

Géocomposites de drainage : relation entre capacité de débit et épaisseur à long terme

Catherine Jarousseau ^a, Roland Gallo ^b et Nathalie Touze-Foltz ^b

La différence entre la capacité de débit du produit mesurée en laboratoire (Q_m) et la capacité de débit dans le sol à long terme (Q_{LTS}) peut être importante. Zanzinger et Gartung (1999) ont mis en évidence que le facteur de réduction dû au fluage du géospaceur est le plus élevé de tous les facteurs influant sur le débit. La norme NF EN ISO 12958 souligne d'ailleurs que la capacité de débit d'un produit doit être appréciée en fonction de son comportement au fluage.

Le fluage d'un géocomposite de drainage est sa diminution d'épaisseur dans le temps, sous contrainte constante. Il implique une baisse de la capacité de débit du produit, liée à la fois à sa diminution d'épaisseur et à la diminution de sa conductivité.

La relation entre le fluage en compression et la diminution de la capacité de débit dans le temps de quatre géocomposites de drainage a été étudiée ici. Les géocomposites testés sont des géospaceurs de structures différentes :

- C1 (compressible) : âme drainante géotextile associée sur les 2 faces à un géotextile non-tissé aiguilleté ;
- C2 (semi-compressible) : âme drainante formée par l'enchevêtrement de monofilaments, recouverte sur les 2 faces d'un géotextile thermolié ;
- NC1 (incompressible) : âme drainante constituée d'une grille extrudée en PEHD¹, recouverte sur les 2 faces par un géotextile thermolié ;

– NC2 (incompressible) : âme drainante constituée d'une feuille PEHD thermoformée symétrique, recouverte sur les 2 faces d'un géotextile thermolié.

Le plan expérimental comprend donc deux phases. Dans un premier temps, on détermine les propriétés de fluage en compression des produits, afin d'obtenir leur épaisseur long terme (essais de fluage selon la norme NF EN 1897, à la fois en compression et en compression + cisaillement). Dans un deuxième temps, la capacité de débit de tous les produits a été mesurée, sous diverses contraintes, puis l'évolution de leur capacité de débit, en fonction de leur épaisseur, déduite. La capacité de débit à long terme des produits a donc été calculée à partir de leur épaisseur à long terme.

Essais de fluage

Déroulement des essais

Deux séries d'essais ont été réalisées selon la norme NF EN 1897 :

- première série avec une combinaison de charge normale et de charge en cisaillement. La contrainte normale était de 50, 100 et 200 kPa sur une durée de 504 heures (21 jours). La contrainte de cisaillement était égale à 20 % de la contrainte normale ;
- deuxième série avec uniquement une charge normale sous les mêmes contraintes et sur une durée d'une heure.

1. Polyéthylène haute densité.

Les contacts

a. Wavin France,
route d'Orléans,
45600 Sully-sur-Loire
b. Cemagref, UR
Hydrosystèmes et
bioprocédés, Parc de
Tourvoie, BP 44,
92163 Antony Cedex

Les essais ont été limités respectivement à une durée de 504 heures et une heure au lieu des 1 008 heures spécifiées par la norme car la quasi-totalité de la réduction de l'épaisseur des produits a lieu durant la première heure de l'essai, et au bout d'une heure la partie linéaire de la courbe de fluage est déjà atteinte.

Les courbes de fluage en compression simple ont été tracées à partir d'une heure et jusqu'à 504 heures, par extrapolation linéaire.

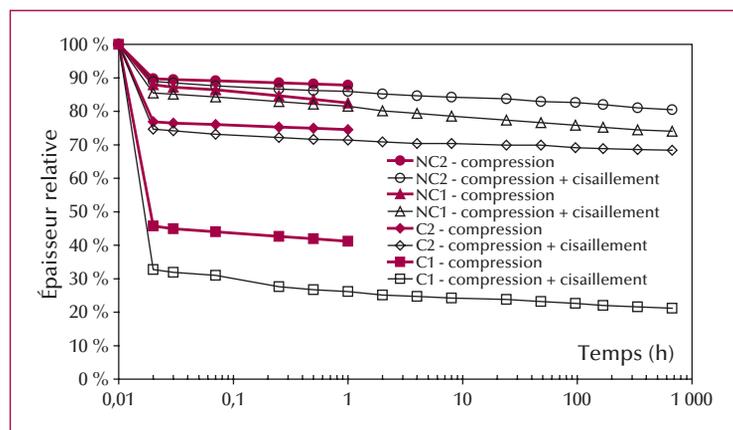
Résultats des essais

Les essais montrent que l'épaisseur des produits est supérieure dans le cas d'une contrainte normale par rapport à celui d'une contrainte normale + cisaillement, pour les contraintes testées, comprises entre 50 et 200 kPa. L'effet du cisaillement sur l'épaisseur est immédiat : il est observable dès l'application de la contrainte.

Les épaisseurs mesurées au cours des essais de fluage ont été exprimées en tant que déformations selon la formule suivante :

$$D = \frac{e_{g0} - e_{gX}}{e_{g0}} \times 100$$

▼ Figure 1 – Comparaison des courbes de fluage sous 200 kPa.



avec D déformation en %, e_{g0} épaisseur initiale, e_{gX} épaisseur finale après X heures de test en mm.

Sous cette forme, les résultats ont pu être comparés grâce à des graphiques tels que celui de la figure 1, pour une contrainte normale de 200 kPa.

Les valeurs des déformations à une heure sont reportées dans le tableau 1.

Les produits C1 et C2 sont les plus compressibles avec des pourcentages de déformations allant jusqu'à plus de 50 % pour C1 et plus de 25 % pour C2 sous une charge normale en compression de 200 kPa. Les produits NC1 et NC2 sont beaucoup moins compressibles, avec un pourcentage de déformation sous une charge normale en compression de 200 kPa de 17 et 12 % respectivement. Quand on applique une charge associant compression normale et cisaillement, on s'aperçoit que le produit C1 voit sa déformation augmenter jusqu'à 73,8 %, alors que les produits C2, NC1 et NC2 voient leur pourcentage de déformation augmenter légèrement. Ces quatre produits ont des réactions de déformations très variables lors de leur chargement. Le produit le plus compressible C1 flue d'avantage sous l'effet du cisaillement, alors que son géospaceur a la structure la plus homogène.

Capacité de débit à long terme

Méthodologie

La capacité de débit à long terme des géocomposites testés est estimée en trois étapes :

- des couples (temps t , épaisseur e_g) ont été extraits des courbes de fluage ;
- la contrainte σ nécessaire pour obtenir l'épaisseur e_g dans une cellule de capacité de débit

▼ Tableau 1 – Déformations des produits (diminution d'épaisseur).

Produits	Déformations (%) après fluage en compression à une heure			Déformations (%) après fluage en compression + cisaillement à une heure		
	50	100	200	50	100	200
Contraintes (kPa)						
C 1	33,2	48,5	58,8	61,2	68,7	73,8
C 2	13,4	19,2	25,6	17,7	23,8	28,6
NC 1	5,5	9,3	17,6	9,3	15,4	18,5
NC 2	5,9	8,2	12,2	7,5	11,1	14,1

après 2 minutes (et non après un temps t) a été déterminée à partir de la figure 2, également issue des résultats des essais de fluage ;

– cette contrainte σ a été reportée sur les figures 3 à 6. Un couple (capacité de débit Q , temps t) en a été déduit.

Les données de la troisième étape ont été obtenues lors de la deuxième phase expérimentale ; la capacité de débit de chaque produit a été mesurée dans plusieurs configurations : contraintes variables, temps d'application de la contrainte variables (2 minutes selon la norme NF EN ISO 12958 et 1 heure), entre types de support différents (entre plaques rigides et plaques de mousse). Par contre, le gradient hydraulique a été maintenu constant, égal à 1.

Capacité de débit, fonction de la contrainte

Le dispositif expérimental utilisé est conforme à la norme NF EN ISO 12958.

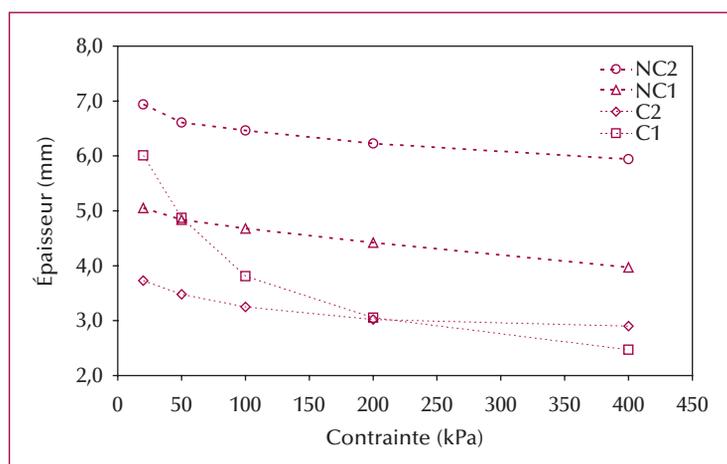
Tous les géocomposites ont été testés sous quatre contraintes : 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa et plus de 300 kPa ; ces contraintes ont été appliquées entre deux plaques rigides et entre deux plaques de mousse. Pour chaque contrainte et chaque type de support, une nouvelle éprouvette a été utilisée. Chaque éprouvette a donc fait l'objet de deux mesures pour chaque contrainte et chaque type de support : mesure immédiate du débit (selon la norme) puis mesure du débit une heure après application de la contrainte.

La capacité de débit (selon la norme) a été tracée en fonction de la contrainte appliquée sur les figures 3 à 6. Ces graphiques mettent en évidence que la capacité de débit :

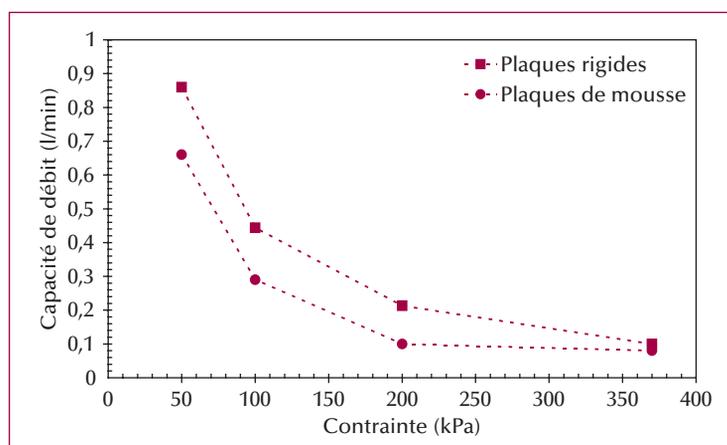
- diminue quand la contrainte appliquée augmente ;
- est plus faible entre deux plaques de mousse qu'entre deux plaques rigides.

Pour un produit compressible (figure 3), la diminution de la capacité de débit entre deux plaques rigides ou deux plaques de mousse est comparable.

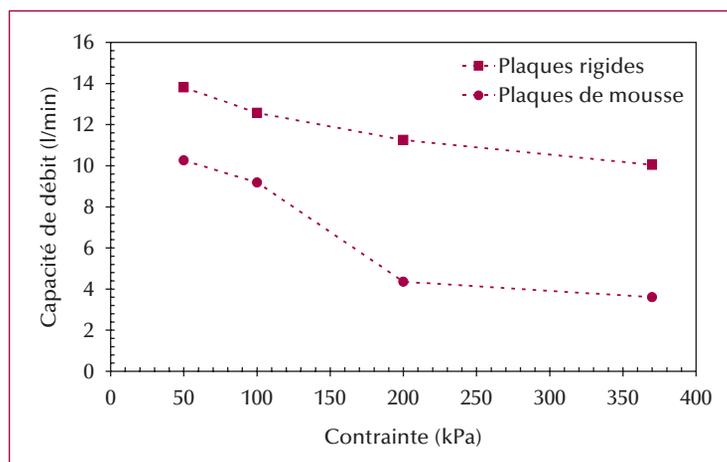
Pour des produits incompressibles ou semi-compressibles (figures 4 à 6), alors que la diminution de capacité de débit est quasi linéaire entre deux plaques rigides, entre deux plaques de mousse, cette diminution présente toujours un palier



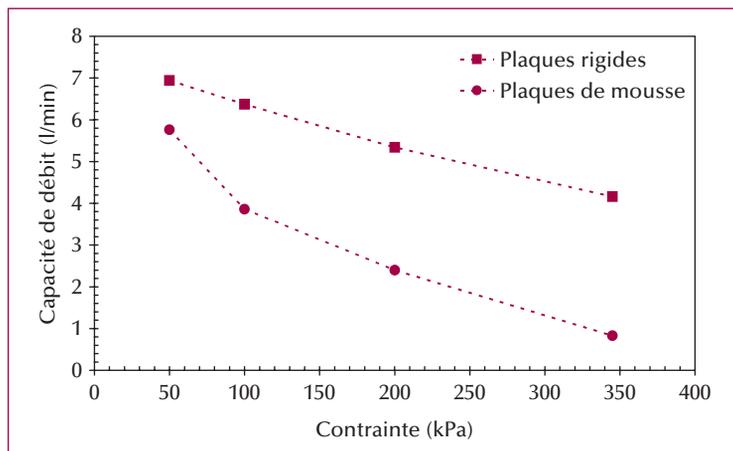
▲ Figure 2 – Épaisseurs des produits après 2 minutes de fluage.



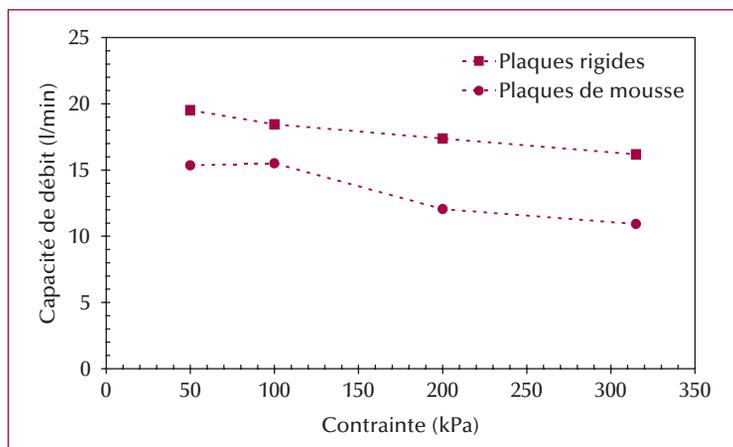
▲ Figure 3 – Relation capacité de débit/contrainte pour le produit C1.



▲ Figure 4 – Relation capacité de débit/contrainte pour le produit C2.



▲ Figure 5 – Relation capacité de débit/contrainte pour le produit NC1.



▲ Figure 6 – Relation capacité de débit/contrainte pour le produit NC2.

important. Ce palier correspond très certainement à la pénétration de la mousse compressible dans la structure peu compressible.

L'épaisseur, passerelle entre le court et le long terme

La démarche a été validée par la comparaison, dans chaque cas :

- de la mesure directe de Q après application de la contrainte pendant une heure ;
- du calcul de Q après une heure (selon la méthodologie décrite plus haut).

Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

▼ Tableau 2 – Capacités de débit ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) après une heure sous 50 kPa.

Produits	Plaques rigides		Plaques de mousse	
	Q mesurée	Q calculée	Q mesurée	Q calculée
C 1	0,7	0,7	0,6	0,5
C 2	13,6	13,5	9,2	10,0
NC 1	6,8	6,8	5,4	5,3
NC 2	19,2	19,1	13,7	15,4

On constate que l'approximation long terme, utilisant comme base de raisonnement l'évolution de l'épaisseur, donne des résultats en bonne corrélation avec les résultats expérimentaux.

Étant validée pour une heure, il a été admis que la démarche était aussi valide pour des durées plus longues. D'ailleurs, les résultats finaux corroborent cette hypothèse puisque les valeurs obtenues correspondent aux valeurs présentes dans la littérature concernant les géospaceurs de type géogrilles.

RELATION CAPACITÉ DE DÉBIT/ÉPAISSEUR

Pour chaque produit, la capacité de débit calculée rapportée à l'épaisseur correspondante, issue des essais de fluage, a été tracée en fonction du logarithme du temps.

La figure 7 reprend l'évolution de ce rapport pour les 4 produits, sous une contrainte de 50 kPa.

Ces graphiques montrent que, quel que soit le type de produit, le rapport de la capacité de débit sur l'épaisseur varie de façon globalement linéaire en fonction du temps, pour les contraintes testées.

Autant l'évolution de ce rapport paraît intéressante, autant la valeur de ce rapport ne paraît être révélatrice que du type de géospaceur. Les valeurs obtenues ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) sont en effet très différentes :

- de 0,03 à 0,18 pour C1 ;
- de 0,76 à 3,97 pour C2 ;
- de 0,30 à 1,43 pour NC1 ;
- de 1,55 à 2,95 pour NC2.

CAPACITÉ DE DÉBIT À LONG TERME

Connaissant l'évolution du rapport de la capacité de débit sur l'épaisseur en fonction du temps et

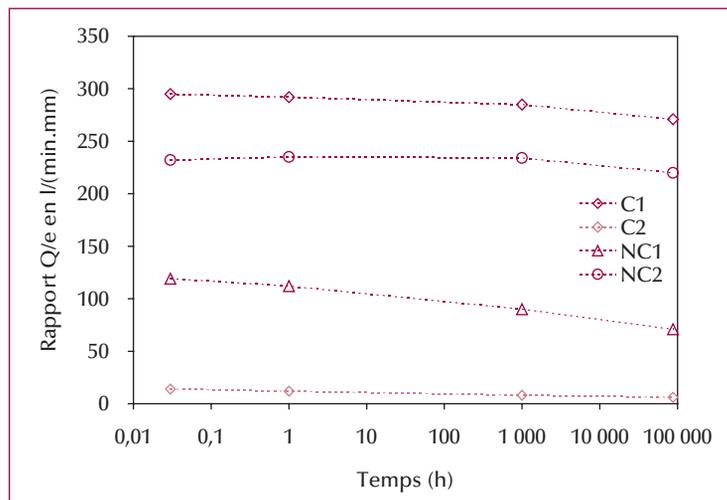
l'évolution de l'épaisseur en fonction du temps, la valeur de la capacité de débit à long terme a donc pu être simplement calculée.

Les tableaux 3 et 4 rapportent la valeur de la capacité de débit mesurée selon la norme NF EN ISO 12958 (Q_i) et la rapprochent de la capacité de débit à long terme calculée. Dans ce cas, le calcul a été réalisé pour une durée de 10 ans, ce qui permet d'obtenir Q_f .

Une différence de comportement nette entre, d'une part, les produits compressibles et, d'autre part, les produits semi-compressibles et incompressibles est évidente. En effet, pour les premiers, la capacité de débit initiale diminue à peu près dans les mêmes proportions entre les deux types de support. Par contre, pour les deuxièmes, la capacité de débit diminue beaucoup plus dans le temps entre deux plaques de mousse qu'entre deux plaques rigides.

Pour le produit compressible, la capacité de débit diminue dans le temps uniquement de par le phénomène de fluage. Par contre, pour les produits semi-compressibles ou incompressibles, en plus du fluage des géoespaces, la pénétration de la mousse dans la structure augmente dans le temps, même à contrainte constante, de par le fluage du géotextile filtre.

Par ailleurs, une valeur remarquable ressort du tableau 3 pour le produit C1 entre deux plaques de mousse : la capacité de débit, sous 200 kPa, à



10 ans, est égale à 60 % de sa capacité de débit mesurée selon la norme. Ce pourcentage très fort s'explique aisément de par la nature compressible du produit. 200 kPa étant une contrainte relativement élevée, la diminution d'épaisseur due au fluage est minime par rapport à la diminution d'épaisseur immédiate.

▲ Figure 7 – Évolution du rapport G/e , sous 50 kPa.

Quels facteurs de sécurité choisir ?

La capacité de débit d'un géocomposite décroît dans le temps. Pour prévoir cette baisse de performances, un coefficient de sécurité est appliqué

Produit	C1						C2					
	Plaques rigides			Mousse			Plaques rigides			Mousse		
Contraintes normales (kPa)	50	100	200	50	100	200	50	100	200	50	100	200
Q_i l/min	0,86	0,44	0,21	0,66	0,29	0,10	13,8	12,6	11,2	10,3	9,2	4,4
Q_f (10 ans) l/min	0,34	0,07	0,06	0,2	0,07	0,06	12,4	10,6	7,4	8,7	4,0	2,0
Q_f / Q_i (%)	40 %	16 %	29 %	30 %	24 %	60 %	90 %	85 %	66 %	85 %	43 %	47 %

◀ Tableau 3 – Capacité de débit de C1 et C2 après 10 ans.

Produit	NC1						NC2					
	Plaques rigides			Mousse			Plaques rigides			Mousse		
Contraintes normales (kPa)	50	100	200	50	100	200	50	100	200	50	100	200
Q_i l/min	6,94	6,37	5,34	5,76	3,86	2,40	19,5	18,4	17,4	15,3	15,5	12,0
Q_f (10 ans) l/min	6,22	5,05	2,11	3,28	2,01	1,02	18,0	16,8	13,8	14,0	11,5	8,9
Q_f / Q_i (%)	90 %	79 %	40 %	57 %	52 %	42 %	92 %	91 %	80 %	91 %	74 %	74 %

◀ Tableau 4 – Capacité de débit de NC1 et NC2 après 10 ans.

à la valeur annoncée, c'est-à-dire mesurée selon la norme. Ce coefficient de sécurité est en fait le produit de coefficients de sécurité partiels (Koerner, 1998). Les quatre principaux facteurs devant être pris en compte sont :

- fluage de l'âme drainante (RF_{CR}) ;
- intrusion du géotextile dans l'âme drainante/déformations dans le temps du géotextile (RF_{IN}) ;
- colmatage chimique de l'âme drainante (RF_{CC}) ;
- colmatage biologique de l'âme drainante (RF_{BC}).

On peut ainsi calculer la capacité de débit à long terme dans le sol (Q_{LTIS}) en fonction de la capacité de débit mesurée (Q_m) selon l'équation suivante :

$$Q_{LTIS} = \frac{Q_m}{RF_{CR} \times RF_{IN} \times RF_{CC} \times RF_{BC}}$$

Dans la littérature, le facteur de réduction RF_{CR} est souvent donné compris entre 1,1 et 2,0 (Koerner, 1998) selon les applications (pour les géogrilles).

Compte tenu des résultats obtenus dans les tableaux 3 et 4, des plages de variation peuvent être données pour les quatre produits. Seuls les résultats entre plaques de mousse sont repris ci-dessous.

Le géospaceur de C1 est un géotextile. La plage de facteur de réduction est comprise entre 3,3 et 4,2 pour des contraintes faibles à moyennes. C'est le seul des produits testés dont le facteur de réduction pour des contraintes élevées est vraiment plus faible que pour des contraintes inférieures, avec une valeur de 1,7.

Le géospaceur de C2 est constitué d'un enchevêtrement de monofilaments. La plage de RF_{CR} est comprise entre 1,2 et 2,3. Plus la contrainte appliquée sur le produit est forte, plus le facteur de réduction est élevé. Sa nature semi-compressible se retrouve dans les facteurs de réduction : pour des contraintes fortes, RF_{CR} est légèrement inférieur aux contraintes moyennes (2,1 pour 2,3).

Le géospaceur de NC1 est une géogrille. La plage de variation de RF_{CR} est comprise entre 1,7 et 2,4. Plus la contrainte appliquée sur le

produit est forte, plus le facteur de réduction est élevé. Cette plage se rapproche des valeurs communément répandues, bien que légèrement supérieure.

Le géospaceur de NC2 est une feuille thermoformée symétrique. La plage de variation de RF_{CR} est comprise entre 1,1 et 1,4. Plus la contrainte appliquée sur le produit est forte, plus le facteur de réduction est élevé.

Conclusions

La norme NF EN 1897 ne préconise la réalisation de l'essai de fluage en compression + cisaillement que dans le cas des produits sensibles à la rupture en cisaillement. Les résultats de cette étude montrent que le cisaillement a une incidence immédiate sur l'épaisseur de tous les produits. Par exemple, le produit *a priori* le moins sensible au cisaillement (géospaceur géotextile) est en fait le plus sensible de tous les produits testés. *Tous les produits devraient donc être soumis systématiquement à l'essai de fluage avec cisaillement.*

Par ailleurs, la capacité de débit est étroitement liée à son épaisseur. Il est admis que la principale cause de diminution de la capacité de débit dans le temps est le fluage. La méthode présentée ici, basée sur l'évolution de l'épaisseur du produit dans le temps, et donc de la connaissance de ses épaisseurs à court terme et à long terme, permet d'évaluer la capacité de débit du produit à long terme, en fonction de sa capacité de débit à court terme.

Issus de ces résultats, des facteurs de réduction liés au fluage RF_{CR} sont proposés : appliqués aux produits testés, ils permettent de prendre en compte l'effet du fluage dans les dimensionnements. Leurs valeurs sont comparables avec les valeurs citées dans la littérature, dans le cas des produits incompressibles et semi-compressibles : obtention d'une plage comprise entre 1,1 et 2,5 contre les 1,1-2,0 couramment répandus. Par contre, ces valeurs ne s'appliquent pas au produit compressible puisque les valeurs obtenues sont plus de deux fois supérieures.

La capacité de débit à long terme a été étudiée, en raisonnant sur l'épaisseur à long terme de produits sollicités essentiellement en compression simple. Compte tenu de l'effet important du cisaillement sur l'épaisseur des produits, il serait intéressant de mettre au point un dispositif expérimental

permettant de mesurer la capacité de débit d'un produit soumis aussi au cisaillement. En effet, le cisaillement peut intervenir à deux niveaux sur les résultats de capacité de débit : en plus d'une

diminution d'épaisseur, il est possible qu'il y ait un changement dans l'interconnexion des vides, modifiant alors la conductivité hydraulique du produit, et donc aussi sa capacité de débit. □

Résumé

La capacité de débit d'un géocomposite de drainage est intuitivement liée à son épaisseur, d'où l'importance de la maîtrise du fluage. Le fluage d'un géosynthétique est sa diminution d'épaisseur dans le temps, sous contrainte constante, en compression simple, ou en compression + cisaillement. Cette étude porte sur quatre types de géocomposites de drainage différents, chacun ayant un géospaceur de structure différente. Leur comportement au fluage a été étudié en compression simple et aussi avec du cisaillement. Puis leur capacité de débit à long terme a été évaluée en raisonnant sur leurs diminutions d'épaisseur dans le temps. Des facteurs de réduction ont été déduits de ces résultats : ils sont très variables selon la nature des géospaceurs (compressible ou pas).

Abstract

The water flow capacity of a drainage geocomposite is felt related to its thickness, hence the importance of the creep knowledge. The creep of a geosynthetic is its time-dependent thickness decrease, under a constant stress, under compressive, or compressive + shearing loading. This work deals with four different drainage geocomposites types, each one with a different kind of geospacer. Their creep behaviour has been studied under simple compressive loading and also with a shearing loading. Then their water flow capacity in the long term has been evaluated in reasoning on their time-dependent thickness decrease. Reduction factors have been deduced of those results: they are very different according to the type of the geospacers (compressible or not).

Bibliographie

- NF EN 1897, 2003, Géotextiles et Produits Apparentés – Détermination des propriétés de fluage en compression.
- NF EN ISO 12958, 1999, Géotextiles et Produits Apparentés – Détermination de la capacité de débit dans leur plan.
- KOERNER, R.-M., 1998, *Designing with Geosynthetics*, 4th Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- ZANZINGER, H., GARTUNG, E., 1999, Dimensionnement Hydraulique de Géocomposites de Drainage pour Couvertures des Décharges Publiques – Utilisation des Facteurs de Réduction, *in Rencontres Géosynthétiques 99*.