

L'observation et l'expérience

Résumé

L'article présente une réflexion autour de la recherche expérimentale et des idées nouvelles. Un exemple est donné et montre comment une petite modification de la façon de mesurer le coefficient de perméabilité d'une roche peut changer l'utilisation que l'on doit en faire.

Mots-clés : observateur, expérimentateur.

P. HABIB

Laboratoire de Mécanique
des Solides
École Polytechnique
91128 Palaiseau

The observation and the experience

Abstract

The article presents a reflection about the experimental research and new ideas. An example is given and shows how a small modification of the method for measuring the permeability of rock can change the final interpretation.

Key words: observation, experimentation.

Préambule

Dans *L'Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Claude Bernard distingue l'observation et l'expérience. Il estime qu'au cours d'une observation (médicale ou autre) il est possible qu'une idée nouvelle apparaisse. Pour aller plus loin, il est alors nécessaire de réfléchir autour de cette idée et de concevoir une nouvelle expérience pour approfondir cette idée. (Par exemple, si au cours d'une observation astronomique il apparaît quelque chose d'inattendu, il est souhaitable de monter une expérience nouvelle pour expliquer et approfondir ce qu'on vient de voir.)

Il faut alors avoir été élevé et avoir vécu dans des laboratoires pour bien saisir l'importance de tous les détails des nouveaux procédés d'investigation, car il peut surgir quelque phénomène imprévu qui donnera des idées sur des orientations nouvelles à imprimer à la Recherche...

Mais, ajoute Claude Bernard, la méthode expérimentale ne donnera pas d'idées neuves ou fécondes à ceux qui n'en ont pas (Première partie, chapitre 1 : « De l'observation et de l'expérience »).

Il est bien évident que pour Claude Bernard les deux parties sont liées, observation et expérience, mais, cependant, dans son discours, c'est bien l'observateur qui dirige l'expérimentateur, même s'ils ne sont qu'une seule et même personne ! En bref, pour Claude Bernard, l'observateur et l'expérimentateur sont égaux, même s'il y en a un qui est un peu plus égal que l'autre.

Introduction

Il est certainement intéressant d'examiner la genèse d'une idée nouvelle dans des domaines très différents de celui de la médecine, par exemple dans le domaine du génie civil et plus particulièrement dans le domaine des recherches faites à l'occasion des grandes catastrophes. On prendra ici pour exemple les recherches faites après la rupture du barrage de Malpasset, en 1959 avec 423 morts et d'énormes dégâts dans la ville de Fréjus, aux routes et aux voies de chemin de fer y accédant. Et tout cela malgré tout le savoir d'un concepteur de réputation internationale et des travaux de construction réalisés par l'une des plus grandes entreprises françaises. A l'époque, cette catastrophe a laissé pantois le petit monde des ingénieurs en France, mais aussi à l'étranger. Le concepteur, André Coyne, a écrit : « J'ai barré le Zam-bèze et je n'ai pas réussi sur un ruisseau... ».

Il fallait absolument comprendre ce qui s'était passé alors qu'il existait des barrages-voûtes de même conception et qui se portaient très bien. Il y avait donc une cause cachée.

Bien entendu, il y eut d'abord une commission d'enquête administrative pour évaluer les dégâts, identifier les blocs de béton et morceaux de roches restés sur place ainsi que la géologie du site à remplacement du barrage.

Il y eut ensuite une commission judiciaire pour situer les responsabilités des uns et des autres et, peut-être, pour comprendre la cause des accidents.

Enfin, il y eut des travaux d'études et des réflexions par les ingénieurs des entreprises concernées par la

construction de tels ouvrages et appelés à en réaliser d'autres en France ou à l'étranger.

Le bureau d'études Coyne et Bellier décida, de son côté, de définir tout ce qu'on pouvait imaginer sur les propriétés du site pour étudier toutes les observations faites durant les trois ou quatre années précédant la catastrophe, c'est-à-dire la rupture de la voûte en béton et celle du site ou de ce qu'il en restait et dont on va parler maintenant.

Les essais en laboratoire

Le bureau d'études Coyne et Bellier confia au Laboratoire de mécanique des solides de l'École polytechnique l'étude de tous les essais mécaniques et physiques que l'on savait faire à l'époque – et il y en avait beaucoup – sur les matériaux du site et plus particulièrement sur les matériaux rocheux (densité, porosité, teneur en eau, résistance en compression simple et en contraintes triaxiales des roches humides ou sèches, dispersion des résultats, effets d'échelle, fluage, anisotropie, module d'Young, coefficient de Poisson, vitesse de propagation du son, etc.). Tout paraissait normal par rapport aux conditions géologiques et en particulier il n'y avait pas de fluage ni d'effets différés.

Les essais de perméabilité

Ne voyant rien de particulièrement inquiétant dans les essais mécaniques et se souvenant que la roche en place était forcément humide (ou même dans l'eau) il pouvait être intéressant de connaître la perméabilité de la roche. *A priori* ce n'était pas facile car cette perméabilité paraissait très petite et les essais classiques de perméabilité de mécanique des sols n'étaient pas adaptables. En effet, pour ceux-ci les essais sont généralement réalisés avec des écoulements plans : dans un cylindre vertical un échantillon de terre est placé entre deux pierres poreuses et l'eau s'écoule du haut vers le bas (Fig. 1).

La perméabilité d'un sable peut être de l'ordre de 10^{-3} m/s ou même plus grande et celle d'une argile peut être de l'ordre de 10^{-10} m/s. Or pour les roches, il faut s'attendre à des perméabilités de l'ordre de 10^{-7} m/s à 10^{-17} m/s. Avec des perméabilités de l'ordre de 10^{-10} m/s la moindre fuite était insupportable. Il fallait donc concevoir des essais spécifiques avec de nou-

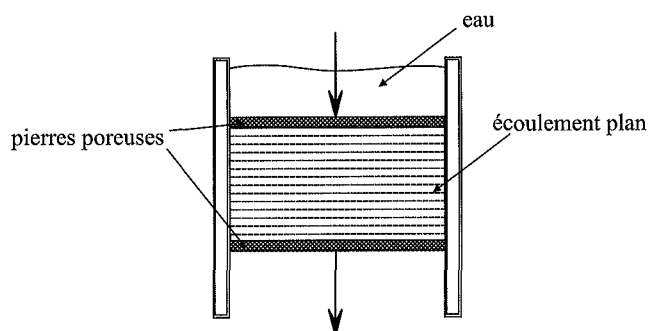


FIG. 1

Essai de perméabilité (écoulement plan).
Permeability test (plane discharge).

veaux matériels. On abandonna l'écoulement plan au profit d'un écoulement radial convergent. Une éprouvette cylindrique de roche ayant un trou axial borgne est collée sur une embase percée. Cette éprouvette est placée dans une chambre remplie d'eau sous pression. La quantité d'eau qui s'échappe de ce montage permet – par un calcul facile – de connaître le coefficient de perméabilité (Fig. 2).

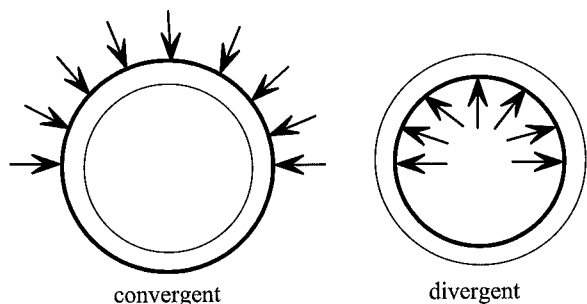


FIG. 2 Écoulement radial.
Radial discharge (converging or diverging).

Un montage expérimental est toujours coûteux sans qu'on soit sûr des résultats. Mais ces derniers sont-ils fidèles ? C'est-à-dire, par exemple, est-ce que les débits sont les mêmes lorsque la pression d'injection est atteinte en pression croissante ou en pression décroissante ? Pour renforcer le moral, l'un de nous dit en plaisantant : « Si cela ne marche pas on pourra toujours faire l'essai dans l'autre sens en injectant le liquide sous pression dans le trou axial et en récupérant le liquide à l'extérieur ! »

Finalement l'essai prévu s'est très bien passé mais les résultats n'étaient pas toujours les mêmes en fonction de la pression d'injection. Alors on a essayé la méthode qui n'était que de la plaisanterie c'est-à-dire que la pression d'injection soit faite à partir du trou axial. Et le résultat fut très net : la perméabilité était fonction du sens de la pression et, à la limite, la pression interne pouvait faire éclater l'éprouvette. Cela était évident puisque l'on sait que toutes les roches naturelles sont fissurées. De sorte que dans nos essais lorsque l'écoulement était convergent l'éprouvette était comprimée tangentiellement, ce qui avait tendance à refermer les fissures. Et lorsque l'écoulement était divergent au contraire cela avait pour effet d'élargir les fissures, donc d'augmenter la perméabilité. Ces résultats s'accordent donc avec le caractère très fissuré de la roche du site de Malpasset. Des essais furent alors faits sur des roches très différentes et en particulier sur des roches provenant des fondations de différents barrages. Les roches de Malpasset s'avèrent plus sensibles, et de beaucoup, que toutes les autres.

5

Interprétation pour le barrage de Malpasset

La force qu'un barrage-voûte exerce sur sa fondation est la somme de son poids (qui est vertical) et de la pression de l'eau sur la face arrière du barrage, face qui est à peu près verticale. La force exercée par l'eau est donc à peu près horizontale. Ces deux forces

s'additionnent et donnent une résultante inclinée vers le bas qui a pour effet de diminuer la perméabilité de la roche en place. Un écran peu perméable est ainsi créé à l'avant de l'ouvrage. Les infiltrations d'eau provenant du réservoir se heurtent alors à cet écran et changent l'équilibre du massif rocheux constituant la base du barrage jusqu'à la rupture de la fondation.

Cette constatation engendre une conception nouvelle pour un barrage : un écran d'étanchéité doit être créé par exemple par des injections à l'arrière du barrage, écran vertical ou incliné vers l'arrière et aussi par un drainage sous le barrage et dans le talus aval de façon à lui laisser un potentiel de stabilité. Cette conception nouvelle fut mise en œuvre par Pierre Londé et fut la leçon principale tirée de la catastrophe de Malpasset pour la construction des barrages-voûtes.

6

Alors, observation ou expérience ?

Ce n'est pas si simple. Il faut évidemment que les chercheurs dépassent l'expérience faite et soient capables de se rendre compte de ce que cela peut entraîner dans les travaux qu'ils sont amenés à connaître. Dans le cas de la roche de Malpasset des expériences sur un nouveau barrage en construction sont évidemment exclues car étant à la fois trop chères et trop dangereuses. En définitive, expérimentateur ou observateur doivent avoir du talent pour comprendre ce qui s'est passé ou pour faire face aux dangers d'accidents dans une nouvelle façon de construire.

Il faut donc, comme le dit Claude Bernard, « avoir été élevé dans des laboratoires, etc. » et connaître très largement le sujet étudié...

Mais qu'a-t-on dit sur le sujet ? Pas grand-chose. Voici quelques citations ou exemples :

1) Le rôle-clé de l'expérimentation, François Bacon (1561-1626) disait : « Si tant de découvertes utiles ont été faites par hasard ou par rencontre, lorsque les hommes ne les cherchaient pas et pensaient à autre chose... mais, en revanche, ils ont perdu un temps infini en méditation et en fictions intellectuelles. Mais si nous avions auprès de nous quelqu'un qui put répondre à toutes les questions... sur les phénomènes naturels, avant peu d'années toutes les causes seraient découvertes et les sciences achevées. »

2) Pour Platon le vide n'existe pas, car la nature a horreur du vide. Malheureusement, le pompage de l'eau ne fonctionne pas au-dessus de 10 mètres de haut et, si la nature a horreur du vide en dessous de 10 mètres, cela fait très mauvais effet. Pascal, malade, demanda donc à son ami Florent Périer de monter au sommet du puy de Dôme, en 1648, avec un tube de verre fermé en haut et rempli de mercure pour montrer que l'air a un poids et que la colonne de mercure y est plus courte qu'en bas à Clermont.

3) Les attractions à distance sont très difficiles à comprendre, même si on connaît leurs effets, par exemple le fer est attiré par un aimant. La mère de famille qui répond à son fils qui lui demande « pourquoi suis-je tombé ? » : « parce que tu es trop lourd ! ». Il faut tout le génie de Newton, assis sous un pommier et regardant la Lune, pour penser en voyant tomber une pomme : « Pourquoi la Lune qui est attirée par la Terre ne tombe-t-elle pas ? »