

# FILTRATION DE BOUES ARGILEUSES PAR GÉOTEXTILES NON-TISSÉS

## NONWOVEN GEOTEXTILES TO FILTER CLAYEY SLUDGE: AN EXPERIMENTAL STUDY

Sébastien BOURGÈS-GASTAUD<sup>1,2</sup>, Guillaume STOLTZ<sup>2</sup>, Fabienne SIDJUI<sup>2</sup>, Nathalie TOUZE-FOLTZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afitex, Champhol, France

<sup>2</sup> Irstea, équipe INEGE, Antony, France

**RÉSUMÉ** – L'industrie minière produit d'énormes quantités de déchets sous forme de boue minérale, comme les résidus fins matures issus de l'exploitation des sables bitumineux. Ces boues sont difficiles à assécher à cause de leur forte argilosité. Cet article propose une étude de la filtration sous pression de boues silto-argileuses par géotextiles non-tissés (GTX) : 8 GTX différents ont été testés avec une même boue fortement argileuse. Ensuite 8 boues de granularité différente ont été filtrées avec un même GTX. Ces boues sont composées de kaolinite et de silt dans différentes proportions afin d'obtenir 8 granularités différentes représentatives des boues minières ( $d_{50}$  entre 3 et 55  $\mu\text{m}$  ; contenu en argile entre 0 et 38%). Les résultats indiquent que les boues peuvent être filtrées avec des GTX choisis sur la base de leur ouverture de filtration. Les GTX n'ont un impact que durant les premiers instants de la filtration, ils retiennent alors les particules les plus grossières ce qui induit la formation d'un gâteau de filtration. Ce gâteau devient très rapidement l'élément filtrant alors que le GTX n'est plus qu'un support. L'assèchement final atteint durant les tests est contrôlé par la composition de la boue et est totalement indépendant du GTX utilisé.

Mots-clés : Filtration, Boue argileuse, Géotextile non-tissé, Assèchement

**ABSTRACT** – Mining industry produces huge quantities of fine-grained mineral sludge, such as mature fine tailing from oil-sand extraction. These sludges are hard to dewater because of their high clay content and their low hydraulic conductivity. This paper describes pressure filtration tests in which eight different nonwoven geotextiles (GTXs) were used to filter high-clay-content sludges. The sludges were formulated by mixing kaolinite and silt to obtain eight different grain-size distributions (GSDs) with  $d_{50}$  ranging from 3 to 55  $\mu\text{m}$  and clay content ranging from 0% to 38% ( $d < 2 \text{ mm}$ ). The sludges created for this research had the GSD and variability of real fine tailings. The results indicate that sludges can be filtered with nonwoven GTXs selected on the basis of their pore-opening size. Furthermore, calendered GTXs are more efficient in retaining particles than needle punched GTXs. In addition, only during the early stage of filtration GTXs really influence filtering because it is at this stage that, by retaining coarser particles, they allow progressive formation of filter cake. Upon forming, the filter cake becomes the major contributor to particle retention. Finally, the sludge composition is found to be the most significant factor affecting the final state of dewatering.

Keywords : Filtration, clayey sludge, nonwoven geotextile, dewatering.

### 1. Introduction

L'industrie des sables bitumineux produit une boue argileuse particulièrement difficile à assécher, contenant 40% de solide et 60 % d'eau, et dont 90 % des particules sont inférieures à 44  $\mu\text{m}$ . 250 millions de tonnes de cette boue ont été produites entre 1967 et 1996 (Mikula et al., 1996). À cause de leur forte teneur en eau et argile, ces matériaux ont une résistance au cisaillement nulle, ils ne peuvent ni être réutilisés ni être stockés aisément. Pour des raisons pratiques, économiques et environnementales ces boues doivent être asséchées (Farkish et Fall, 2013). L'idée proposée dans cette présente étude est d'insérer des géocomposites de drainage dans les bassins de boues minières afin de permettre à l'eau de s'extraire des bassins. Pour que les géocomposites soient à même d'améliorer la consolidation, ils doivent assurer deux fonctions : la filtration (rétention des particules solides) et le drainage (convoyage de l'eau dans les géocomposites). La fonction de drainage ayant été investiguée par ailleurs (Bourgès-Gastaud et al., 2013), cet article présente une étude de la faisabilité de la filtration par géotextiles (GTX) de boues minérales argileuses. Pour ce faire, 8 boues argileuses de granularités différentes ont été filtrées avec 8 GTX différents. Cette étude a déjà fait l'objet d'un article (Bourgès-Gastaud et al., 2014). Après avoir résumé l'état de l'art, le dispositif expérimental sera présenté. Enfin les résultats principaux seront rappelés.

## 2. État de l'art

La compatibilité des GTX tissés avec les boues est assez bien décrite et de nombreux tests ont été développés (Cantré et Saathoff, 2011 ; Moo-Young et al., 2002 ; Moo-Young et Tucker, 2002). En revanche, très peu d'études ont porté sur la filtration de boues par GTX non-tissés. La recherche sur les GTX tissés a été justifiée car ils composent les géotubes qui sont de plus en plus utilisés pour l'assèchement des boues. Parmi les tests développés pour tester ces GTX tissés avec des boues, le test de filtration sous pression (PF) est réputé être un bon indicateur des performances des GTX tissés avec les boues. Ce test développé dans l'industrie permet de caractériser la capacité d'un filtre à filtrer une boue, ainsi que d'évaluer les caractéristiques d'assèchement de la boue (AFNOR, 2013). Ce test met en œuvre une filtration de type « filtration sur support ». La filtration sur support (cake filtration) consiste à faire passer une suspension à travers un media filtrant. Les particules sont retenues par le filtre, ce qui forme un gâteau dont l'épaisseur croît au fur et à mesure de la filtration. En fait c'est ce gâteau qui assume la fonction filtrante, il est le réel élément filtrant alors que le media filtrat n'est que le support du gâteau (Li et al., 2011 ; Theliander et Fathi-Najafi, 1996; Weggel et Dortch, 2012).

Cette filtration sur support ne correspond pas à l'acceptation traditionnelle de la filtration de sol par GTX, dans laquelle seules les particules immobiles sont retenues (critère de rétention des particules les plus grossières), alors que les particules mobiles ne doivent pas être stoppées par le GTX (critère de non-rétention des fines). De la même manière, les tests de compatibilité classiques des GTX avec les sols (Gradient Ratio) ne fonctionnent pas avec les boues (Aydilek et Edil, 2003 ; Narejo et al. 2013). À partir de cet état de l'art et avec la volonté d'installer des géocomposites de drainage pour accélérer la consolidation des boues minières, des cellules de filtration sous pression (PF) ont été développées pour filtrer des boues minérales avec des GTX non tissés.

## 3. Matériel et méthodes

16 tests d'une semaine ont été réalisés : d'abord 8 boues différentes ont été filtrées avec un même GTX. Ensuite une même boue a été filtrée avec 8 GTX différents.

### 3.1. Dispositif expérimental

La figure 1 présente la cellule développée.

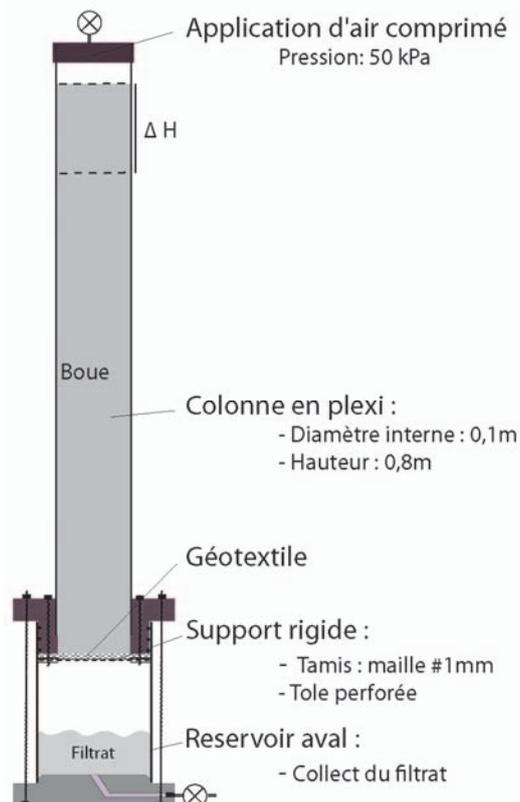


Figure 1. Schéma de la cellule de filtration sous pression (PF)

Le GTX est installé sur le support (Figure 1) puis la boue est déposée sur le GTX sec. La hauteur initiale de boue est de 80 cm. Ensuite la pression est appliquée dans le haut de la colonne. Le tassement ainsi que l'expulsion du fluide sont suivis au cours du temps. À la fin de l'essai, la boue consolidée est extraite afin de déterminer sa teneur en haut en fonction de la hauteur. Le GTX est séché puis pesé afin de déterminer le taux d'imprégnation. Le filtrat est séché afin de déterminer sa siccité.

### 3.2. Boues utilisées

Pour chaque test, 6,25 litres de boues sont produits en mélangeant 5 l d'eau et 3,33 kg de solide composé en proportion variable de silt et de kaolinite (argile). Ainsi avec 8 proportions silt/argile différentes, 8 boues de granularité différentes sont obtenues (Figure 2). Toutes les boues ont une même siccité de 40%, pour être représentatifs de la siccité moyenne des boues minières. Sur la Figure 2, deux courbes granulométriques de déchets miniers réels sont rapportés : ceux issus de l'exploitation des sables bitumineux (MFT ; Farkish et Fall, 2013) et ceux issus du raffinage de la bauxite (boue rouge ; Snars et Gilkes, 2009).

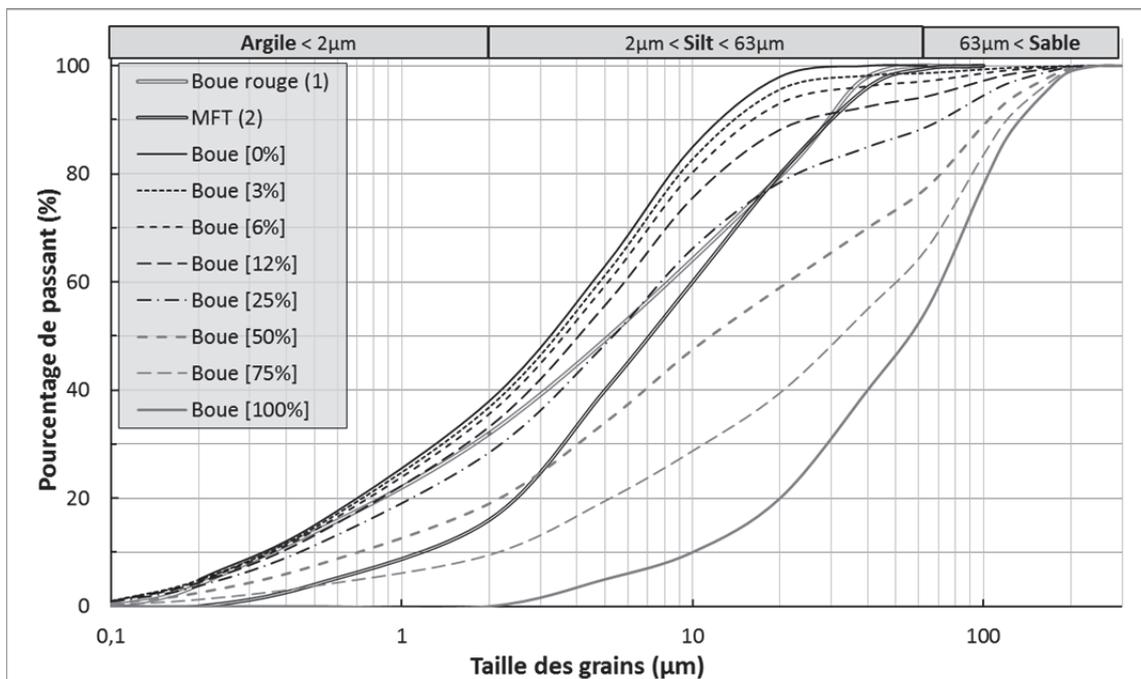


Figure 2. Courbe granulométrique des boues produites. Les courbes doublées sont des granulométries de déchets miniers réels pour comparaison.

Les boues produites sont particulièrement fines, ce qui les rend difficiles à filtrer et à assécher, à cause de la forte teneur en argile :  $d < 2\mu\text{m}$  entre 0 et 38%.

### 3.3. Géotextiles testés

Pour comprendre quels paramètres impactent la filtration de boue, 8 GTX non-tissés en polypropylène très différents ont été testés (Tableau 1). Les trois méthodes de fabrication sont représentées : 4 aiguilletés (NP), 2 thermoliés (HB) et 2 aiguilletés calandrés (Cal). Le calandrage est une étape de finition consistant à faire passer le GTX entre deux rouleaux chauffants afin de lisser la surface par fusion des fibres polymères. Ce procédé est courant mais on ne trouve pas dans la littérature de résultats concernant les calandrés. Pourtant en filtration industrielle le calandrage est connu pour réduire la porosité et l'ouverture de filtration mais aussi homogénéiser la perméabilité et ainsi augmenter l'efficacité de filtration (Lydon, 2004 ; Yükksekaya et al., 2010).

Tableau 1. Caractéristiques des GTX testés. N/A: non applicable.

# gtx	Unité	Cal-1	Cal-2	NP-1	NP-2	NP-3	NP-4	HB-1	HB-2
<b>Méthode de fabrication</b>		Aiguilleté Calandré		Aiguilleté				Thermo-lié	
<b>Propriétés</b>									
Ouverture Of NF EN ISO 12956	µm	60±9	50±7	98±15	89±13	61±10	222±33	213±32	72± 11
Masse surfacique NF EN 14196	g/m <sup>2</sup>	181±6	307±8	141±4	367±6	538±5	326±3	92±3	222 ± 7
Perméabilité V <sub>h50</sub> NF EN ISO 11058	m.s <sup>-1</sup>	0,050	0,022	0,129	0,110	0,039	0,221	0,125	0,041
<b>Valeur sous 2 kPa</b>									
Epaisseur NF EN ISO 9863-1	mm	0,93	1,38	1,87	2,38	5,30	4,46	0,38	0,59
Porosité	%	81%	78%	93%	85%	90%	93%	77%	64%
<b>Valeur sous 50 kPa</b>									
Epaisseur	mm	0,68	1,09	0,72	1,31	3,66	2,10	0,26	0,52
Réduction de la porosité	%	-9%	-7%	-12%	-14%	-5%	-9%	-15%	-7%

#### 4. Résultats

Le Tableau 2 présente l'ensemble des tests réalisés.

Tableau 2. Synthèse des différents tests réalisés. EF : efficacité de filtration.

GTX testée	Boue testée [Silt]	Qualité du filtrat			Assèchement de la boue
		Siccité durant les 5 premières minutes	Temps pour obtenir un filtrat clair (Siccité<1%) min	EF	Siccité de la boue (0.3m au-dessus du GTX)
NP-1	Boue [0%]	37%	90	92%	59%
	Boue [3%]	36%	30	98%	60%
	Boue [6%]	29%	30	99%	60%
	Boue [12%]	27%	15	98%	62%
	Boue [25%]	10%	5	100%	65%
	Boue [50%]	8%	< 5	100%	72%
	Boue [75%]	4%	< 5	100%	73%
	Boue [100%]	2%	< 5	100%	75%
Cal-1	Boue [12%]	0%	0	100%	61,9%
Cal-2		0%	0	100%	62,0%
NP-1		27%	15	98%	61,7%
NP-2		28%	10	99%	61,1%
NP-3		26%	15	98%	61,5%
NP-4		40%	> 90	47%	61,9% <sup>1</sup>
HB-1		39%	30	87%	61,6%
HB-2		0%	0	100%	61,5%

#### 4.1 Influence de la composition de la boue

Dans le tableau 2, on constate que, dans la première série, les siccités finales de la boue sont très variables de 59% à 75%. Dans la seconde série, on observe que, quel que soit le GTX testé, la siccité finale est identique (61,1% à 62%). On en conclut que la composition de la boue conditionne son assèchement, et que le GTX n'a pas de contrôle sur la siccité finale. Sur la Figure 3 un autre impact de la composition de la boue est présenté.

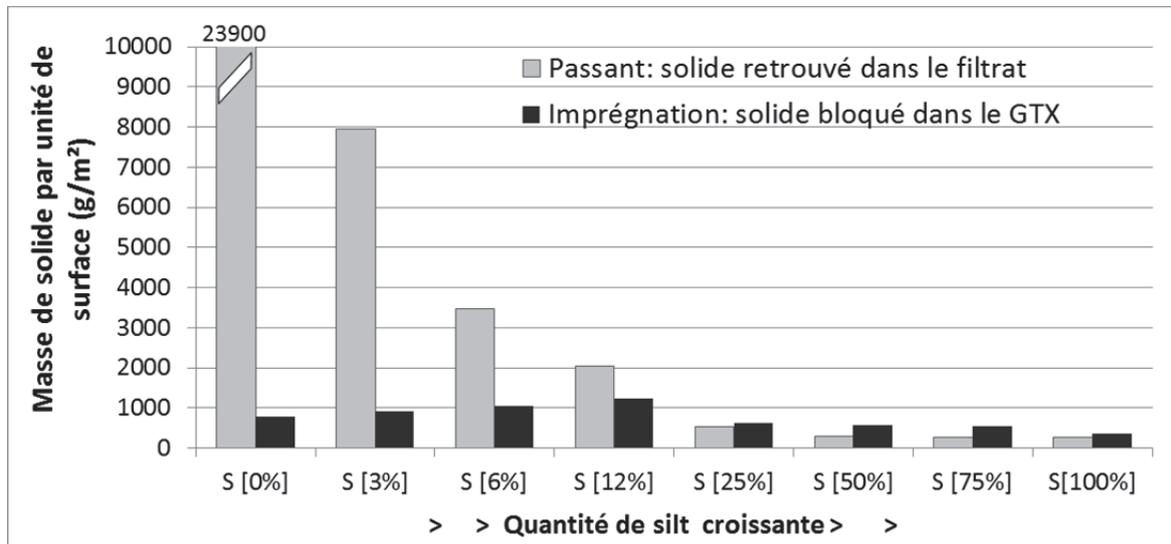


Figure 1. Masse solide traversant le GTX et masse de solide restant imprégnée dans le GTX selon la granularité de la boue.

Sur la figure 3, l'interaction entre les particules et le GTX est appréhendable. On observe que plus la boue est fine (fraction silteuse faible) plus la quantité de passant est importante (barre grise). Pour la boue purement argileuse, 24 kg de solide traversent par mètre carré de GTX ; il suffit de 3% de silt dans la boue pour que cette valeur descende à 8 kg. Le tableau 2 présente aussi les temps nécessaires pour obtenir un filtrat clair. Plus le gâteau met de temps à se former plus, la quantité de particule traversant le GTX est forte. Ces éléments prouvent que la filtration sur support s'applique aux GTX non-tissés lorsqu'ils sont utilisés avec des boues. Ce n'est le GTX qui parvient à stopper les particules, mais bien le gâteau de filtration se formant sur celui-ci au cours de la filtration. Quelle que soit la boue utilisée, il est intéressant de noter qu'un gâteau de filtration finit toujours par se former et permet d'obtenir un filtrat clair. Ainsi la composition de la boue a un impact sur la capacité du GTX à retenir les particules et sur la siccité finale obtenue.

#### 4.2 Comparaison des différents GTX

##### 4.2.1. Assèchement

Sur la figure 4, les courbes présentent toutes la même forme générale, une cinétique hyperbolique : les débits diminuent constamment. Deux courbes sortent du lot : les 2 GTX les plus ouverts NP-4 et HB-1 (222 $\mu$ m et 213  $\mu$ m), à court terme ces géotextiles laissent passer la boue sans retenir de particule (échec de la filtration), cela explique les masses importantes de filtrat recueillies dès le début du test.

Pour comprendre la fonction rétention et analyser les différences entre les 6 autres GTX, il convient de s'intéresser aux premiers instants de la filtration (Figure 5).

Sur la figure 5, la dynamique de la filtration au stade précoce est présentée, c'est-à-dire le débit et la siccité du filtrat durant la première heure. Les deux essais considérés comme des échecs sont clairement identifiables, pour HB-1 et NP-4, les débits initiaux sont très forts avec des siccités proches de celle de la boue (40%). La rétention est donc initialement inexistante. On observe que pour HB-1, au bout de 30 minutes le filtrat devient faiblement chargé, ce qui prouve qu'un gâteau s'est développé et qu'il assure alors la rétention des particules.

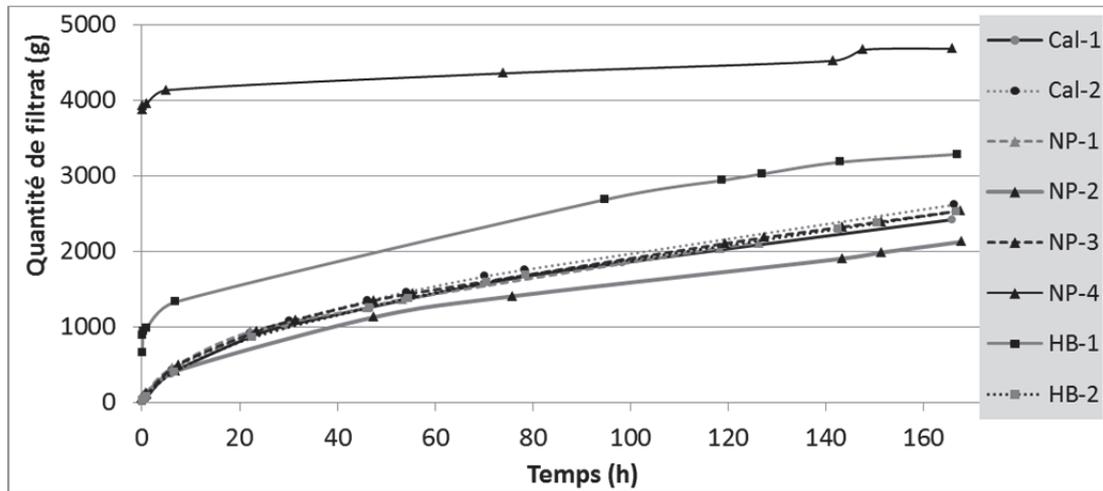


Figure 4. Masse de filtrat extraite en fonction du temps pour les différents GTXs.

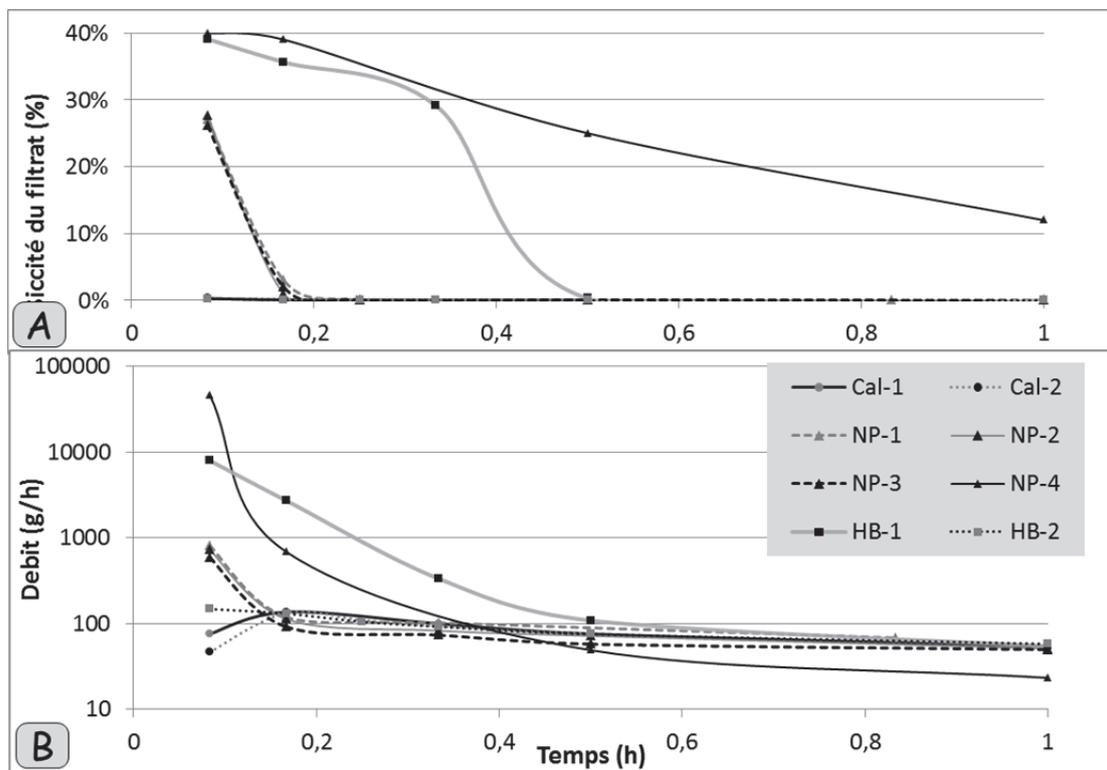


Figure 5. A: Siccité du filtrat durant la première heure de filtration B: Débit de filtrat durant la première heure de filtration

Parmi les expériences réussies, on observe deux comportements :

- les GTX aiguilletés à faible ouverture de filtration (NP-1, NP-2, NP-3 avec  $O_f < 100 \mu\text{m}$ ) le débit initial est fort ( $\approx 650 \text{ g/h}$ ) et le filtrat chargé (siccité de 28%). Après 10 min, le débit est réduit d'un facteur 7 à 9, et la siccité décroît à quelques pourcents. Cette transition est interprétée comme la formation du gâteau ;
- pour les deux calandrés et le thermo-lié lourd (HB-2), le débit est relativement constant durant la première heure. Ces GTX retiennent dès le début les particules, la siccité initiale est nulle. Ces GTX ont les plus faibles ouvertures de filtration, ce qui explique cette rétention efficace dès les premiers instants.

Il est intéressant de noter qu'après 1 heure de filtration tous les débits sont compris entre 50 et 60 g/h (excepté pour NP-4 : 23 g/h). Ce débit est interprété comme le résultat de la formation du gâteau. À partir de sa formation, la boue devient le facteur limitant de l'écoulement et cela quel que soit le GTX. Ainsi le GTX joue un rôle seulement dans les premiers instants de la filtration dans la rétention des

particules et n'influence pas la suite de l'assèchement. Comme vu précédemment, c'est la boue qui contrôle cet assèchement.

## 5. Discussion

Dans aucun de ces tests le phénomène de colmatage n'est diagnostiqué. Le colmatage se définit par une réduction de la conductivité hydraulique, en deçà de la conductivité hydraulique requise par l'ouvrage où le GTX est installé. Quand l'ouvrage présente une très faible perméabilité, comme c'est le cas des bassins de boues minières, le GTX ne peut devenir moins perméable que la boue elle-même. Ainsi la définition classique du colmatage n'a pas de sens quand on s'intéresse à la filtration de boue. La décroissance du débit est due à la formation du gâteau et ce gâteau est nécessaire pour que la rétention de particules soit assurée. Contrairement à la filtration de sol où les volumes d'eau circulant peuvent être considérés comme infinis, dans les boues à mesure de leur assèchement l'eau qui reste à évacuer diminue, et donc la décroissance du débit n'est pas problématique.

## 6. Conclusion

Cet article présente une investigation expérimentale de la faisabilité de l'assèchement de boue argileuse à l'aide de géotextiles non-tissés. Des tests de filtration sous pression ont été réalisés avec différentes boues et différents GTX. La granularité des boues créées pour cette recherche a été choisie pour être comparable à celle des déchets miniers.

Les tests ont apportés différents résultats :

- la cinétique d'expulsion du filtrat est comparable pour tous les tests, les courbes sont hyperboliques, avec un débit qui décroît continuellement durant 7 jours ;
- pour une même boue, la siccité finale est similaire quel que soit le GTX utilisé. Aucune corrélation entre les propriétés du GTX et l'efficacité de l'assèchement n'a été trouvée. En revanche une corrélation claire apparaît entre la teneur en silt de la boue et son assèchement final. Ainsi le GTX n'a aucun contrôle sur l'assèchement, la quantité d'eau relâchée est directement liée à la composition de la boue (niveau de liaison de l'eau) ;
- les différences entre les GTX ne sont observables que durant la première heure de filtration. Les GTX calandrés retiennent le mieux les particules. À ouverture de filtration égale, Cal-1 arête les particules dès le dépôt de la boue, alors que NP-3 laisse des particules passer durant 15 min. Les GTX ont un impact sur la rétention et le débit initial ;
- les GTX ayant une ouverture supérieure à 200  $\mu\text{m}$  ne retiennent pas les particules. À partir des tests "échec" on peut affirmer qu'une boue ayant un  $D_{90} = 22 \mu\text{m}$  peut être filtrée avec un GTX dont  $O_f$  est entre 50 et 98  $\mu\text{m}$  mais une ouverture  $O_f > 212 \mu\text{m}$  n'assure pas la rétention ;
- le passage des particules à travers le GTX n'a lieu que pendant les premiers instants de la filtration. Avec une boue purement argileuse il faut 90 min pour obtenir un filtrat clair contre 5 min avec la boue contenant 25% de silt. La baisse de siccité du filtrat avec le temps est due à la formation d'un gâteau de filtration. Cette formation survient même pour les GTX les plus ouverts. La boue purement argileuse peut être filtrée malgré l'écart entre la taille des grains et la taille des pores ( $D_{90} = 12 \mu\text{m}$  et  $O_f = 98 \mu\text{m}$ ). C'est ce gâteau qui assure majoritairement le rôle de rétention.

## 7. Références bibliographiques

- AFNOR (2013). Caractérisation des boues et propriétés de filtration. Partie 2 : Détermination de la résistance spécifique à la filtration. NF EN 14701-2. Paris.
- Aydilek A.H., Edil T.B. (2003). Long-term filtration performance of nonwoven geotextile-sludge systems. *Geosynthetics International* 10, pp. 110-123.
- Bourgès-Gastaud S., Touze-Foltz N., Blond E. (2013). Multi-scale transmissivity study of drain tube planar geocomposites: effect of experimental device on test representativeness. *Geosynthetics International* 20, pp. 119-128.
- Bourgès-Gastaud, S., Stoltz, G., Sidjui, F., Touze-Foltz, N. (2014) Nonwoven geotextiles to filter clayey sludge: An experimental study. *Geotextiles and Geomembranes* 42, pp. 214-223

- Cantré S., Saathoff F. (2011). Design parameters for geosynthetic dewatering tubes derived from pressure filtration tests. *Geosynthetics International* 18, pp. 90-103.
- Farkish A., Fall M. (2013). Rapid dewatering of oil sand mature fine tailings using super absorbent polymer (SAP). *Mineral Engineering* 50-51, pp. 38-47.
- Li Z., Katsumi T., Inui T. (2011). Modeling cake filtration under coupled hydraulic, electric and osmotic effects. *Journal of Membrane Science* 378, pp. 485-494.
- Lydon R. (2004). Filter media surface modification technology: state of the art. *Filtration + Separation* 41, pp. 20-21.
- Mikula R.J., Kasperski K.L., Burns R.D., MacKinnon M.D. (1996). Nature and fate of oil sands fine tailings suspensions: Fundamentals and applications in the Petroleum Industry. American Chemical Society, pp. 677-723.
- Moo-Young H.K., Gaffney D.A., Mo X. (2002). Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes. *Geotextiles and Geomembranes* 20, pp. 289-303.
- Moo-Young H.K., Tucker W.R. (2002). Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. *Geotextiles and Geomembranes* 20, pp. 191-212.
- Narejo D., Li M., Zimmel E., Wu Y. (2013). A monolithic layered nonwoven-woven geotextile for use with drainage geocomposites in coal combustion residual projects. *Geotextiles and Geomembranes* 37, pp. 16-22.
- Snars K., Gilkes R.J. (2009). Evaluation of bauxite residues (red muds) of different origins for environmental applications. *Applied Clay Science* 46, pp. 13-20.
- Theliander H., Fathi-Najafi M. (1996). Simulation of the build-up of a filter cake. *Filtr. Sep.* 33, pp. 417-421.
- Weggel J.R., Dortch J. (2012). A model for filter cake formation on geotextiles: experiments. *Geotextiles and Geomembranes* 31, pp. 62-68.
- Yüksekkaya M.E., Tercan M., Dogan G. (2010). Filter media research: fabric reinforcement of nonwoven filter cloths. *Filtration + Separation* 47, pp. 36-39.