.

Quand on fait circuler l'eau avec une vitesse donnée, l'eau qui s'écoule en H entraîne d'abord les particules les plus fines du sable (plus ou moins fines suivant la vitesse), puis passe claire, et il s'établit dans le tube C un régime stable. On peut alors chercher quelle relation existe, pour un sable donné, entre : 1° la vitesse de l'eau (à condition qu'elle ne dépasse pas la vitesse initiale, de sorte qu'il n'y ait pas entraînement de nouveaux grains fins); 2° la hauteur de la colonne de sable; 3° la différence de pression au-dessus et au-dessous de cette colonne. Puis, on n'a qu'à répéter l'expérience pour des sables de formes et de compositions granulométriques différentes. Il serait aussi, sans doute, intéressant d'opérer avec un tube C en bois ou en métal, muni latéralement de registres que l'on fermerait après interruption du courant, longtemps maintenu au préalable, de manière à séparer la colonne reposée en tranches dont on déterminerait ensuite les compositions granulométriques.

Enfin, on pourrait encore disposer le tube C horizontalement, après l'avoir rempli de sable, et répéter les mêmes expériences (fig. 4).

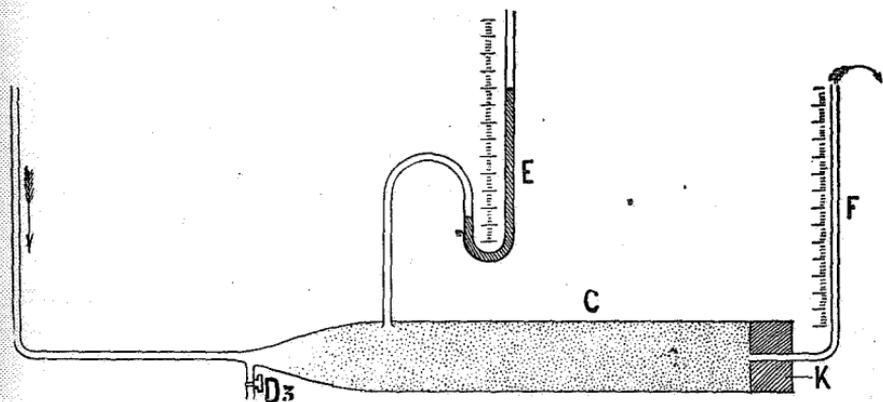


FIG. 4.

D₃. Robinet purgeur.

E. Tube piézométrique.

F. Tube déversoir plus ou moins haut pouvant en même temps servir de tube piézométrique, si l'écoulement n'est pas trop rapide.

En outre, après interruption du courant, on supprimerait toute pression et contre-pression en ouvrant le robinet D₃ et enlevant simultanément le tube F, puis on enlèverait le bouchon K et l'on verrait s'il s'éboule plus ou moins de sable par l'orifice ainsi formé. On pourrait d'ailleurs répéter la même expérience en maintenant au-dessus de D₃ une certaine pression d'eau.

M. Feret croit en outre devoir attirer l'attention de la Commission du boulang sur la nécessité de définir exactement ce qu'on doit entendre par argile. On lui a présenté plusieurs fois des sables plus ou moins terreux, paraissant à cause de cela devoir mal convenir à la fabrication des mortiers, en lui demandant d'y doser l'argile. Or, si l'on applique la méthode indiquée par Schloësing (*Encyclopédie chimique*, t. X; *Contribution à l'étude de la chimie agricole*, p. 85), on n'y trouve que des proportions tout à fait infimes de cette substance.

M. M. Mourlon fait la communication suivante :

QUELQUES MOTS SUR LE « BOULANT »

A PROPOS DU

PROJET DE JONCTION DES GARES DU NORD ET DU MIDI

A BRUXELLES

PAR

MICHEL MOURLON

La question du « boulang », à laquelle notre Société a eu l'heureuse inspiration de consacrer exclusivement plusieurs séances, est peut-être celle qui permet le mieux de préciser le rôle de notre Société et de faire disparaître les malentendus, comme celui qui s'est produit encore tout récemment à l'occasion d'une communication relative à un projet d'alimentation en eau potable de la ville de Tournai.

Nous avons le droit et même le devoir d'entrer dans le plus grand détail des questions scientifiques que comportent les projets tels que celui auquel il vient d'être fait allusion. Mais si nous sommes souvent les mieux préparés par nos études spéciales pour donner un avis compétent sur ces questions, il ne s'ensuit pas qu'en tant que Société nous ayons à remplir un rôle consultatif. Celui-ci, entraînant de grandes responsabilités, ne peut être attribué qu'à des personnalités se trouvant en mesure de les accepter, tant par suite de leurs connaissances et de leur situation spéciales que de l'outillage dont elles doivent souvent

pouvoir disposer. En résumé, nous ne sommes point un bureau de consultation gratuite, comme il en existe pour les sciences médicales, mais bien une espèce de « forum » scientifique où l'on peut discuter en toute liberté et en toute franchise les questions scientifiques qu'entraînent certains grands travaux d'utilité publique, comme celui du projet de jonction, en partie souterraine, des gares du Nord et du Midi, à Bruxelles.

Le terrible « boulant », si redouté, et pour cause, des entrepreneurs et même des géologues, lorsque dans leurs travaux de levés ils ne sont pas munis d'appareils spéciaux pour en triompher; ce fléau, dis-je, a donné lieu dans ces derniers temps à de très intéressantes discussions, tant dans la presse qu'à la Chambre des Représentants et surtout au sein de notre Société.

Pour celle-ci, nous avons à enregistrer des communications d'un réel intérêt, et loin de condamner les hardiesses de quelques-unes de leurs conclusions, j'estime qu'il y a lieu de s'en féliciter, car mieux vaut cent fois, à notre libre tribune, nous laisser entraîner par une conviction que l'expérience met au point, que de s'abstenir de toute discussion et de se désintéresser des questions souvent vitales mises à l'ordre du jour de nos séances.

Il est bien certain que le « boulant » existe dans le sous-sol de Bruxelles, comme un peu partout, et que sa présence a été signalée dans presque tous nos dépôts tertiaires, ainsi que dans quelques-unes de nos couches secondaires.

Le « boulant » n'a donc aucun rapport avec l'âge des dépôts qui le produisent et dépend de la composition et de la disposition de ces mêmes dépôts.

D'où la conclusion que ce n'est point parce qu'il existe du « boulant » en sous-sol qu'il faut rejeter *a priori* la possibilité d'exécuter des travaux d'art dans le dit sous-sol.

Il en est de même pour les petites failles en gradins ou de tassements dont j'ai décrit et figuré, en 1880, un curieux exemple près de la station de Calevoet (*Géologie de la Belgique*, t. I, p. 229, fig. 39), ainsi que pour la présence de certains paquets de sables bruxelliens successivement descendus à un niveau assez bien inférieur à celui qu'occupe normalement ce dépôt, et cela en vertu du phénomène de « foirement », comme l'appelle M. Rutot, voulant ainsi caractériser l'écoulement latéral du sable fin ypresien, dans la vallée de la Senne, au commencement de la formation de celle-ci et, par conséquent, avant son remplissage par les dépôts d'alluvions modernes.

Ces faits, et bien d'autres encore, étant publiés ou tout au moins consignés dans la partie des archives du Service géologique relatives aux planchettes de Bruxelles et d'Uccle, le Gouvernement ne crut pas devoir entamer les grands travaux de jonction des gares du Nord et du Midi, décrétés par la Législature, sans prendre l'avis d'une commission comprenant trois géologues, nos collègues MM. Rutot, Renard, et moi-même.

Or, bien que le premier de ces géologues ait publié la feuille au 40 000^e de Bruxelles-Saventhem, après avoir publié, en collaboration avec M. Van den Broeck, celle au 20 000^e et le texte explicatif de la planchette de Bruxelles, et bien que pour ce qui me concerne personnellement, je n'ai pas, depuis plus de trente ans, laissé échapper un seul affleurement de nature à m'éclairer sur la composition du sous-sol de la capitale, malgré ces circonstances si favorables, nous avons dû néanmoins déclarer qu'il nous était impossible de remplir la mission dont le Gouvernement nous avait chargé, sans une étude détaillée, à l'aide de nombreux sondages pratiqués tout le long du trajet souterrain projeté pour le travail en question.

Cet exemple ne laisse pas que d'être très instructif en ce qu'il montre combien, pour accomplir une mission de la nature de celle dont il s'agit, il ne suffit pas de recourir au concours de géologues, même les plus expérimentés, mais qu'il faut encore que ceux-ci rejettent toute idée *a priori* et qu'à défaut d'affleurements suffisants, ils interrogent la nature de très près, à l'aide de sondages effectués par un personnel compétent.

C'est ce qui a été fait et se poursuit encore en ce moment sous la conduite des chefs d'équipe du Service géologique, auxquels des missions analogues sont confiées depuis plus de dix années.

En attendant que cette étude soit entièrement achevée et que nous nous trouvions en mesure de présenter à la Société un travail complet avec la coupe des nombreux sondages pratiqués dans le sous-sol de la capitale entre les gares du Nord et du Midi, il n'est pas sans intérêt de constater que dès à présent on peut être assuré qu'au moment de l'exécution de ce gigantesque travail, les ingénieurs et entrepreneurs se trouveront en possession de données géologiques suffisantes pour être assurés de le mener à bien et sans encombres.

Comme je le disais plus haut, la question n'est pas de savoir s'il existe du « boulant », mais bien dans quelles conditions il se présente.

C'est ainsi que la sonde n'a encore révélé nulle part, dans la partie étudiée jusqu'ici, où passera le tunnel, la présence de sable mélangé

d'eau en quantité suffisante pour remonter dans les tubes et constituer ce qu'on appelle le « boulant ».

J'ajouterai aussi que dans cette même partie, il n'a pas été constaté la moindre faille de tassement, comme celles qui sont si fréquentes ailleurs, dans la région de Forest-Uccle et aussi sur la rive gauche de la Senne où j'en ai signalé, en 1888, un curieux exemple au Sud-Est de Berchem-Sainte-Agathe (*Annales de la Société royale malacologique*, t. XXIII, *Bull.*, p. LIX).

Mais qu'il me soit permis, en terminant, de faire remarquer qu'alors même que sur certains points de la ligne de jonction projetée, l'étude géologique par sondages signalerait, par la suite, au cours de nos recherches, l'existence de certaines déficiences dans le sous-sol, ce ne serait point un motif pour abandonner l'exécution de ce travail.

Le rôle du géologue est de faire connaître la composition et l'allure des terrains dans un détail et avec une précision qui ne laissent plus aucune prise aux innombrables mécomptes auxquels, naguère encore, on n'était que trop souvent exposé.

Une fois en possession de toutes les données scientifiques permettant de constater les déficiences des terrains à traverser, c'est à l'art de l'ingénieur, qui triomphe de tous les obstacles et fait l'admiration du monde civilisé, à appliquer au mal qui lui est signalé, le remède qui ne lui fait jamais défaut.

M. *Gobert*, à propos des travaux de jonction souterraine de la ligne Nord-Midi, à Bruxelles, signale les données pessimistes qu'aurait fournies l'architecte de la Banque nationale à l'occasion des travaux d'agrandissement de cet établissement. Il estime qu'il serait utile de profiter des circonstances pour se rendre compte des difficultés que présentent des travaux dans ces parages, dont doivent s'approcher les tracés proposés pour la ligne souterraine de jonction.

M. *Mourlon* a entendu parler, à différentes reprises, de ces prétendues difficultés de terrain dans certains points du territoire de Bruxelles, mais jusqu'ici n'a pu obtenir des renseignements très précis, lesquels cependant seraient très intéressants à connaître. Pour ce qui le concerne, les sondages qu'il a fait pratiquer pour l'étude du tracé du « métropolitain » ont donné de bons résultats.

Dans la discussion qui s'ouvre ensuite à ce sujet et à laquelle prennent part MM. de Raeck, Mourlon et Van den Broeck, il est question des difficultés provenant du terrain et du boulant qui auraient naguère contrarié les travaux de fondation des bâtiments de l'Université, soit

précisément des locaux où la Société belge de Géologie tient ses séances.

De cette discussion et des éclaircissements fournis par MM. Jacques, Van den Broeck et par d'autres collègues, il résulte que les difficultés rencontrées lors de l'établissement des fondations de l'Université furent réelles et sérieuses. Toutefois, leur cause, très spéciale, est indépendante de la question du *boulant* dans le sous-sol de Bruxelles. En effet, les bâtiments de l'Université sont établis dans un bas-fond, dont la différence de niveau des rues d'Isabelle et des Sols avec celui de la rue Royale et de la Montagne de la Cour fournit la notion topographique très nette. Ce bas-fond n'est autre chose que la partie d'aval d'un ancien ravin qui, autrefois, prenait naissance à l'emplacement du Parc, devant le Palais du Roi, ravin dont les parties d'amont, séparées aujourd'hui par de puissants remblais, constituent ce que l'on appelle les « bas-fonds » du Parc, célèbres d'ailleurs dans l'histoire des trois glorieuses journées de septembre 1830.

De même qu'un barrage dans l'enceinte du Parc sépare actuellement en deux parties la région d'amont de cette région boisée, de même un barrage analogue, formé par un puissant remblai, a complètement effacé les traces du ravin dans la direction de la rue Royale à hauteur de la propriété Errera, et ladite rue elle-même est constituée, dans ces parages, par un formidable remblai. Les escaliers de l'ancienne Bibliothèque, située derrière la statue du général Belliard, conduisent au bas de leurs soixante-deux marches à l'ancien sol du ravin, rue d'Isabelle et rue des Sols. La partie du bâtiment de l'Université qui présente les difficultés auxquelles il a été fait allusion sont celles qui sont situées vers le thalweg de l'ancien ravin. On y trouve, au lieu de l'affleurement de sables ypresien et bruxellien, constituant le sous-sol et même le sol de la capitale, un certain développement de dépôts limoneux et autres, d'âge quaternaire sans doute, des alluvions etc., et, encore aujourd'hui, d'après un renseignement fourni en séance par M. le Dr Jacques, un ruisseau souterrain coule dans ou sous les caves desdits bâtiments de l'Université.

Il est vraisemblable, fait observer M. Van den Broeck, que les sondages de reconnaissance que le Service fait exécuter en ce moment le long du tracé de notre futur « métropolitain » feront rencontrer, avec certains caractères analogues, des dépôts d'alluvions quaternaires et même modernes dans les régions d'aval de l'ancien ravin naturel qui prend naissance au Parc et se dirige vers les bâtiments de derrière de l'Université.

M. *Mourlon* rappelle à cette occasion que, se trouvant en compagnie de M. *Daimeries*, celui-ci lui fit remarquer, rue des Longs-Chariots et rue de la Bergère, des dépôts et phénomènes quaternaires très intéressants, paraissant avoir des rapports avec ce qu'indique, d'après les explications qui viennent d'être données, le sous-sol des bâtiments de l'Université.

Une discussion s'ouvre entre plusieurs membres au sujet de la décision qui a été prise antérieurement d'entreprendre une série d'expériences au sujet du boulant, décision dont les communications de MM. *Casse* et *Feret* montrent toute l'utilité pratique.

A ce sujet, M. le *Président* pose la question de savoir si, de même qu'il l'a été fait pour le grisou, il n'y aurait pas lieu de nommer une Commission du boulant, composée d'une dizaine de membres qui auraient spécialement à s'occuper des expériences. Deux laboratoires sont déjà, à cette fin, à la disposition de la Société : ceux de MM. *Petermann* et *F. De Schryver*.

M. le *Secrétaire général* estime que la proposition de M. le *Président* serait chose très utile, et il exprime l'avis de ne pas négliger non plus l'étude microscopique du boulant, élément essentiel. La Commission pourrait être divisée en deux sections, dont la première aurait à s'occuper des expériences proprement dites et la seconde de l'étude microscopique, pour laquelle on pourrait avoir recours à des spécialistes du pays et de l'étranger.

Il fait appel à tous pour réunir de bons échantillons du boulant pris dans différentes régions et à de multiples niveaux géologiques, et il insiste pour que l'on veuille bien s'occuper, s'il est possible pendant les vacances, de rassembler les éléments nécessaires pour mener cette étude à bonne fin.

Enfin, il invite les membres qui désireront suivre ces études à vouloir se faire inscrire au Secrétariat, de manière que pour la rentrée l'on puisse installer la Commission et répartir les travaux.

M. *Mourlon* appuie d'autant plus cette proposition que précisément, dans la Commission officielle qui a été nommée pour l'étude géologique du métropolitain, un des membres a été chargé de faire ces recherches expérimentales. Les documents auront une valeur beaucoup plus grande quand on pourra faire l'analyse d'échantillons provenant d'une série de sondages précis et représentant des conditions bien déterminées.

Ensuite d'un échange de vues entre MM. le *Président*, *Van den Broeck*, *Mourlon* et *Rabozée*, il est décidé de faire appel au concours d'un certain

nombre de nos collègues pour faire partie de la Commission dont il s'agit et les noms de plusieurs d'entre eux sont signalés à l'attention du Bureau. Celui-ci, à la suite de la publication du présent procès-verbal, espère obtenir spontanément quelques adhésions, qui seront acceptées avec un vif plaisir.

La séance est levée à 11 heures.

ANNEXE A LA SÉANCE DU 2 JUILLET 1901.

SUITE

A LA

BIBLIOGRAPHIE DU « BOULANT »

PAR

E. CUVELIER

Capitaine commandant du génie, professeur à l'École militaire.

ANALYSE DE TRAVAUX DIVERS.

I. — Les procédés de consolidation des talus des tranchées, par F. FROIDURE, ingénieur des ponts et chaussées (1).

Nous extrayons de la note de M. Froidure quelques remarques fort intéressantes relatives aux *propriétés des terres*. M. Froidure s'est surtout occupé de l'argile ypresienne (Yc de la légende de la carte au 40 000^e) à propos des travaux du canal de la Lys à l'Yperlée (2).

(1) *Ann. des Trav. Publ. de Belgique*, II^e fascicule; avril 1897; 60 pages, 62 figures en 6 planches.

(2) Commencé en 1864, le canal de la Lys à l'Yperlée n'a pu être mis en exploitation à cause des éboulements nombreux et considérables qui se sont produits à la grande tranchée du bief de partage.

1. La *cohésion* (1) varie avec la nature des terres et avec leur degré d'humidité.

2. Une légère humidité augmente la cohésion, tandis qu'une grande quantité d'eau la détruit : on sait qu'un *sable* sec ne présente aucune adhérence, tandis que *légèrement* humecté il devient consistant; une forte humidité le rend fluant.

3. L'*argile* est très consistante quand elle est légèrement humide; elle devient fluante et perd toute cohésion sous l'action d'une eau abondante.

4. On appelle *pouvoir absorbant* la propriété que possèdent les terres de pouvoir s'assimiler une certaine quantité d'eau. Le sable grossier absorbe plus d'eau que le sable fin (2) ou que l'argile; une terre tassée absorbe moins d'eau qu'une terre meuble.

5. La *perméabilité* est la propriété qu'ont les terres de se laisser traverser par l'eau (3). La résistance que l'eau éprouve pour traverser la terre provient, d'une part, du *frottement* (4) contre les particules et, d'autre part, de l'action de la *capillarité*. Le frottement total est proportionnel à la surface; il est d'autant plus considérable que l'ensemble des particules offre plus de surface et que les particules, par conséquent, sont plus petites.

6. La *capillarité* ou force ascensionnelle de l'eau varie en raison inverse des intervalles existant entre les particules; cette force, insensible pour des intervalles d'une certaine dimension, devient au contraire considérable et annule l'action de la pesanteur quand les particules sont très rapprochées. Dès lors, une terre étant saturée d'eau, celle-ci pourra s'écouler si l'action de la pesanteur l'emporte sur la capillarité et le frottement réunis; cette terre sera d'autant plus per-

(1) Ou résistance à l'extension.

(2) Il est bien entendu qu'il s'agit de sables *naturels*, à dimensions de grains variables, car on sait que le *vide du sable* est le même dans tous les sables supposés à grains *sphériques* d'égale grosseur. Cf. *Bull. de la Soc. belge de Géol.*, 1901. Étude scientifique du boulang : KEMNA, VERSTRAETEN, VAN AUBEL, CUVELIER, etc.

(3) Nous pensons qu'il faudrait *préciser* comme nous l'avons fait dans une NOTE SUR L'ÉTUDE DU BOULANT. *Proc.-Verb. de la Soc. belge de Géol.*, etc. 30 avril 1901, p. 282.

(4) Le frottement est considéré ici comme *frottement total*, force retardatrice en lutte avec la pesanteur.

méable que la différence entre les forces opposées sera plus considérable dans le sens vertical descendant. S'il y a équilibre entre ces forces, la terre, une fois saturée d'eau, ne laissera plus écouler celle-ci et deviendra imperméable; si la capillarité et le frottement combinés l'emportent sur la pesanteur, la terre ne pourra même plus se saturer; elle aura un pouvoir absorbant faible ou nul. Rappelons à ce sujet que le sable à gros grains est très perméable; que le sable fin l'est moins et d'autant moins qu'il est plus tassé; que l'argile, composée de particules très fines et très rapprochées, est imperméable.

7. Un terrain *imperméable* par lui-même *peut devenir perméable*, car les terres présentent souvent des crevasses ou des facettes de séparation à travers lesquelles l'eau peut passer. C'est le cas pour l'*argile ypresienne* : elle possède un certain pouvoir absorbant, sa perméabilité est à peu près nulle, mais l'eau y pénètre plus ou moins abondamment :

- a) En raison des veines ou stries de sable qu'elle contient;
- b) En raison surtout des nombreux plans de clivage qu'elle présente en tous sens et divisant la masse en une infinité de fragments.

8. L'étude de M. Froidure renferme de nombreux renseignements sur les *causes* et le *mode de production* des *éboulements* : terrain sablonneux, terrain argileux, terrain perméable sans ou avec nappe d'eau, massif imperméable surmonté d'un massif perméable, éboulement en terrain argileux; éboulements survenant à la suite des dégels. Elle se termine par l'examen des *procédés de consolidation des talus*. L'analyse de ces divers points spéciaux ne trouverait pas sa place ici : elle intéresse plus spécialement l'*ingénieur*.

II. — Note relative à quelques expériences faites sur les terrains de la tranchée du bief de partage du canal de la Lys à l'Yperlée, par E. FROIDURE, ingénieur des ponts et chaussées (1).

Continuant ses études sur le bief de partage du canal de la Lys à l'Yperlée, M. Froidure fait connaître divers résultats de ses recherches :

1. L'*argile ypresienne* gonfle sous l'action de l'eau; cette propriété prend une grande importance quand ce terrain sert de fondation à des

(1) *Ann. des Trav. Publ. de Belgique*, II^e fascicule. Avril 1900, 13 pages.

corps exposés à se rompre, comme c'est le cas pour les radiers de certains ouvrages d'art.

2. Il est vraisemblable que la pression que développe le gonflement de l'argile varie avec le volume d'argile influencé par l'eau et augmente avec le temps, l'eau pouvant toujours, de proche en proche, humecter de nouvelles couches d'argile. Un volume de 2 décimètres cubes a développé une pression de 3 540 kilogrammes par mètre carré (1).

3. Le gonflement de l'argile tout à fait *libre* est très énergique et s'accroît d'autant plus que la charge comprimante diminue; afin de pouvoir apprécier pratiquement, disons que M. Froidure fait observer que la force de gonflement de 3 540 kilogrammes par mètre carré constatée par expérience directe, correspond sensiblement au poids d'un bloc de maçonnerie de briques de 2 mètres de hauteur: de sorte que le radier d'un ouvrage d'art ayant cette épaisseur de 2 mètres pourrait être soulevé par le seul fait du gonflement de l'argile.

4. M. Froidure montre que le chiffre de 3 540 kilogrammes par mètre carré ne représente qu'une *fraction* de la force réelle du gonflement de l'argile ypresienne; les expériences, dont nous allons rendre compte, de M. Spring, sur l'argile d'Andenne, semblent donner *grandement* raison à M. Froidure.

5. Au point de vue spécial du « boulant » (2), nous extrayons encore de la note de M. Froidure les résultats suivants:

1° La force de cohésion (3) du sable sec est nulle; celle du sable humide est appréciable, quoique très faible. L'eau a pour effet de donner de la cohésion à la masse sans doute à cause de l'adhérence ou de la force capillaire qui se produit au contact du sable;

2° On considère généralement que le coefficient de frottement des terres augmente quand elles sont légèrement humectées. Cette augmentation n'est qu'apparente: les terres, quand elles sont humides, se maintiennent effectivement sous une inclinaison plus raide; seu-

(1) Comme on le verra plus loin (III, n° 4, III), les expériences de M. Spring donnent 2 kilogrammes par centimètre carré, soit donc 20 000 kilogrammes par mètre cube pour l'argile d'Andenne.

(2) Cette bibliographie s'y rattache d'ailleurs directement tout entière.

3) Résistance à l'extension.

lement, ce résultat provient de la force de cohésion sous l'influence de l'humidité;

3° En augmentant la quantité d'eau, une masse de sable peut devenir *boulante* : on doit admettre que l'eau en excès a pour résultat d'écartier les grains de sable ou de les entraîner en vertu de la pression qu'elle exerce; la pression hydrostatique détruit ainsi les effets de la capillarité;

4° L'argile mélangée à certains sables a la propriété de donner de la cohésion à la masse; tant qu'elle ne se trouve que dans les vides existant entre les grains de sable, elle ne produit aucune action nuisible, même soumise à un excès d'eau : les grains de sable resteront en contact et développeront la résistance au *frottement de sable sur sable*. L'argile, dans ce cas, a pour résultat d'augmenter la résistance de la masse par la cohésion qu'elle lui donne et le poids supplémentaire qu'elle fournit. Elle empêche la masse de devenir *boulante* en s'opposant à l'introduction de l'eau dans les vides qu'elle occupe (1).

III. — Quelques expériences sur la perméabilité de l'argile, par W. SPRING (2).

M. Spring a fait des expériences sur l'argile *plastique d'Andenne* (3) et sur du *limon hesbayen* (4). Nous résumons ci-dessous ses observations et remarques :

1. Si les eaux d'alimentation viennent de la surface, il n'est pas toujours aisé de découvrir le chemin qu'elles ont suivi pour gagner la profondeur : la difficulté est surtout grande quand les terrains sablonneux ou crayeux, par exemple, se trouvent sous des formations argileuses; les eaux pluviales peuvent être retenues complètement (5) et l'on ne s'explique pas facilement comment se fait l'alimentation des

(1) Voir VIDES DU SABLE, *Bull. de la Soc. belge de Géol.*, PROC.-VERB., pp. 284 et 285, 30 avril 1901. M. Froidure admet que le vide du sable sec à grains sphériques égaux est de 350 c. c. environ par mètre cube $\left(\frac{1}{2.85}\right)$. On doit donc incorporer dans le sable un tiers à peu près de son volume apparent ou la moitié de son volume plein réel.

(2) *Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XXVIII, pp. 118-127.

(3) Argile tongrienne. *De l'extension des sédiments tongriens*, etc., par MM. RUTOT et VAN DEN BROECK. *Bull. de la Soc. belge de Géol.*, etc., t II, 1888, PROC.-VERB., pp. 9-25.

(4) Limon du haut plateau hesbayen.

(5) Cf. de LAPPARENT, *Traité de Géologie*, 4^e édition, 1900. Ruissellement, p. 159.

couches aquifères : les eaux de pluie paraissent ne pas pénétrer à un demi-mètre de profondeur dans l'argile (1).

2. Les hydrologistes ne sont pas d'accord sur la pénétration de l'eau de pluie dans le sous-sol, et certains ont émis à ce sujet des hypothèses absolument invraisemblables. Il n'est donc pas sans utilité de rechercher dans quelles conditions une *couche d'argile* peut être traversée par l'eau et de s'assurer si, dans la nature, le passage de l'eau est possible.

3. Après avoir rappelé de quelle manière on a habituellement procédé jusqu'ici pour rechercher la *perméabilité des argiles*, M. Spring fait connaître une nouvelle méthode expérimentale qu'il a imaginée. Il s'est d'abord posé ce problème : De l'argile emprisonnée de toutes parts (2) peut-elle encore *s'imprégner* d'eau? La conclusion probable des expériences est : *L'argile emprisonnée d'une façon absolue, c'est-à-dire ne pouvant pas se gonfler, — le gonflement étant une condition aussi bien qu'une conséquence de la pénétration de l'eau, — n'absorbe pas d'autre eau que celle avec laquelle elle se combine en se contractant. Réciproquement, une pâte d'argile perd son eau, même au sein de l'eau, quand on la comprime dans une enveloppe perméable d'où elle ne peut s'échapper.*

4. Les expériences ou déductions prouvent :

1° Qu'une terre argileuse ne peut s'imprégner d'eau que quand elle peut se *dilater librement*;

2° Que l'argile *en place*, dans le sol, étant d'autant plus serrée qu'elle a à supporter des couches plus épaisses, ne sera perméable à l'eau que jusqu'à une profondeur limitée définie par la condition que le *travail* de la pénétration de l'eau doit y faire *équilibre* à celui du soulèvement de la masse;

3° Que la force expansive de l'argile au contact de l'eau est difficile à évaluer, mais qu'on peut l'estimer comme étant inférieure à 2 kilogrammes par centimètre carré;

4° Qu'on doit admettre que l'argile *en place* ne peut faire son expansion que vers le *haut*; cette expansion cesse d'être possible si en un

(1) Les couches d'argile qui forment le fond de certains lacs ne s'imprègnent pas d'une manière notable.

(2) Comme le sont souvent les argiles en sol profond.

point d'un banc argileux la couche d'argile verticalement au-dessus dépasse 7 à 10 mètres, selon que la densité de la couche est 2.60 ou 2.00 (d'après le degré d'humidité).

5° Que l'eau qui remplit les terrains perméables (craie, sables, etc.) ne peut avoir passé par les couches d'argile qui les couvrent si celles-ci sont *continues* et ont plus de 7 à 10 mètres d'épaisseur : elle doit donc avoir passé par des *crevasses* ou des *affleurements* des terrains perméables. Il en résulte que la réserve en eau de ces terrains pourra, dans bien des cas, ne pas répondre à l'abondance des précipitations atmosphériques (1).

(1) L'article de M. Spring donne les nombres 0^m,40 et 1 mètre pour la profondeur à laquelle pourrait avoir lieu l'imprégnation de l'argile ; il y a là une erreur, qui m'a du reste été signalée par l'auteur lui-même et que je rectifie ici, d'accord avec lui.

