



Etude des caractéristiques hydrauliques par filtration des bentonites sous différents états

Gilles Barast, Andry Razakamanantsoa, Irini Djeran-Maigre

► To cite this version:

Gilles Barast, Andry Razakamanantsoa, Irini Djeran-Maigre. Etude des caractéristiques hydrauliques par filtration des bentonites sous différents états. CFM 2009 - 19ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2009, Marseille, France. hal-03391312

HAL Id: hal-03391312

<https://hal.science/hal-03391312>

Submitted on 21 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude des caractéristiques hydrauliques par filtration des bentonites sous différents états

G. BARAST, A.R. RAZAKAMANANTSOA, I. DJERAN-MAIGRE

Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale (LGCIE), INSA de Lyon, Université de Lyon,
Domaine Scientifique de la Doua, Bât. Coulomb, 34 Avenue des Arts, 69621 VILLEURBANNE CEDEX

gilles.barast@insa-lyon.fr

Résumé

Les caractéristiques hydrauliques de bentonites sont étudiées à l'aide du filtre presse. L'essai est réalisé, soit de manière standard, sur les suspensions (avec deux exploitations), soit directement sur le cake. Les deux méthodes conduisent à des résultats de perméabilité très proches avec un fluide neutre. Cependant, la méthode proposée pour l'application directe sur cake permet d'étudier les mélanges formés de fluide agressif, ainsi que de diminuer l'incertitude sur les données mesurées et les calculs effectués.

Abstract

Hydraulic characteristics of bentonites are studied with the filter press loss apparatus. The test is carried out either in a standard way, on the suspension (with two exploitations), or directly on the cake. These two methods lead to permeability results that are very close, for a neutral fluid. Though, the purposed on-cake direct application method could allow studying mixture composed by aggressive fluid, as well as allow decreasing the uncertainty on measured data and calculus.

Mots clefs : filtre presse ; bentonite ; suspension ; perméabilité.

1 Introduction

La bentonite est une argile très couramment utilisée. Par exemple, pour les installations de stockage de déchets, la bentonite sert d'adjuvant pour renforcer l'étanchéité des systèmes de protection de l'environnement. La perméabilité constitue alors le paramètre clé, sur lequel se basent les exigences réglementaires de ce type d'installations. La détermination de ce paramètre se fait par des essais de longue durée (de plusieurs mois) avec des solutions chargées en électrolytes. La possibilité d'utiliser le volume de filtrat, avec un temps d'essai très court, est évoquée pour déterminer analytiquement la perméabilité [7], suite au phénomène de filtration, des suspensions de bentonite [2], très étudiées dans le domaine de la rhéologie.

On se propose d'utiliser et modifier l'essai de filtration par filtre presse, comme moyen d'évaluation de la perméabilité pour des bentonites, sous forme de suspensions. Dans le cadre de ce travail, 3 différentes bentonites (B1, B2 et B3) sont mises en contact avec de l'eau déminéralisée ou du CaCl_2 à 0,02M, afin de former des suspensions de concentrations modérées. Les bentonites B1 et B2 sont des bentonites calciques activées. La bentonite B3 est un mélange bentonitique commercial.

L'originalité de la méthode réside dans la réalisation d'essais standard de filtration sur suspensions, à la suite desquels, des essais seront menés directement sur le cake formé.

L'enjeu est d'arriver à déterminer le coefficient de perméabilité plus rapidement, pour un fluide neutre (Eau déminéralisée) et agressif (CaCl_2 0,02M) vis-à-vis des bentonites, en raison d'une forte concentration électrolytique et des échanges cationiques.

C'est à cela que s'attache cet article en étudiant :

- (1) une méthode d'essai sur la bentonite en état de suspension avec deux exploitations différentes pour le calcul de la perméabilité

- (2) une méthode d'essai effectuée directement sur le cake, à la fin d'un essai standard de filtration réalisé sur suspension.

2 Méthodes

Le mélange en suspension, préparé et homogénéisé pendant 24 heures, est déversé dans une cellule de pression, à l'embase de laquelle est disposé un papier filtre. Après remplissage complet du volume de la cellule, celle-ci est assemblée dans son bâti. La mise en place du tuyau d'entrée d'air comprimé en tête de cellule et d'un récipient sous le tube de drainage finalise le montage de l'appareillage pour son utilisation. L'essai débute lorsque la pression d'air est ajustée à la valeur souhaitée. La masse d'eau infiltrée est récoltée et enregistrée dans le temps. La norme ASTM D5891-95, régissant l'essai de filtrat, permet d'obtenir la mesure dite de volume de filtrat, comme étant la différence de volume infiltré cumulé récupéré à 7,5 et 30min.

Jugée insuffisante pour étudier plus précisément les matériaux, cette méthode (figure 1), en état de suspension, a été complétée dans son exploitation, par différents auteurs (objet du paragraphe 2.1). Dans le but de déterminer des caractéristiques hydriques directement sur le cake formé par suspension, on propose une modification du protocole expérimental, présentée au paragraphe 2.2.

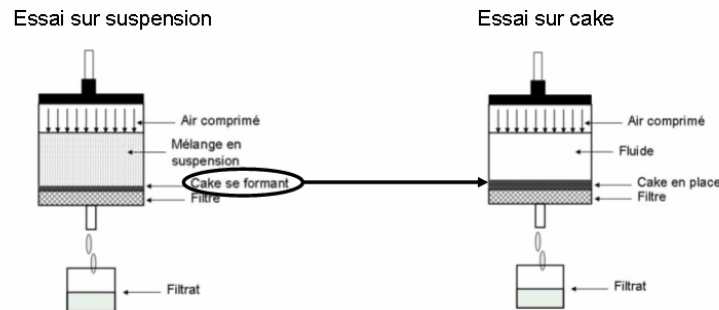


FIG. 1 – Principe de l'essai classique sur suspension (gauche). Essai modifié de filtration utilisant le cake formé à la fin de l'essai de suspension (droite).

2.1 Suspensions

L'essai de filtration, sous état de suspension, reste un domaine d'étude actuel. Diverses exploitations ont été proposées dans la littérature, et notamment deux, qui ont retenues notre attention.

(i) Certaines études [6] se sont basées sur l'hypothèse d'un fluide newtonien et d'un milieu solide où la loi de Darcy est applicable. Utilisable dans le cas de filtration à pression constante, l'expression du volume de filtrat s'écrit :

$$V^2 = \frac{2kA^2P}{\mu B} t \quad (1)$$

Avec V le volume infiltré [m^3], k la perméabilité intrinsèque [m^2] du matériau qu'on cherche à caractériser, A la surface de l'échantillon [m^2], P la pression appliquée [Pa], μ la viscosité de l'eau [$Pa.s$] et $B=hA/V$ le volume spécifique du cake déposé par unité de volume infiltré où h est l'épaisseur du cake [m]. La détermination du coefficient de perméabilité k s'effectue en traçant la courbe $V^2=f(t)$ et en représentant l'ajustement linéaire passant par l'origine. Son coefficient directeur permet de déduire cette perméabilité intrinsèque [m^2], convertie ensuite en coefficient de perméabilité [m/s].

(ii) D'autres auteurs [3] considèrent l'existence d'une résistance spécifique de la partie solide de la suspension et écrivent à l'aide d'une filtration à pression supposée constante, l'expression plus développée de la filtration telle que :

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu R}{AP} + \frac{1}{2} \frac{\mu G}{kA^2P(1-\varepsilon)\rho_s} V \quad (2)$$

Avec $G=hA(1-\varepsilon)\rho_s/V$ [kg/m^3], la formation spécifique de cake définie comme la masse sèche de solide

déposée par unité de volume de filtrat V [m^3], R [m^{-1}] la résistance liée au support filtrant, ε la porosité et ρ_s [kg/m^3] la masse volumique du grain. La détermination de la perméabilité k [m^2] s'effectue à l'aide du coefficient directeur de la courbe $t/V=f(V)$. Le coefficient de perméabilité [m/s] du cake peut alors être obtenu.

2.2 Cake

Le problème de la viscosité du fluide s'écoulant dans le milieu et de sa prise en compte dans les calculs analytiques a déjà été discuté [1]. Dans le but de s'affranchir du problème de la nature du fluide s'écoulant réellement, l'expérimentation de filtration est modifiée après le déroulement standard de l'essai.

On se propose d'utiliser le filtre presse pour faire écouler un fluide directement sur un cake formé. En fin d'essai (ici à 30min), la cellule est retirée de son embase. Le fluide en suspension est siphonné à l'aide d'une pompe péristaltique, jusqu'à la surface du cake nouvellement formé. Son épaisseur est mesurée puis la cellule est remplie par un nouveau fluide. L'essai de filtration est alors de nouveau effectué dans cette configuration.

L'expression analytique du comportement hydraulique peut être simplement réduite à la loi de Darcy, appliquée au cake contenu dans la cellule de filtration :

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = k \frac{P}{\gamma_w h} \quad (3)$$

Avec k [m/s] la conductivité hydraulique et γ_w [N/m^3] le poids volumique de l'eau.

3 Résultats et analyses

On différenciera les résultats obtenus à l'aide du filtre presse sur les suspensions (1), de ceux obtenus sur le cake (2), en modifiant le protocole expérimental. Les différents essais ont été réalisés avec des suspensions à 2% de concentration massique. En contact avec l'eau déminéralisée, une pression d'air comprimé de 5 bars est appliquée. Pour anticiper sur les vitesses d'écoulement, lors de contact avec le fluide agressif $CaCl_2$ 0,02M, une pression de 1 bar est utilisée sur les échantillons.

3.1 Suspensions

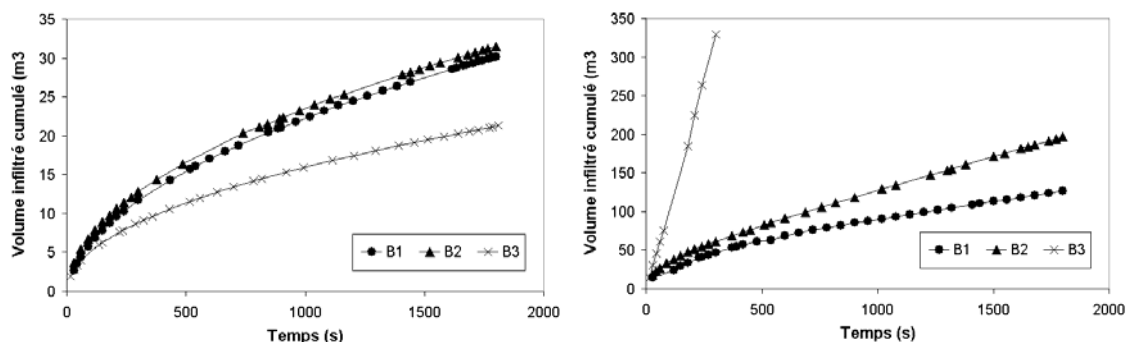


FIG. 2 – Volume infiltré cumulé en fonction du temps sur suspensions en contact avec de l'eau déminéralisée (gauche) et du $CaCl_2$ 0,02M (droite)

La figure 2 (gauche) montre l'évolution du volume infiltré cumulé, classiquement observable pour des suspensions d'argiles, au cours de 30 minutes de pression [7], en contact avec de l'eau non chargée. Les courbes se modifient rapidement pour atteindre approximativement l'allure d'une droite, exprimant la formation progressive du cake en fond de cellule et l'établissement du régime permanent. Les valeurs varient de 31 mL environ pour les bentonites B1 et B2, jusqu'à 22 mL pour la B3, au bout de 30 minutes d'essai, ce qui rend bien compte des capacités de rétention plus élevées de la bentonite B3, commerciale, par rapport aux deux autres bentonites calciques activées, de niveau équivalent.

La figure 2 (droite) montre l'évolution du volume infiltré, en contact avec du $CaCl_2$ 0,02M. Les valeurs de volume écoulé sont nettement supérieures à celles obtenues avec de l'eau déminéralisée, malgré la faible pression appliquée. Les bentonites B1 et B2 laissent infiltrer de 120mL à 200mL de fluide au bout de 30

minutes. Le volume d'infiltration de la bentonite B3 atteint 320mL en à peine 5 minutes. En contact avec le CaCl_2 0,02M, la différence de performance entre B1 et B2 est plus marquée et respecte le classement obtenu précédemment. La bentonite commerciale B3 fait exception, en raison de sa forte sensibilité aux électrolytes, qui laisse place à un matériau poreux, lors de la consolidation sous pression.

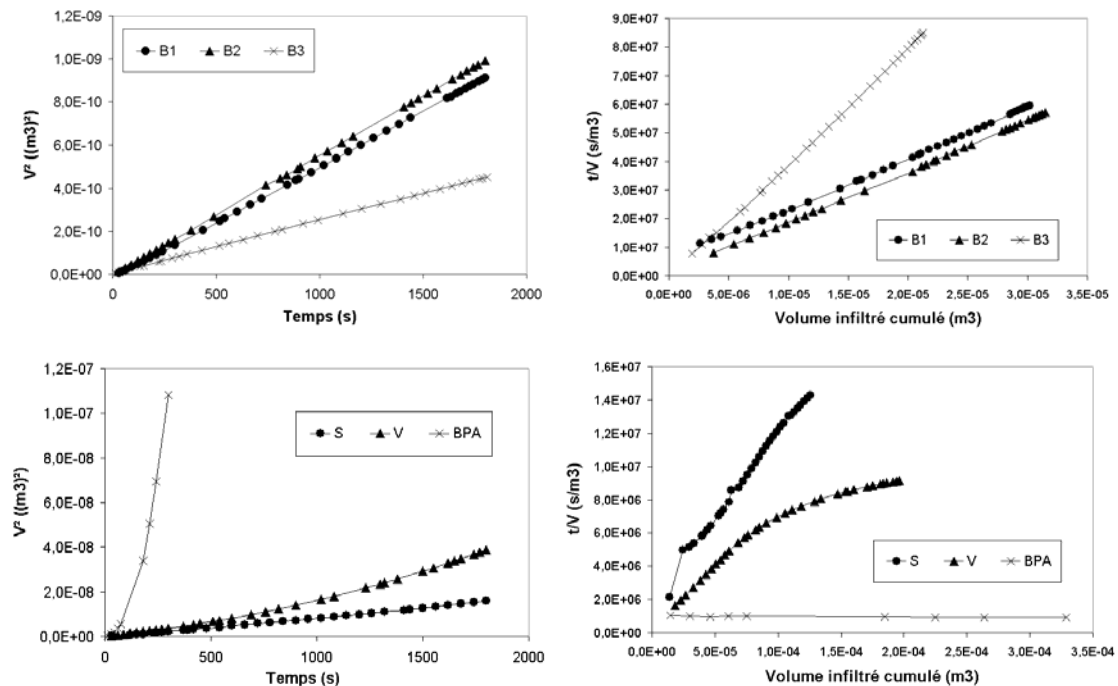


FIG. 3 – $V^2=f(t)$ (à gauche) et $t/V=f(V)$ (à droite) pour les suspensions en contact avec de l'eau déminéralisée (en haut) et du CaCl_2 0,02M (en bas)

Après avoir eu accès aux mesures brutes, on utilise les deux types d'exploitations pour le calcul du coefficient de perméabilité. Les deux exploitations utilisent les mêmes données initiales (figure 2). La figure 3 (haut) montre respectivement l'évolution $V^2=f(t)$ et $t/V=f(V)$ en contact avec l'eau déminéralisée, comme indiquée par les équations (1) et (2). Les deux courbes sont linéaires et traduisent bien la formation progressive du cake. Comme attendus, les allures et positionnements inversés des courbes de chaque graphiques, sont en accord avec les équations établies (1) et (2). La bentonite B3 a un meilleur comportement à l'eau déminéralisée, qui est retranscrit dans les courbes (figure 3 haut) des deux méthodes.

Contrairement au cas précédent, à la figure 3 (bas), quand le fluide d'infiltration est le CaCl_2 0,02M, on n'obtient pas de courbes à allure linéaire. La solution électrolytique de CaCl_2 conduit à une floculation des particules, suivie d'une sédimentation prématurée dans le mélange. La bentonite B3 est particulièrement sensible à ce phénomène, contrastant avec les résultats précédents, sur l'eau déminéralisée. La suspension n'est plus homogène. Les paramètres de formation de masse spécifique B de l'équation (1) et de formation de volume spécifique G de l'équation (2) ne peuvent plus être considérés comme constants dans le temps. En raison de cette ségrégation de particules, ces deux paramètres augmentent rapidement dans le temps, puis stagnent. Les évolutions de ces deux paramètres, impliqués dans les équations (1) et (2), conduisent à des tracés courbés, dont le sens dépend de leur position dans l'équation. Il n'est donc plus possible d'utiliser les deux méthodes pour la détermination d'une conductivité hydraulique.

A l'aide des coefficients directeurs des droites et des caractéristiques de l'échantillon relevés à chaque essai, il est possible de déterminer les conductivités hydrauliques de chaque bentonite, en fonction de la relation (1) et (2), pour le cas de contact avec l'eau déminéralisée. Les bentonites B1 et B2 ont respectivement une perméabilité de $3,76 \cdot 10^{-11}$ et $3,96 \cdot 10^{-11}$ m/s avec la méthode $V^2=f(t)$ et de $4,2 \cdot 10^{-11}$ m/s et $4,04 \cdot 10^{-11}$ m/s, pour la méthode $t/V=f(V)$. La bentonite B3 possède une perméabilité de $2,95 \cdot 10^{-11}$ m/s avec la méthode $V^2=f(t)$ et de $2,90 \cdot 10^{-11}$ m/s avec la méthode $t/V=f(V)$.

3.2 Cake

La figure 4 (gauche) montre l'évolution de la perméabilité dans le temps des trois bentonites, sous forme de

cake, en contact avec de l'eau déminéralisée. La méthode de filtration modifiée permet d'obtenir des valeurs de perméabilité de $3,23 \cdot 10^{-11}$ m/s, $3,45 \cdot 10^{-11}$ m/s et $2,65 \cdot 10^{-11}$ m/s pour, respectivement, les bentonites B1, B2 et B3. La modification du protocole expérimental conserve la classification de performance, établie précédemment ; à savoir : (B1 ~ B2) < B3.

La figure 4 (droite) montre l'évolution de la perméabilité dans le temps des trois bentonites, sous forme de cake, en contact avec du CaCl_2 0,02M. Les valeurs de perméabilité obtenues sont plus importantes que celles avec l'eau déminéralisée. Elles vont de $3,11 \cdot 10^{-9}$ m/s et $5,52 \cdot 10^{-9}$ m/s pour les bentonites B1 et B2 respectivement, jusqu'à et $2,55 \cdot 10^{-7}$ m/s pour la B3. La forte perméabilité de la bentonite B3 traduit bien le comportement observé à la figure 2 (droite).

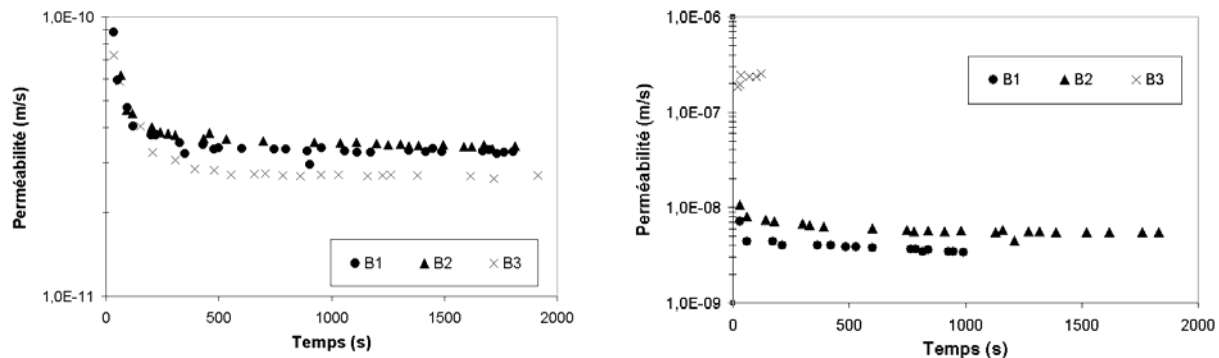


FIG. 4 – Perméabilité en fonction du temps pour le cake en contact avec de l'eau déminéralisée (gauche) et du CaCl_2 0,02M (droite)

3.3 Comparaisons entre méthodes (pour les deux types de fluides)

Les valeurs de perméabilité déterminées par les différentes méthodes sont reportées dans le tableau 1. On peut observer que ces valeurs, en contact avec de l'eau déminéralisée, sont du même ordre de grandeur et proches entre elles, ainsi que proches de celles pouvant être observées dans la littérature, sur la bentonite contenue dans les GSB [5]. Les résultats de perméabilités conservent la performance de la bentonite B3, par rapport aux deux autres. Il semble difficile de différencier les deux bentonites B1 et B2, puisque les méthodes ne s'accordent pas à considérer un classement de performance unique. Les valeurs calculées directement sur le cake sont légèrement inférieures aux autres méthodes, mais semblent être plus pertinentes dans la mesure où les paramètres de calcul en jeu sont plus facilement contrôlables et mesurables.

TAB. 1 – Coefficients de perméabilité k calculés à partir des suspensions et cakes

Eau déminéralisée			
	B1	B2	B3
<i>Exploitation $V^2=f(t)$ - suspension</i>	$3,76 \cdot 10^{-11}$ m/s	$3,96 \cdot 10^{-11}$ m/s	$2,95 \cdot 10^{-11}$ m/s
<i>Exploitation $t/V=f(V)$ - suspension</i>	$4,2 \cdot 10^{-11}$ m/s	$4,04 \cdot 10^{-11}$ m/s	$2,90 \cdot 10^{-11}$ m/s
<i>Darcy - Cake</i>	$3,23 \cdot 10^{-11}$ m/s	$3,45 \cdot 10^{-11}$ m/s	$2,65 \cdot 10^{-11}$ m/s
CaCl ₂ 0,02M			
	B1	B2	B3
<i>Exploitation $V^2=f(t)$ - suspension</i>	Inexploitable		
<i>Exploitation $t/V=f(V)$ - suspension</i>	Inexploitable		
<i>Darcy - Cake</i>	$3,11 \cdot 10^{-9}$ m/s	$5,52 \cdot 10^{-9}$ m/s	$2,55 \cdot 10^{-7}$ m/s

Les méthodes d'exploitation sur suspension n'aboutissent pas à la détermination de perméabilité, en raison de l'effet des fluides agressifs sur la bentonite ; alors que la méthode proposée directement sur cake permet de déterminer une perméabilité pour les mélanges en contact avec du CaCl_2 0,02M.

4 Discussion

Les valeurs de perméabilité obtenues sous états de cake et de suspensions sont proches (même ordre de grandeur), ce qui pourrait conforter l'idée d'utiliser la méthode de filtration sur suspension, au dépit de la

méthode directe sur cake. Cependant, son utilisation semble favorable.

D'une part, il est possible d'obtenir des résultats de conductivité hydraulique avec des échantillons en contact avec des fluides agressifs. Concernant les méthodes en suspension, il est probable que la solution chargée fasse flocculer les particules, accélérant ainsi la décantation des granulés solides dans la cellule. La formation spécifique (B ou G) n'est alors plus linéaire et ne permet plus d'utiliser les relations (1) et (2) pour le calcul de perméabilité. Par contre, la méthode d'utilisation du filtre presse sur cake est compatible avec les fluides neutres ou agressifs, permettant ainsi d'obtenir une visualisation plus distincte des performances des différents matériaux à disposition, en fonction des solutions de contact.

D'autre part, les incertitudes sur les données mesurées posent problème sur l'essai en suspension. Même en contact avec un fluide neutre, la formation du milieu solide par unité de volume infiltré (notée B ou G respectivement dans les équations (1) et (2)) reste difficilement vérifiable. Ceci implique alors fatalement une méconnaissance sur l'épaisseur réelle du milieu solide participant à la conductivité hydraulique, au cours de l'essai. Avec cela, les propriétés du fluide (et notamment sa rhéologie) s'écoulant dans le milieu solide formé ne peut réellement être celui du fluide initial d'essai. L'incertitude sur le calcul effectué avec l'essai sur suspension est donc importante, en comparaison avec l'essai directement effectué sur cake, qui s'en affranchit. Le fluide percolant possède des propriétés stables et connues, et la hauteur réelle du cake est connue. La connaissance du paramètre hydraulique devient donc plus fine.

Néanmoins, le problème de l'épaisseur réside toujours, dans la mesure où si le matériau se comprime, l'épaisseur diminue et donc la perméabilité calculée sera sous-estimée. La compressibilité du cake durant l'essai n'est pas mesurée. Toutefois, la méthode d'essai de filtration directement sur cake possède l'avantage de pouvoir récupérer le matériau et d'effectuer des tests mécaniques complémentaires qui permettraient d'obtenir la variation d'épaisseur du cake sous une charge donnée (essais œdométriques).

5 Conclusions

L'utilisation standard du filtre presse sur suspensions a permis d'étudier les caractéristiques hydrauliques des trois bentonites. Deux exploitations, consignées dans la littérature, ont conduit à la détermination de la perméabilité des matériaux bentonitiques.

La modification du protocole expérimental proposée, ayant pour but de pouvoir introduire une hauteur de matériau connue, a mis en évidence une faible différence entre les résultats sur suspension et ceux directement sur cake, dans le cas de contact avec un fluide neutre. Cependant, l'utilisation de la méthode sur suspension devient impossible pour des suspensions composées de fluide agressif, en raison probablement d'une décantation des particules solides, et donc d'une formation spécifique non linéaire. La méthode sur cake a l'avantage de réduire l'incertitude sur la nature réelle du fluide percolant et sur la formation du cake ; la rendant ainsi utilisable avec un plus grand nombre de mélanges constitués même par des fluides agressifs.

Bien que les deux méthodes aient pour désavantage commun de ne pas prendre en compte la compressibilité du cake au cours de la filtration, il peut être envisagé de combiner, de manière plus aisée, l'essai de filtration sur cake avec des essais mécaniques (œdomètre), pouvant résoudre une partie du problème soulevé [4].

Références

- [1] Barast, G., Razakamanantsoa, A., Djeran-Maigre, I., Didier, G., Etude de la filtration et de la rhéologie pour caractériser les bentonites calciques activées, Journées Nationales de Géotechnique et de la Géologie de l'ingénieur, (Nantes), 18 -20/05/08, 483-490, 2008.
- [2] Benna M., Kbir-Ariguibb N., Clinarda C. and Bergaya F., Static filtration of purified sodium bentonite clay suspensions. Effect of clay content, Applied Clay Science, 19, 103-120, 2001.
- [3] Duroudier J.P., Pratique de la filtration, Hermès Science Publications, 222 pages, 1999.
- [4] Fox, P.J.; Baxter, C.D.P., Consolidation properties of soil slurries from hydraulic consolidation test, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 123, 770-776, 1997.
- [5] Guyonnet et al., LIXAR: Interactions Lixiviats-Argiles, BRGM/RP-52449-FR, 159 pages, 2003.
- [6] Li Y., Argillier J.F., Rosenberg E., Static and dynamic filtration properties of aqueous suspensions of clays and electrolytes, Revue de l'Institut Français du Pétrole, 52, 207-218, 1997.
- [7] Pantet A., Monnet P., Liquid-solid transition of kaolinite suspensions, Mechanics of Materials, 39, 819-833, 2007.