

## Quelques expériences sur la perméabilité de l'argile.

(*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXVIII, 1901, p. 117.)

Beaucoup de terrains sablonneux ou crayeux sont presque totalement imprégnés d'eau. Cette eau est, le plus souvent, pauvre en microorganismes; elle a donc les caractères d'un liquide purifié par une bonne filtration.

On admet généralement que c'est son passage par les couches des terrains qui couvrent la nappe aquifère qui débarrasse l'eau des particules si abondantes dans celle de la surface. Toutefois, s'il paraît incontestable aujourd'hui que ces eaux pures viennent de la surface, il n'est pas toujours aisé de découvrir le chemin qu'elles ont suivi pour gagner la profondeur. Parfois même, la difficulté est d'un ordre particulier : c'est lorsque les terrains sablonneux se trouvent sous des formations argileuses. Alors, les eaux pluviales peuvent même être retenues complètement et l'on ne s'explique plus comment se fait l'alimentation du bassin souterrain. Cette difficulté a déjà été signalée. On sait depuis longtemps (\*) que les eaux de pluie paraissent ne pas pénétrer à un demi-mètre de profondeur dans l'argile et que même les couches d'argile qui forment le fond de certains lacs ne s'imprègnent pas d'une manière plus notable. Aujourd'hui même, les hydrologistes ne sont pas d'accord sur la pénétration de l'eau de pluie dans le sous-sol et ils ne formulent, sur l'origine de beaucoup de *fontaines*, que des suppositions plus ou moins vraisemblables. Il est superflu de rappeler tout ce qui a été dit à ce propos; mais il est intéressant de constater qu'on est allé jusqu'à regarder l'imprégnation du sol comme due aux eaux de la

---

(\*) DE LA HIRE, *Mémoires de l'Académie des Sciences*. Paris, 1703.

mer qui auraient abandonné leurs sels pendant une *infiltration latérale*, par voie de vaporisation, ou d'absorption. Cette hypothèse impossible témoigne de l'embarras dans lequel on se trouve pour concevoir une *alimentation verticale* du sous-sol, par le passage des eaux météoriques à travers les couches de la surface.

Peut-être n'est-il 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. S'il ne l'était pas, il faudrait nécessairement admettre que le sous-sol s'alimente d'eau aux affleurements sablonneux ou crayeux; ou bien par le canal des crevasses traversant les bancs d'argile. L'évaluation de cette alimentation ne pourrait alors se trouver qu'en relation très éloignée avec la quantité totale des précipitations météoriques sur la région considérée. En d'autres termes, on ne pourrait prendre la hauteur d'eau tombée comme facteur à introduire directement dans le calcul du débit annuel d'eau d'une nappe souterraine, sans s'exposer à une évaluation exagérée.

J'ai fait, sur le sujet qui vient d'être touché, quelques expériences dont je désire faire connaître les résultats; peut-être ne seront-ils pas sans utilité pour l'hydrologie.

\* \* \*

Dans les expériences tentées, jusqu'à présent, sur la perméabilité des argiles, on a tassé, chaque fois, de la terre sèche ou de l'argile dans des tubes de dimensions déterminées qu'on mettait en communication, par leur extrémité ouverte supérieure, avec un bassin contenant de l'eau. On notait alors la pénétration verticale de l'eau dans la terre dans des temps déterminés.

J'ai cru devoir opérer autrement, la méthode rappelée ne répondant pas bien aux conditions de la nature. J'ai essayé de constater si de l'argile emprisonnée de toute part, comme le sont celles de la profondeur, peut livrer passage à l'eau, voire si elle peut encore *s'imprégner*? Ayant en vue, surtout, de résoudre le problème *en principe*, c'est-à-dire en écartant d'abord les facteurs de complication, j'ai opéré sur l'argile la plus simple dont je pouvais disposer, savoir : sur la terre plastique grise, d'Andenne, qui contient très peu de sable, comme on sait.

Entièrement desséchée, cette terre avait une densité de 2.62; tandis que, pétrie avec de l'eau (17 % environ), elle ne présentait plus qu'une densité de 2.05. Il est facile de calculer que l'augmentation de volume est presque proportionnelle au volume de l'eau ajoutée. En effet, 100 grammes d'argile humide occupent  $\frac{100}{2.05} = 48^{\text{cc}}78$ , tandis que 83 grammes d'argile sèche, plus 17 grammes d'eau (en tout 100 grammes d'argile humide), occupent  $\frac{83}{2.62} + \frac{17}{1} = 48^{\text{cc}}87$  : c'est-à-dire que la contraction due au mouillage de l'argile par l'eau n'atteint pas 2 % du volume total. Si nous faisons abstraction de cette faible contraction, nous pouvons dire, pour le reste, que l'argile humide est gonflée de tout le volume d'eau qu'elle a absorbé.

Cela étant, on peut se demander si le gonflement de l'argile n'est pas aussi bien une *condition* qu'une *conséquence* de la pénétration de l'eau? En d'autres termes, si une argile empêchée mécaniquement de gonfler est encore perméable à l'eau?

Pour vérifier ce point, j'ai rempli deux vases de terre poreuse, tels qu'ils servent au montage des piles électriques, d'argile séchée à 150° pendant deux jours, puis pulvérisée et tamisée à travers une étamine. Cette poudre fine a été tassée, au marteau, par petites portions à la fois, avec le plus grand soin, afin que les vases fussent remplis aussi exactement que possible.

L'un des vases fut ensuite fermé au moyen d'un couvercle métallique rodé exactement et maintenu en place par quatre boulons passant par une plaque de métal formant *étrier* sous le fond extérieur du vase. L'argile ne pouvait donc faire aucune expansion dans ce vase. L'autre vase, qui devait servir d'élément de comparaison, était fermé à l'aide d'un couvercle livrant passage à un large tube métallique ouvert. C'est dans ce tube que devait se produire l'expansion de l'argile à la suite de son imbibition d'eau.

Les deux vases ont été plongés ensuite dans le même bassin d'eau. Il ne sortait de l'eau que le tube métallique du second vase. Après quelques heures d'immersion, on pouvait déjà voir la surface libre de l'argile du dernier vase se soulever dans le tube et *bomber* vers l'extérieur. L'immersion dura aussi longtemps qu'on pouvait constater une expansion dans le vase témoin. Ce ne fut qu'après le septième jour que les mouvements de l'argile cessèrent. Les vases furent retirés de l'eau, essuyés et ouverts. Le résultat fut frappant.

L'argile du premier vase formait une masse compacte au point de ne se laisser pénétrer que difficilement par une tige de fer de quelques millimètres de diamètre; l'argile du second vase était, par contre, devenue une pâte molle, dans laquelle on pouvait facilement enfoncer le doigt.

Un dosage de l'eau, par dessiccation à 150°, fit voir que l'argile du premier vase avait absorbé 3.57 % d'eau seulement, et celle du second 12.09, ou environ quatre fois plus.

L'argile du premier vase n'était donc pas restée absolument sèche. Cela ne doit pas nous surprendre; pour deux motifs. Le premier est la *contraction* qui accompagne l'hydratation première de l'argile sèche. Nous avons vu plus haut qu'elle est environ de 2 ‰ du volume total. Il est clair que l'eau nécessaire à cette hydratation ne peut être empêchée de pénétrer dans la terre, par l'obstacle mis à l'expansion. Le second motif est que les particules d'argile sèche devaient inévitablement laisser entre elles des vides plus ou moins nombreux. Il n'est pas possible, en effet, de produire un contact complet dans un bourrage fait seulement au marteau.

Pour éliminer cette dernière cause perturbatrice, j'ai modifié la manière d'opérer. J'ai façonné, d'abord, de petits cylindres d'argile en comprimant la poudre sèche à 7 ou 8,000 atmosphères. On obtient alors une masse compacte, rappelant certains schistes dévonien sous le rapport de la solidité (mais non de la texture). Plongée dans du naphthé, cette masse ne laissait échapper qu'un volume tout à fait négligeable de bulles d'air; ceci prouve que les *vides* avaient presque disparu. Plongée, d'autre part, dans l'eau, cette masse s'en imprègne lentement et se dilate par couches concentriques, jusqu'à ce qu'elle ait absorbé toute l'eau possible. La pénétration de l'eau a donc lieu dans les conditions de liberté de la substance.

Pour emprisonner, cette fois, l'argile tout en lui fournissant de l'eau, j'ai fait passer le cylindre d'argile dans un tronçon d'*artère brachiale* fraîchement prélevée sur le cadavre et j'ai noué les deux bouts de façon à ne pas laisser de vide. On sait que la membrane d'une artère laisse passer l'eau osmotiquement, mais non les corps solides ou colloïdaux (ni même la plupart des corps dissous dans l'eau). En plongeant dans l'eau l'objet ainsi préparé, on fournira le liquide à l'argile, mais il faut encore empêcher son expansion. A cet effet, j'ai dressé deux parallépipèdes taillés dans un bloc de

terre cuite poreuse et j'ai creusé, dans chacun d'eux, un demi-cylindre dont le diamètre était égal, aussi exactement que possible, au cylindre d'argile habillé de l'artère. Ces deux parties ont été ensuite serrées sur le cylindre et fixées à l'aide d'une ligature. Les deux ouvertures libres de la cavité cylindrique ont été fermées au moyen de ciment à l'oxychlorure de zinc, ciment qui fait prise en peu de temps et qui présente une grande résistance.

Un autre cylindre d'argile a été enfermé également dans une artère nouée aux deux bouts, mais il n'a pas été emprisonné. Il devait servir de *témoin*; son expansion n'étant contrariée que par la résistance élastique de l'artère.

Ces dispositions étant prises, les objets ont été plongés dans l'eau et abandonnés pendant deux semaines. L'eau pénétrait, naturellement, la terre poreuse, puis l'artère et passait à l'argile. Au bout de ce temps, le cylindre libre avait augmenté notablement de volume; il était devenu mou; on pouvait le déformer facilement entre les doigts. L'argile avait absorbé 15.65 % d'eau. D'autre part, le cylindre emprisonné était resté dur; il avait conservé sensiblement son volume et absorbé seulement 2.67 % d'eau.

On le voit donc, le résultat est plus net que précédemment. Il est sans doute permis de dire que si l'on pouvait vaincre toutes les difficultés de l'expérience, l'argile emprisonnée d'une façon absolue, resterait sèche comme une pierre dans son intérieur et n'absorberait pas d'autre eau que celle avec laquelle elle se combine en se contractant.

\*  
\*  
\*

J'ai procédé ensuite à une expérience inverse, c'est-à-dire que j'ai vérifié si une pâte d'argile perd son eau, au sein de l'eau, quand on la comprime dans une enveloppe perméable d'où elle ne peut s'échapper?

Voici les dispositions prises à cette effet. Une pâte d'argile qui contenait 33.66 % d'eau, a été déposée au fond d'un vase poreux de pile. Au-dessus se trouvait une calotte découpée dans une balle creuse de caoutchouc, pour servir de piston embouti (*anneau de Bramah* de la presse hydraulique). Un piston de bois s'appliquait au-dessus de la calotte et se trouvait pressé par un levier qu'on chargeait de poids. Le vase poreux était noyé dans un vase plein d'eau.

Il n'est pas nécessaire que la pâte d'argile se trouve sous forte pression pour abandonner son eau. L'expérience montre, toutefois, que plus la pression est forte, plus grande est la vitesse de l'expression de l'eau. J'ai opéré, couramment, à l'aide d'une pression de 5 kilogrammes environ par centimètre carré (\*). Sitôt que la pression est donnée, on voit l'extrémité du levier s'abaisser lentement, suivant la diminution du volume de la pâte d'argile. Après trois jours, le mouvement était arrêté. J'ai ouvert alors l'appareil et constaté que la pâte avait beaucoup durci, mais elle était encore humide. Un dosage de l'eau a fait connaître qu'elle en renfermait encore 26.82 %. La compression avait donc fait sortir  $33.66 - 22.82 = 6.84$ , ou 30.33 % de la quantité primitive d'eau.

Les essais ont été variés alors en employant des pâtes de plus en plus riches en eau, jusque 70 % environ, ce qui représente déjà une boue épaisse. Il s'est produit ce résultat remarquable que toutes ces pâtes se sont durcies sensiblement au même degré; chacune a gardé à peu près autant d'eau que le premier essai, c'est-à-dire 27 % en nombre rond.

Il était possible que cette retenue d'eau par la pâte fût en rapport avec la pression exercée. J'ai donc doublé celle-ci dans une autre série d'essais. La quantité d'eau restée dans la pâte a, effectivement, diminué. Au lieu de 27 % il n'en resta plus que 25 % en nombre rond. Je n'ai pas continué les essais avec une pression plus forte, parce que le vase poreux s'est brisé quand la charge du levier fut triplée : il supportait alors plus de 9 kilogrammes par centimètre carré. Quoi qu'il en soit, on peut admettre que si une pâte était soumise à une compression suffisamment forte, dans un vase perméable seulement à l'eau, elle perdrait son liquide comme une éponge pressée.

\* \* \*

(\*) Voici les données du calcul de la pression :

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| Diamètre du piston . . . . .         | 3 cm <sup>2</sup> |
| Rapport des bras du levier . . . . . | 12.5              |
| Poids . . . . .                      | 2 kg.             |

$$\text{donc : } \frac{12.5 \times 2}{\pi (1.6)^2} = 3^{\text{kg}}.$$

Ces résultats étant acquis, j'ai tenu à m'assurer s'ils devaient être regardés comme particuliers à l'argile ou s'ils étaient susceptibles de généralisation.

J'ai donc répété les *expériences d'imbibition*, en milieu libre et en milieu emprisonné, au moyen de *gélatine* d'abord, d'*amidon* ensuite, et enfin au moyen de *limon* provenant du haut plateau hesbayen.

J'ai découpé une baguette de gélatine dans une tablette de colle forte et je l'ai façonnée en cylindre, sur le tour. Un fragment a été enfermé dans une artère nouée aux deux bouts et laissé libre, tandis qu'un autre fragment, enfermé aussi dans une artère nouée, a été emprisonné dans un bloc de terre poreux, comme il a été dit plus haut. Ils ont séjourné alors dans l'eau pendant le même temps. Après cinq jours, la gélatine non emprisonnée avait rompu l'artère à l'endroit de l'une des ligatures et elle sortait en gelée molle de l'ouverture béante. La partie opposée à la déchirure était, naturellement, moins gonflée; un dosage de l'eau a fait voir, néanmoins, qu'elle avait absorbé 11.2 fois son poids d'eau. J'ai procédé alors à l'examen de la gélatine emprisonnée. Elle était gonflée de manière à remplir exactement le logement qui lui était offert, mais rien au delà : l'artère était entière. Un dosage d'eau montra qu'elle avait absorbé seulement 1.83 fois son poids d'eau.

Il résulte de là que la gélatine absorbe l'eau d'autant plus vite qu'elle est plus libre de gonfler. Quand elle n'a à vaincre que la résistance élastique d'une artère, elle absorbe 6 fois autant d'eau (11.20 : 1.83) que si l'expansion de l'artère est contrariée. Il est très probable, aussi, que si l'on pouvait empêcher absolument le gonflement de la gélatine, sa *solubilité* dans l'eau serait annulée en même temps.

L'amidon a donné les mêmes résultats; mais comme le gonflement de l'amidon dans l'eau froide n'est pas grand, ils se sont moins accusés. L'amidon tassé dans un vase poreux laissé ouvert, avait absorbé 44.63 % d'eau, tandis que l'amidon du vase poreux clos avait absorbé 38.7 %. On remarquera, à ce sujet, que l'amidon sec, tassé même au marteau, doit laisser des vides entre ses grains qui sont plus ou moins sphériques et que ces vides doivent se remplir inévitablement d'eau. Ainsi s'explique l'énorme quantité d'eau absorbée et ainsi se vérifie, une fois de plus, que l'eau absorbée par une matière emprisonnée remplit les lacunes de la matière, plutôt qu'elle ne produit son gonflement.

Enfin, le limon de la Hesbaye, essayé également dans le vase poreux, a absorbé 24.56 % d'eau quand il a été emprisonné et 51.80 quand il a été libre. On remarquera que la portion d'eau absorbée par le limon de la Hesbaye est beaucoup plus grande, toutes conditions restant égales, que celle absorbée par la terre d'Andenne. Celle-ci n'absorbant que 5.57 % quand elle était emprisonnée, tandis que le limon de la Hesbaye en absorbe 24.56, ou au delà de 7 fois plus. En outre, le rapport de l'eau absorbée par le limon libre à l'eau absorbée par le limon emprisonné est plus petit que le rapport correspondant de l'argile :

$$\frac{51.80}{24.56} = 2.1 \text{ contre } \frac{12.09}{3.37} = 3.5;$$

ceci prouve, d'une manière certaine, que le limon de la Hesbaye, même tassé à refus, présente *plus de vides* que la terre d'Andenne. Des expériences à venir nous diront le rôle que jouent ces vides dans la pénétration de l'eau.

#### Conclusions.

Les expériences qui viennent d'être décrites prouvent que, si la pénétration de l'eau dans une substance a pour conséquence nécessaire une *dilatation*, cette pénétration sera arrêtée quand l'augmentation de volume de la matière ne pourra pas avoir lieu. Plus particulièrement, une terre argileuse ne pourra s'imprégner d'eau que quand elle sera libre dans son mouvement de dilatation. 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.

La force expansive de l'argile au contact de l'eau est difficile à évaluer, mais on peut l'estimer inférieure à 2 kilogrammes par centimètre carré. La densité de l'argile étant comprise entre 2.6 et 2.0 (selon son degré d'humidité), il est visible que les eaux de la surface ne pourront descendre, dans un terrain argileux non crevassé à plus de 0<sup>m</sup>4 environ, ou tout au plus à 1 mètre. L'eau qui remplit

les terrains perméables proprement dits (sables, craie, etc.) ne peut donc pas avoir passé par les couches d'argile qui les couvrent, si celles-ci sont continues et d'une épaisseur de plus de 1 mètre; elles doivent avoir pénétré par des crevasses ou des affleurements des terrains perméables. La réserve en eau de ces terrains pourra, dans bien des cas, ne pas répondre à l'estimation que l'abondance des pluies ou des neiges tombées, par année, sur la région, aura suggérée.

Enfin, il sera permis de faire remarquer le parallélisme qui se montre entre les faits mentionnés dans cet article et les phénomènes *osmotiques*. La solution d'un corps enfermée dans un vase à parois *semi-perméables*, c'est-à-dire laissant passer l'eau à l'exclusion du corps dissous, tend à augmenter de volume jusqu'à ce que la pression qu'elle supporte ait atteint une certaine valeur. Si l'on met un obstacle à cette augmentation de volume, la pénétration de l'eau est arrêtée, comme est arrêtée la pénétration de l'eau dans l'argile qui ne peut augmenter de volume. D'autre part, on a signalé, en chimie physique, que la compression d'une solution dans un milieu semi-perméable devait avoir pour conséquence la *concentration de la solution*, mais l'expérience n'a pas pu être faite; elle réussit sans difficulté extraordinaire à l'aide d'une pâte d'argile pressée dans un vase poreux.