

## Optimisation de géocomposites pour la filtration de boues dans le cadre d'un partenariat industriel

**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 de par leur forte argilosité et leur stockage reste complexe à gérer pour des raisons pratiques, économiques et environnementales. Des recherches sont donc initiées pour étudier la possibilité d'utiliser des produits géosynthétiques, et en particulier leur fonction de filtration, pour favoriser l'assèchement de ces boues minières.**



Dans de nombreux pays en développement, l'industrie minière constitue un pilier important de l'économie. Les quarante plus grosses sociétés minières avaient, fin 2010, une capitalisation cumulée de 1 600 milliards de dollars ; par comparaison, celle du CAC 40 atteignait alors moins de 1 000 milliards de dollars. On doit l'envolée de la demande aux pays émergents et en particulier à la Chine, le premier consommateur mondial de nickel, de cuivre, d'aluminium, de zinc, de charbon et d'étain. Sur une base raisonnable d'une croissance de 3 % par an, le monde va consommer dans les vingt prochaines années davantage de cuivre, d'aluminium, d'acier et de charbon qu'il n'en a consommé dans toute l'histoire de l'humanité, soit 680 millions de tonnes pour le cuivre et 1 200 millions de tonnes pour l'aluminium (Hocquard, 2011).

En France, hormis les minéraux industriels, pour lesquels la production demeure significative, l'extraction métallique et charbonnière a disparu, depuis la fermeture de Charbonnages de France et de la mine d'or de Salsigne en 2004. Aujourd'hui, l'extraction minière se concentre à l'outre-mer, deux territoires étant particulièrement riches en minerai : le nickel en Nouvelle-Calédonie et l'or en Guyane. Il apparaît donc que la vision française du secteur ne reflète pas sa réalité mondiale : la mine demeure un marché d'avenir.

Les mines d'exploitation aisées étant épuisées, les nouveaux gisements sont naturellement plus difficiles d'accès, plus isolés, plus difficilement exploitables, plus

profonds et moins riches. On assiste ainsi à un accroissement de la quantité de déchets minières. Les déchets minières peuvent être définis comme tout produit minéral résultant de la recherche, de l'exploitation minière ou du traitement du minerai. À titre d'exemple, une seule mine chilienne (Escondida, cuivre) produit près de trois fois plus de déchet que l'ensemble des ménages français, soit 80 millions de tonnes par an. Sous le vocable « déchets minières », on regroupe des déchets très divers (figure 1).

La figure 1 illustre les deux types de déchets d'une mine à ciel ouvert : les morts-terrains, qui sont des matériaux bruts, non traités, et les boues minières qui sont des matériaux extraits, broyés et mélangés à de l'eau afin d'extraire la substance utile. Ces boues sont stockées dans des parcs à résidus, bassins de grande taille délimités par des barrages.

À titre d'exemple, une mine de phosphate au Maroc produit ces deux types de déchets : un granulat calcaire 20/400 mm d'une part et des boues contenant 70 % d'eau d'autre part (photo 1).

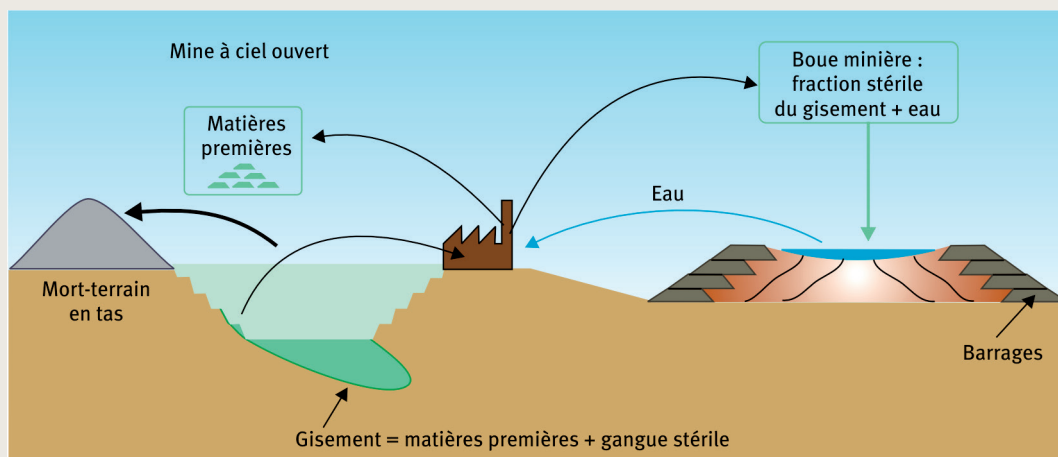
L'industrie des sables bitumineux produit une boue argileuse particulièrement difficile à assécher car elle ne sédimente pas, contenant 40 % de solide et 60 % d'eau, et dont 90 % des particules sont inférieures à 44 µm. Deux cent cinquante millions de tonnes de cette boue ont été produites entre 1967 et 1996. À cause de leur forte teneur en eau et en argile, ces matériaux ne peuvent pas être stockés aisément car ils restent liquides plusieurs années. Pour des raisons pratiques, économiques et environnementales, ces boues doivent être asséchées.



© S. Bourgès-Gastaud (Maccaferri).

❶ Déchets issus de l'extraction minière (boue au premier plan, morts-terrains au second).

❶ Flux schématique des matériaux dans une mine à ciel ouvert.



La société Afitec a identifié la possibilité d'utiliser des géocomposites, et en particulier leur fonction de filtration, pour favoriser l'assèchement des boues minières. Un processus de recherche a donc été initié, pour lequel Afitec a sollicité la collaboration d'Irstea, de manière à identifier les spécificités du filtre pour faciliter l'assèchement des boues minières. L'idée est ainsi 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 le géocomposite). 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, huit boues argileuses ont été filtrées avec huit GTX non tissés différents.

La compatibilité des GTX tissés avec les boues est assez bien décrite et de nombreux tests ont été développés. En revanche, très peu d'études ont porté sur la filtration de boues par GTX non tissés. Parmi les tests développés pour tester les GTX tissés avec des boues, le test de filtration sous pression (PF) est réputé être un bon indicateur.

## ❶ GLOSSAIRE

Un **géotextile** est une matière textile plane, perméable et à base de polymère (naturel ou synthétique) pouvant être non tissée, tricotée ou tissée, utilisée en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Un **produit apparenté aux géotextiles** est défini comme un matériau plan, perméable et à base de polymère (synthétique ou naturel) ne correspondant pas à la définition d'un géotextile.

Un **géocomposite** est un assemblage manufacturé de matériaux dont au moins l'un des composants est un produit géosynthétique.

La **filtration** est une des fonctions des géotextiles et produits apparentés. Elle consiste à maintenir du sol, ou d'autres particules soumises à des forces hydrodynamiques tout en permettant le passage de fluides à travers ou dans un géotextile ou un produit apparenté aux géotextiles.

Le **drainage** consiste en la collecte et le transport des eaux pluviales, souterraines et/ou d'autres fluides dans le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles.

L'**ouverture de filtration** est la dimension de l'ouverture correspondant à la dimension maximale des 90 % de particules de sol passant à travers le géotextile ( $\mu\text{m}$ ).

La **siccité** correspond au pourcentage massique de matière sèche. **D<sub>x</sub>** est la dimension de grain correspondant à x % en poids de tamisat.

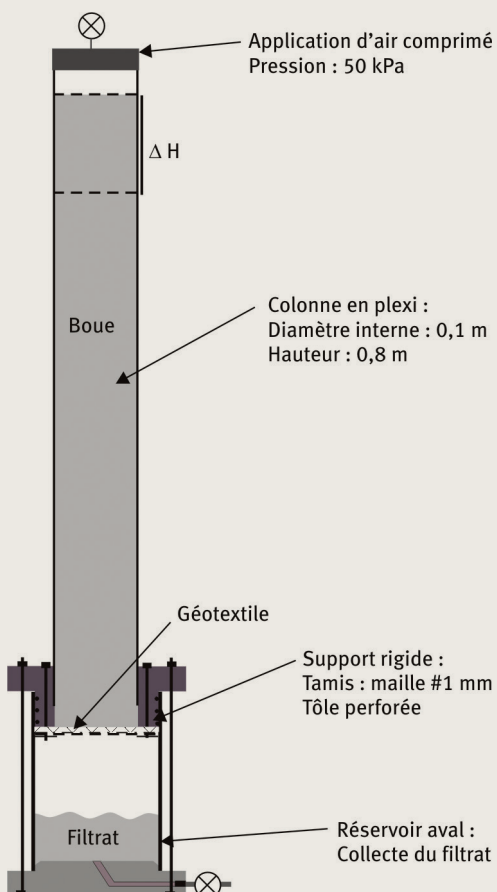
► Ce test développé dans l'industrie permet de caractériser la capacité d'un filtre à filtrer une boue, ainsi que d'évaluer les caractéristiques d'assèchement de la boue (AFNOR, 2013). Ce test met en œuvre une filtration de type « filtration sur support ». La filtration sur support (*cake filtration*) consiste à faire passer une suspension à travers un média filtrant, qui ici est un géotextile. Les particules sont retenues par le filtre. Un gâteau se forme alors, 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 média filtrant n'est que le support du gâteau.

Nous avons développé des cellules de filtration sous pression (PF) pour filtrer des boues minérales avec des GTX non tissés (encadré ②, figure ②).

## ② DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le GTX est installé sur un support rigide (grille), puis la boue est déposée sur le GTX sec. La hauteur initiale de boue est de 80 cm. Ensuite, une 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 eau en fonction de la hauteur.

### ② Schéma de la cellule de filtration sous pression (PF).



## Résultats obtenus

### Boues et géotextiles utilisés

Huit boues de granularité différentes ont été testées en mélangeant 5 litres d'eau et 3,33 kg de solide composé en proportion variable de silt et de kaolinite (argile), avec huit proportions silt/argile différentes. Toutes les boues ont une même siccité de 40 % (pourcentage massique de matière sèche), pour être représentatif de la siccité moyenne des boues minières. Ces boues sont particulièrement fines, difficiles à filtrer et à assécher, à cause de la forte teneur en argile (particules de diamètre inférieur à 2  $\mu\text{m}$ ) entre 0 et 38 %.

Pour comprendre quels paramètres impactent la filtration de boue, huit GTX non tissés en polypropylène ont été testés. Les trois méthodes de fabrication sont représentées : quatre aiguilletés, deux thermoliés et deux aiguilletés calandrés. 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 bibliographie de résultats concernant les calandrés. Pourtant, en filtration industrielle, le calandrage est connu pour réduire la porosité, l'ouverture de filtration, mais aussi homogénéiser la perméabilité et ainsi augmenter l'efficacité de filtration (Lydon, 2004). L'ouverture de filtration, qui est définie comme la dimension de l'ouverture correspondant à la dimension de 90 % de particules de sol passant à travers le géotextile est un paramètre de dimensionnement essentiel comme nous le verrons dans la suite. Le tableau ① présente les caractéristiques des géotextiles utilisés.

### Cinétique de filtration

Les courbes de filtration obtenues présentent toutes la même forme générale, une cinétique hyperbolique : les débits diminuent constamment pendant les sept jours d'essai. L'analyse de la première heure de l'essai de filtration permet d'affiner la compréhension des différences observées entre géotextiles : après une heure de filtration, tous les débits sont inférieurs à 60 g/h pour les géotextiles qui assurent la filtration. 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.

### Importance de la nature du géotextile choisi

Quand on teste les huit géotextiles avec la boue contenant 12 % de silt, on observe que le géotextile n'a pas de contrôle sur la siccité finale de la boue qui se situe pour tous les géotextiles autour de 62 %. On observe deux comportements différents parmi les géotextiles qui ont permis d'assurer une rétention des fines :

- pour les GTX aiguilletés à faible ouverture de filtration ( $Of < 100 \mu\text{m}$ ), le débit initial est fort ( $\approx 650 \text{ g/h}$ ) et le filtrat chargé (siccité de 28 %). Après dix minutes, 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 GTX calandrés et le thermo-lié ayant la masse surfacique la plus grande ( $220 \text{ g/m}^2$ ), 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 (entre 50 et 70  $\mu\text{m}$ ), ce qui explique cette rétention efficace dès les premiers instants.

Les GTX ayant une ouverture de filtration 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 l'ouverture de filtration est comprise entre 50 et 100  $\mu\text{m}$ . Le tableau 2 synthétise les résultats obtenus.

### Colmatage des géotextiles

Une des questions qui peut se poser est relative au risque de colmatage au cours du temps. Dans aucun de ces tests, le phénomène de colmatage n'a été 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 pas 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.

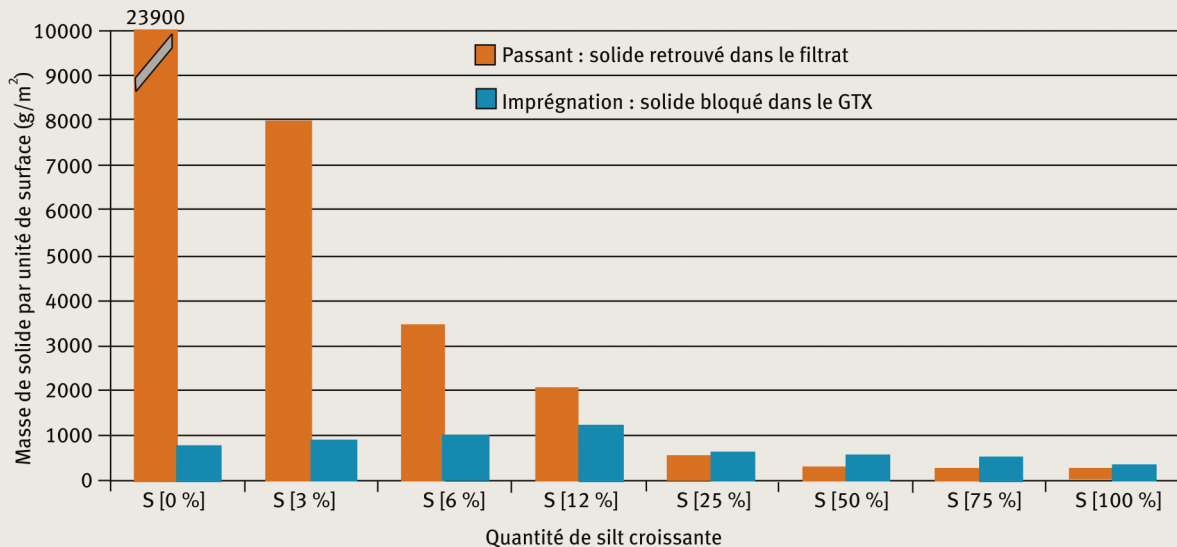
#### 1 Caractéristiques des GTX testés (N/A : non applicable).

GTX	Unité	Cal-1	Cal-2	NP-1	NP-2	NP-3	NP-4	HB-1	HB-2
Méthode de fabrication		Aiguilleté Calandré		Aiguilleté				Thermocollé	
Propriétés									
Ouverture Of NF EN ISO 12956	$\mu\text{m}$	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 $V_{150}$ 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>									
Épaisseur 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>									
Épaisseur	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 %

#### 2 Synthèse des différents tests réalisés (EF : efficacité de filtration).

GTX testé	Boue testée [Silt]	Qualité du filtrat			Assèchement de la boue
		Siccité durant les 5 premières minutes	Temps pour obtenir un filtrat clair (siccité < 1 %) minutes	EF	Siccité de la boue (0,3 m 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 %
HB-1		39 %	30	87 %	61,6 %
HB-2		0 %	0	100 %	61,5 %

⑤ Masse solide traversant le GTX et masse de solide restant imprégnée dans le GTX selon la granularité de la boue.



► **Impact de la composition de la boue sur la filtration**

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 minutes pour obtenir un filtrat clair contre 5 minutes 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. 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  $Of = 98 \mu\text{m}$ ). C'est ce gâteau qui assure majoritairement le rôle de rétention.

Sur la figure ⑤, l'interaction entre les particules de sol et le GTX est appréhendable. On observe que plus la boue contient des particules fines (fraction silteuse faible), plus la quantité de passant est importante (barre grise). Pour la boue purement argileuse (0 % de silt), 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. On voit ainsi l'impact très fort de la composition de la boue, qui est à déterminer de façon aussi précise que possible pour orienter le choix du géotextile.

Les expérimentations réalisées ont également permis d'observer que plus le gâteau de filtration 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 pas 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.

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.

**Conclusion**

Cet article présente une investigation expérimentale de la faisabilité de l'assèchement de boues argileuses 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.

Nous avons observé que le choix du géotextile est important, car c'est l'élément qui va conditionner dans la première heure la formation d'un gâteau de filtration qui assurera au-delà de cette période la filtration de la boue argileuse. Ce géotextile doit donc être habilement dimensionné, en particulier avec une ouverture de filtration inférieure à 100 microns.

La composition de la boue a un impact sur la capacité du GTX à retenir les particules et sur la siccité finale obtenue. Le choix du géotextile doit donc s'opérer en fonction de la boue à filtrer dont la nature est à déterminer avec précision.

Une corrélation claire apparaît entre la teneur en silt de la boue et son assèchement final. Le géotextile, s'il permet d'amorcer la constitution d'un gâteau de filtration n'a aucun impact sur cet assèchement.

Le coût de l'utilisation des géocomposites drainants est estimé à 11 euros par mètre cube de boue, ce qui rend ce procédé concurrentiel par rapport au traitement de base consistant à déposer les boues, attendre leur sédimentation puis reprendre et traiter les sédiments dont le coût est estimé à 12 euros par mètre cube.

La perspective de ce travail est de pouvoir transférer la méthodologie développée au laboratoire vers le terrain par la réalisation de planches d'essai en vraie grandeur, impliquant des géocomposites drainant contenant des filtres adaptés aux boues à filtrer. Un brevet a été déposé sur un nouveau géocomposite drainant intégrant en particulier cette fonction filtration. Il y a en effet un intérêt fort d'Afitex à capitaliser sur de la propriété industrielle. Le développement d'un produit nouveau est vital pour traiter de la gestion des boues de résidus de process miniers, problème minier récurrent mais qui devient de plus en plus criant en lien avec les nouvelles normes environnementales, la réduction d'emprise foncière, et la nécessité de réhabiliter. C'est en particulier vrai pour les petites et moyennes entreprises du monde des géosynthétiques. En effet, ce domaine d'activité est un tout petit métier au plan mondial face à des entreprises minières qui sont des puissances financières, juridiques et techniques. L'apport de la recherche et du transfert de connaissances entre les organismes de recherche et les industriels du domaine est donc essentiel. ■

### Les auteurs

#### Nathalie TOUZE-FOLTZ et Guillaume STOLTZ

Irstea – UR HBAN – Hydrosystèmes et bioprocédés  
1 rue Pierre-Gilles de Gennes  
CS 10030 – 92761 Antony Cedex – France

✉ [nathalie.touze@irstea.fr](mailto:nathalie.touze@irstea.fr)

✉ [guillaume.stoltz@irstea.fr](mailto:guillaume.stoltz@irstea.fr)

#### Sébastien BOURGÈS-GASTAUD

France Maccaferri  
8, rue Pierre Méchain  
CS 80008 – 26901 Valence Cedex 9 – France

✉ [seb.bourges.gastaud@gmail.com](mailto:seb.bourges.gastaud@gmail.com)

#### Yves DURKHEIM

Afitex  
3-15 rue Louis Blériot – 28300 Champhol – France

✉ [yves.durkheim@afitex.com](mailto:yves.durkheim@afitex.com)

### EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **AFNOR**, 2013, Caractérisation des boues et propriétés de filtration. Partie 2 : Détermination de la résistance spécifique à la filtration, NF EN 14701-2.
- 📖 **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*, n° 20, p. 119-128.
- 📖 **HOCQUARD, C.**, 2011, *Le secteur minier : situation et évolutions*, Missions économiques, Ubifrance.
- 📖 **LYDON, R.**, 2004, Filter media surface modification technology: state of the art, *Filtration + Separation*, n° 41, p. 20-21.
- 📖 **YÜKSEKAYA, M.E., TERCAN, M., DOGAN, G.**, 2010, Filter media research: fabric reinforcement of nonwoven filter cloths, *Filtration + Separation*, n° 47, p. 36-39.