

Essais de caractérisation de produits d'enrobage de drains agricoles français et hongrois

N. BOGNAR¹ et C. LENNOZ-GRATIN²

¹Vituki, H-1453 Budapest Pf.27. Hongrie; et ²Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (CEMAGREF), Division Drainage, BP 121 Cedex 92164 Antony France. Received 30 November 1988, accepted 6 June 1989.

Bognar, N. et Lennoz-Gratin, C. 1990. **Essais de caractérisation de produits d'enrobage de drains agricoles français et hongrois**. Can. Agric. Eng. 32: 11-16. Trois produits d'enrobage de drain agricole utilisés en Hongrie et deux autres utilisés en France ont été caractérisés selon une méthode mise au point en France. A l'issue de cette étude, les produits sont parfaitement définis, leurs aptitudes hydrauliques et leur capacité de filtration sont vérifiées et les types de sols auxquels ils sont adaptés sont déterminés.

Five fabrics from Hungary and France designed to be used as drain envelope materials were tested through the French envelopes characterization method. This series of tests provides information on physical properties of the envelopes, their hydraulic and filtration capacities, and allows the choice of suitable soils.

INTRODUCTION

Les produits d'enrobage des drains sont destinés à la prévention du colmatage minéral des drains et à l'amélioration des performances hydrauliques des tuyaux de drainage. Du fait des limitations économiques à leur emploi, l'enrobage des tuyaux de drainage par des matériaux filtrants est requis lorsqu'on risque de colmatage minéral des drains a été diagnostiqué par des études préalables.

En France 5% seulement du linéaire de drain est enrobé correspondant, au rythme actuel d'installation, à une superficie d'environ 5000 hectares par an. Cette moyenne cache de grandes différences entre les régions: dans les plaines cotières du Nord du pays, plus de 50% des drains sont enrobés. En Hongrie, la proportion de drains enrobés est voisine de celle de la France.

Cette étude constitue le bilan d'une campagne d'essais de laboratoire portant sur trois produits hongrois et deux produits français et présente les tests utilisés au CEMAGREF pour caractériser les produits d'enrobage.

Les essais sont classés en trois catégories: les essais de caractérisation des produits; les essais de contrôle de qualité; les essais permettant le choix des produits en fonction du sol.

LES METHODES D'ESSAI

Les essais de caractérisation des produits

Il s'agit de mesurer les ouvertures caractéristiques du produit étudié afin de l'identifier et d'aider à la sélection du produit en fonction du sol à drainer.

Toutes les méthodes utilisées sont issues des normes françaises (Association française de Normalisation 1933a-d, 1988) pour les géotextiles.

Détermination de la masse surfacique (norme NF G38-013). La pesée de 10 éprouvettes de forme carrée et de surface $100 \text{ cm}^2 \pm 10 \text{ cm}^2$ fournit la moyenne et l'écart-type de la masse surfacique.

Détermination de l'épaisseur (norme NF G38.012). L'épaisseur est mesurée sur le produit placé entre une plaque de référence et un pied presseur exerçant une pression de 2 kPa. Dix éprouvettes circulaires de 10 cm de diamètre sont utilisées, conduisant à une épaisseur moyenne et à un écart-type.

Détermination de la permittivité hydraulique (Norme NF G38-016). La permittivité (P) exprimée en s^{-1} est le rapport de la perméabilité à l'eau (K) normale au plan du géotextile, à l'épaisseur(e) du géotextile.

La perméabilité à l'eau est calculée par application de la loi de Darcy sur des éprouvettes de surface minimale utile de 20 cm^2 .

Détermination de l'ouverture de filtration (norme NF G38.017). L'ouverture de filtration correspond au diamètre des plus grosses particules de sol pouvant traverser le géotextile sous l'action d'une percolation de l'eau.

Le dispositif d'essai permet l'immersion et l'émersion alternées de plusieurs supports sur lesquels sont disposées horizontalement les éprouvettes de produit surmontées d'un sol de référence. La surface totale soumise à l'essai doit être supérieure ou égale à 2000 cm^2 .

L'ouverture de filtration est par convention exprimée par le d_{95} (d_{95} diamètre des particules du sol, tel que 95% en masse de ses éléments soient de dimensions inférieures à ce diamètre) du "passant", c'est à dire du sol ayant traversé le géotextile à la suite de l'opération de tamisage hydrodynamique.

Vérification de la qualité des produits

Tout produit destiné à être utilisé comme enrobage de drains subit, en préalable de toute mesure spécifique, des tests d'aptitude. A l'issue de ces tests, le produit étudié est rejeté ou accepté pour l'utilisation en drainage agricole.

Détermination de la résistance à la traversée de l'eau (Norme NF G38.020). Ce test a été développé au CEMAGREF depuis 1983 pour prévenir les désordres observés sur le terrain: certains produits se comportent comme si ils étaient "impermeables". Plusieurs types de phénomènes physiques interviennent dans ce problème, qui a été relié à un défaut des aptitudes de "mouillage" du produit incriminé (Lennoz-Gratin 1987).

Un test simple a été développé pour réaliser un contrôle préalable à l'utilisation comme produit d'enrobage. (Cestre 1984) Une éprouvette plane de géotextile est soumise progressivement à une charge hydraulique croissante (Figure 1).

La charge nécessaire au début de passage de l'eau à travers le produit et la surface de passage sont mesurées sur 10 éprouvettes. La moyenne et l'écart-type sont alors calculées.

A l'issue du test, les produits qui présentent une charge hydraulique nécessaire au passage de l'eau supérieure à 5 mm ou dont

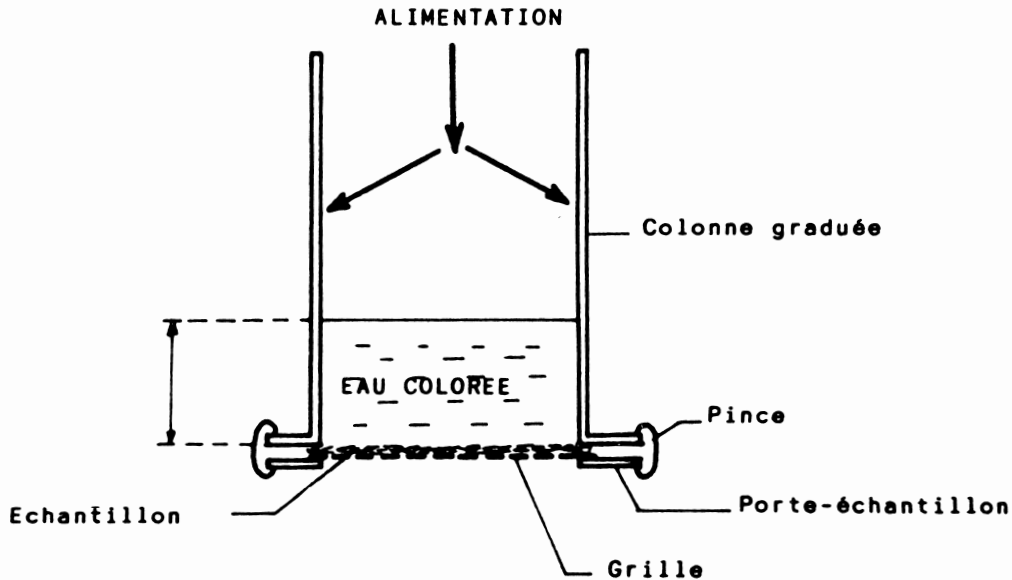


Fig. 1. Dispositif de mesure de la résistance à la traversée de l'eau.

la surface de passage est inférieure à la surface totale de l'éprouvette sont déclarés inaptes au rôle d'enrobage de drain agricole.

Essai de filtration en cuve de sable. Le drain enrobé du produit étudié est installé horizontalement au sein d'un massif de sable fin de granulométrie uniforme et soumis à une charge hydraulique constante (Figure 2). La durée de l'essai est de 20 jours et les résultats sont comparés à ceux obtenus avec un drain nu placé dans des conditions identiques.

Les résultats observés sont: (1) l'hydrogramme corrigé (ramené à une conductivité hydraulique du massif de 1 m/j, à une température de 20°C et une longueur de drain de 1 m); (2) le taux de colmatage interne du drain, en fin d'expérience.

Les produits qui présentent une chute significative de débit au cours du temps supérieure à 20% ou dont le colmatage interne dépasse 10% du volume du drain ne seront pas utilisés en drainage agricole.

Verification de l'adéquation sol produit d'enrobage

Le problème posé. S'il est aisé de trouver des produits d'enrobage adaptés aux sols sableux, il n'en est pas de même pour les sols plus fins ou plus hétérogènes (Dierickx et al. 1987).

On ne connaît pas de réponse théorique aux problèmes particuliers, posés par les sols limoneux : d'une part il est nécessaire d'enrober, d'autre part l'enrobage risque de se colmater. Il n'est donc pas possible "a priori" de prévoir les caractéristiques que devrait posséder le produit d'enrobage adapté. C'est pourquoi un essai fiable permettant de vérifier l'adéquation des produits d'enrobage à un sol donné a été mis au point.

Le test en perméamètre. Le test en perméamètre permet de soumettre un massif de sol à des gradients hydrauliques croissants et d'observer l'évolution de sa stabilité.

Le perméamètre est initialement conçu pour mesurer la perméabilité de Darcy d'un sol :

$$Q = K \frac{\Delta H}{\Delta L} = K i \quad (1)$$

avec:

$$Q = \text{débit (m}^3/\text{s)},$$

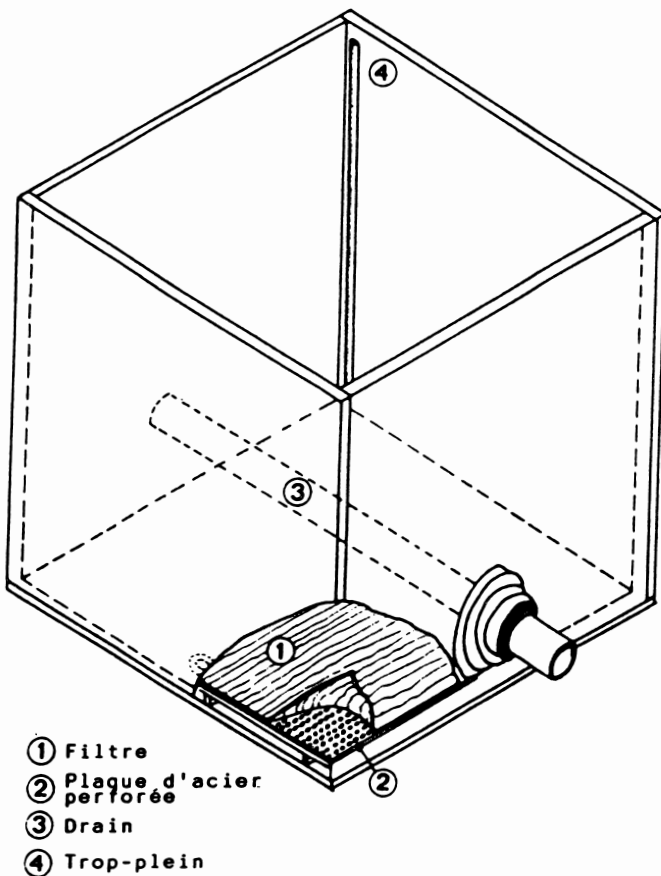
$$S = \text{surface de passage (m}^2),$$

$$\Delta H = \text{perte de charge (m)},$$

$$\Delta L = \text{longueur de l'écoulement (m)},$$

$$i = \text{gradient hydraulique, et}$$

$$K = \text{conductivité hydraulique (m/s)}.$$



- ① Filtre
- ② Plaque d'acier perforée
- ③ Drain
- ④ Trop-plein

Fig. 2. Cuve pour essai de filtration.

Des prises de pression placées à différents niveaux du massif de sol permettent de calculer des perméabilités locales.

Le massif, constitué du sol étudié et surmonté du produit d'enrobage à tester, est soumis à un écoulement vertical ascendant. Les débits et les hauteurs piézométriques obtenus en régime permanent d'écoulement sont enregistrés. La charge hydraulique d'alimentation est augmentée progressivement jusqu'à ce que le gradient hydraulique total dépasse 3. Le sol traversant le produit est recueilli.

Cet essai permet ainsi d'apprécier les capacités de filtration des produits testés et d'évaluer les risques éventuels de colmatage du produit d'enrobage ou de diminution importante de la perméabilité du sol au niveau de l'interface. Le test permet de déterminer la gamme de sols à laquelle est adapté chaque produit d'enrobage; il peut aussi servir à choisir le produit d'enrobage convenant à un sol particulier pour lequel il n'existe pas de référence (Lennoz-Gratin et al. 1987).

Le dispositif expérimental. Conçu d'après des travaux de Willardson (1979) et Dierickx (1982), il est constitué d'une batterie de perméamètres de forme cylindrique de 11 cm de diamètre et de 12 cm de hauteur (Figure 3).

Le massif est constitué dans l'appareil à partir de sol sec et tamisé à 2 mm; il est progressivement saturé à partir du bas. Une rondelle de produit d'enrobage est placée horizontalement au sommet du cylindre de sol. Une charge d'alimentation en eau est fixée à l'amont, on attend alors l'établissement d'un régime pseudopermanent.

Le débit est alors mesuré par empotement et la pression, en différents points du massif, est enregistrée en hauteur d'eau.

Puis la charge hydraulique est augmentée de quelques centimètres et après 24 heures les mesures de débit et piézométrie sont de nouveau réalisées. L'opération est répétée jusqu'à ce que le gradient hydraulique atteigne la valeur 3 ou que l'on observe un passage très important de particules de sol à travers le produit d'enrobage; le gradient hydraulique correspondant est alors noté (Lennoz-Gratin et Zaidi 1987).

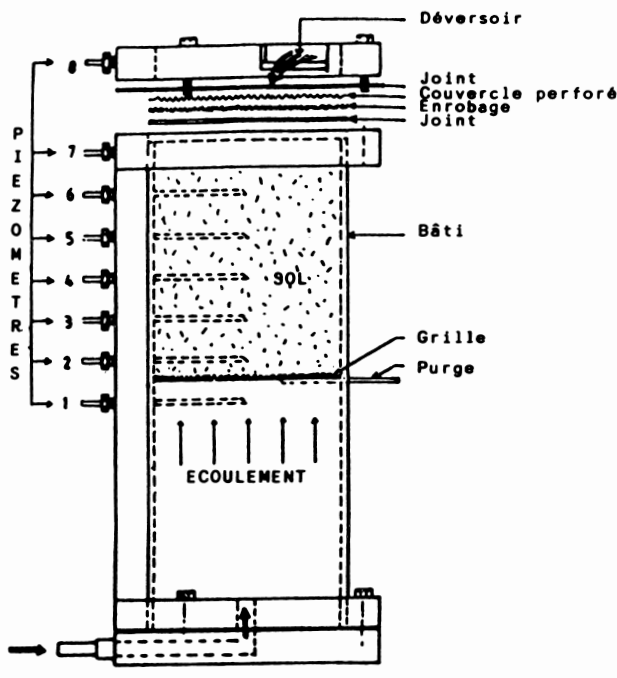


Fig. 3. Schéma d'un perméamètre.

LES PRODUITS ET SOLS UTILISES

Les trois produits d'enrobage hongrois et les deux produits d'enrobage français sont nommés respectivement H1, H2, H3, F1, F2. Leur composition chimique et leur type de structure sont: H1, polypropylène – non tissé, aiguilleté; H2, polypropylène – non tissé, aiguilleté; H3, laine de verre; F1, polyester – non tissé, aiguilleté; F2, polypropylène + non tissé, aiguilleté.

Au cours de l'ensemble des tests présentés ici, trois sols ont été utilisés: un sable fin uniforme (Champlan); un limon sableux (Marais-Vernier); un limon (Arrou).

Leurs principales caractéristiques granulométriques et hydrauliques sont résumées dans le tableau I.

Des cas de colmatage minéral ont effectivement été rencontrés dans le sol du Marais-Vernier. Le sable de Champlan n'est pas drainé mais l'expérience acquise sur des sols sableux similaires dans le nord de la France laisse présager un risque de colmatage minéral (Stuyt et Cestre 1986). Par contre le limon d'Arrou est réputé stable et aucun cas de colmatage minéral n'a été rencontré sur ce matériau.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation des produits

Les caractéristiques dimensionnelles des cinq produits figurent dans le tableau II.

Ces 5 produits constituent une vaste gamme d'ouverture de filtration (de 50 à près de 400 μm !), permettant de mesurer l'influence de ce paramètre sur les aptitudes du produit même s'ils diffèrent beaucoup par leurs autres caractéristiques (nature des fibres, masse, épaisseur...).

Détermination de la résistance à la traversée de l'eau

Quatre des produits testés ne présentent aucun problème de résistance à la traversée de l'eau (tableau III). Le produit F1 ne satisfait pas aux exigences du test; mais un traitement avec un "agent mouillant" permet de remédier à ce problème. Une fois traité, le produit F1, alors noté F1*, présente une charge hydraulique de passage sensiblement nulle et une surface de passage égale à la surface totale.

Dans la suite des essais le produit F1* sera employé à la place du produit F1.

Tableau I. Caractéristiques des sols

Sol	Arrou	Marais-Vernier	Champlan
Taux d'argile (%)	13	6	2
d_{85} (μm) [†]	50	70	100
CU [‡]	20	2.5	1.2
i_c [§]	> 3	1.5	1.0
K (m/s) [¶]	10	0.5 10	10

[†] d_{85} (et plus généralement d_x) diamètre des particules du sol tel que 85% en masse des éléments de celui-ci soient de dimensions inférieures à ce diamètre.

[‡]CU = coefficient d'uniformité $CU = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

[§] i_c = radient hydraulique mesuré en perméamètre et correspondant à la sortie de particules de sol à travers le couvercle perforé du dispositif en l'absence de produit d'enrobage au-dessus du sol.

[¶]Il s'agit de la conductivité hydraulique mesurée en perméamètre sur un massif reconstitué; elle diffère de la perméabilité du sol en place.

Tableau II. Caractéristiques des produits

Enrobage	H1	H2	H3	F1	F2
Masse (g/m ²)	396	412	95	149	174
Épaisseur (mm)	2.10	3.40	0.95	1.60	0.93
Permittivité (s ⁻¹)	0.30	2.78	21.40	-	0.44
Ouverture de filtration (d ₉₅) (µm)	88	190	380	98	55

Tableau III. Détermination de la résistance à la traversée de l'eau

Enrobage	H1	H2	H3	F1	F2
Charge hydraulique (mm)	1	1	1	35	1
Surface de passage/surface totale (%)	100	100	100	10	100

Filtration en cuve de sable

Seuls les produits H1, H2, F1* et F2 ont été testés. Les hydrogrammes obtenus avec ces produits et avec un drain nu sont présentés dans la figure 4.

Les débits de tous les drains enrobés sont toujours au moins égaux à ceux obtenus pour le drain nu et aucune baisse significative n'est observée en cours d'essai, les débits se stabilisent rapidement.

Aucune sortie de particules n'a été observée pendant l'essai pour les 4 produits testés, et, en fin d'essai, la lumière des drains enrobés est propre alors que celle du drain nu est complètement obstruée.

Après essai, le taux de contamination des produits d'enrobage a été mesuré (tableau IV). Ce taux est toujours faible: moins de 40% par rapport à la masse du produit propre.

Tableau IV. Taux de contamination†

Enrobage	H1	H2	F1*	F2
Taux de contamination (%)	38	29	32	25

†en % par rapport à la masse du produit propre.

Les quatre produits sont adaptés à la filtration des sols sableux uniformes.

Essai en perméamètre

Les tests effectués sont récapitulés dans le tableau V. Les produits H1 et H2 ont été testés avec des sols plus limoneux en raison de la nature des sols à drainer en Hongrie.

Les aptitudes de filtration des produits d'enrobage. Le tableau VI présente les valeurs du gradient hydraulique correspondant à la sortie de particules à travers le couvercle perforé du perméamètre pour les différentes combinaisons sol + enrobage. Ces valeurs sont à comparer avec les valeurs i_c du tableau I.

Tableau V. Les tests effectués en perméamètres

Enrobages	Sols		
	Arrou	Marais-Vernier	Champlan
H1	Oui	Oui	-
H2	Oui	Oui	-
H3	-	Oui	-
F1*	-	Oui	Oui
F2	-	Oui	Oui

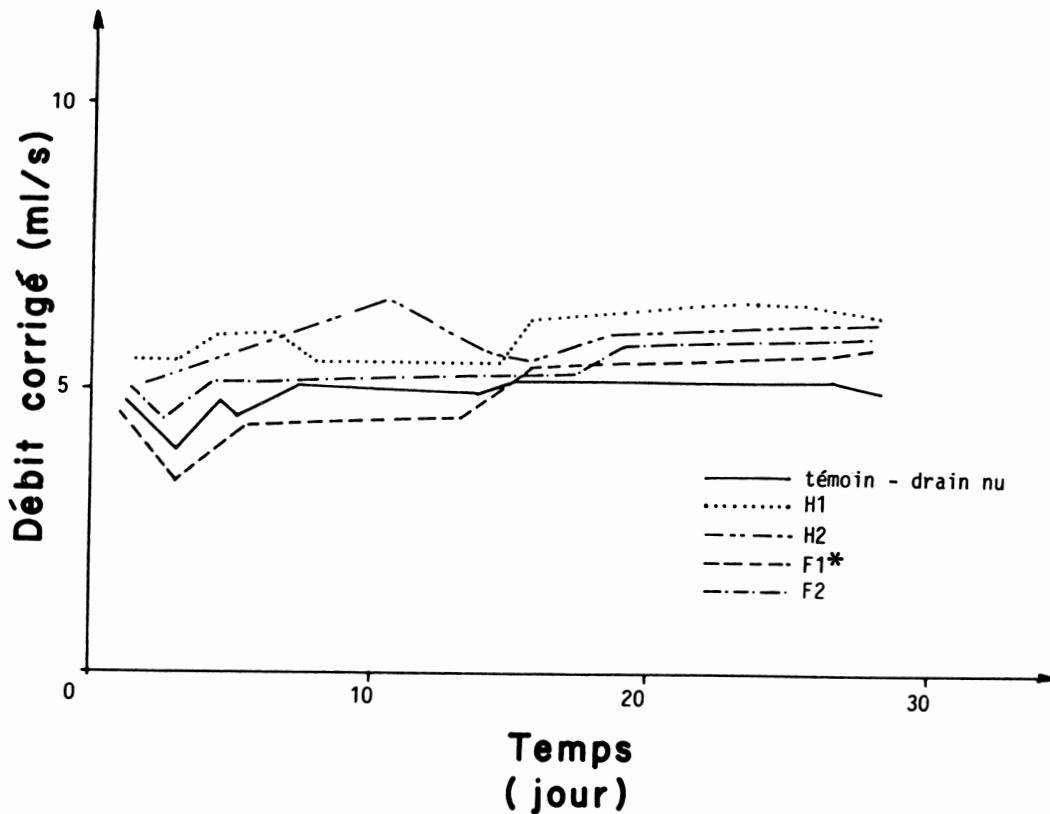


Fig. 4. Hydrogrammes de filtration en cuve de sable.

Tableau VI. Valeurs maximales atteintes par le gradient hydraulique au cours d'un test de laboratoire

Enrobages	Sols		
	Arrou	Marais-Vernier	Champlan
H1	> 3	1.5	-
H2	> 3	> 3	-
H3	-	1.5	-
F1*	-	> 3	> 3
F2	-	> 3	> 3

Les produits, F1* et F2 assurent une bonne filtration du sable de Champlan, le gradient hydraulique dépasse la valeur 3 sans aucune sortie de particule constatée. Dans le cas du sol du Marais-Vernier, trois produits H2, F1* et F2 présentent une action satisfaisante alors que H1 et H3 laissent passer les particules de sol dès que le gradient hydraulique critique est atteint. Les résultats obtenus avec le limon d'Arrou confirment avant tout la stabilité de ce sol, déjà constatée sur le terrain.

Tableau VII. Taux de contamination† des enrobages à l'issue des tests en perméamètres

Enrobages	Sols		
	Arrou	Marais-Vernier	Champlan
H1	35%	15%	-
H2	60%	25%	-
H3	-	120%	-
F1*	-	45%	25%
F2	-	47%	28%

†En % par rapport à la masse du produit propre.

Risques de colmatage des produits d'enrobage. Les problèmes de colmatage de l'enrobage ou de diminution importante de la perméabilité à l'interface sol/enrobage sont décelés de deux façons dans un test en perméamètre: (1) en analysant de la contamination du produit d'enrobage au terme de l'essai (tableau VII); (2) en observant l'évolution de la perte de charge au niveau de l'interface sol/enrobage.

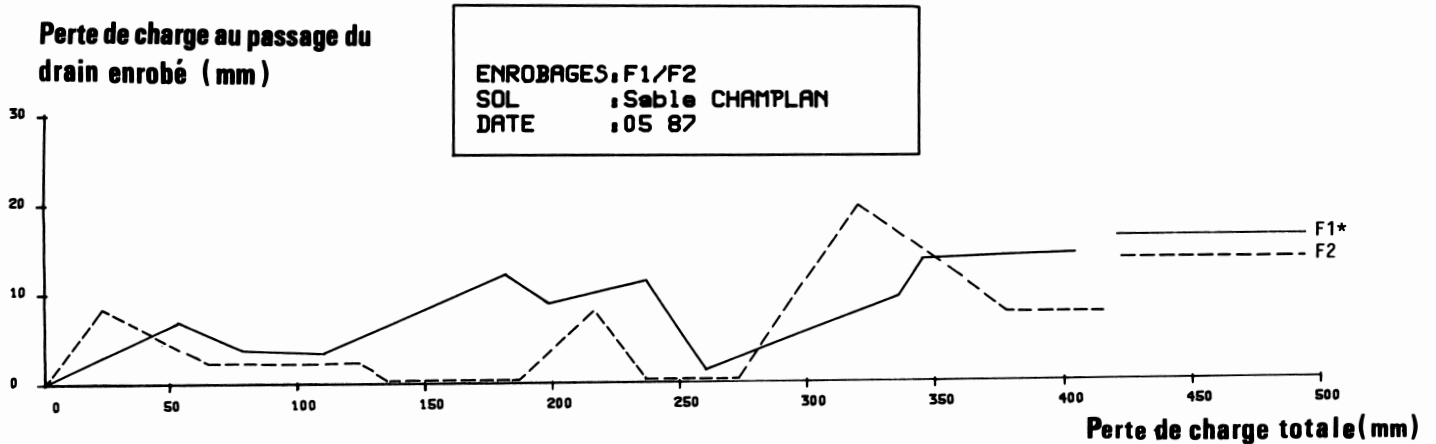


Fig. 5. Evolution de la perte de charge au passage du drain.

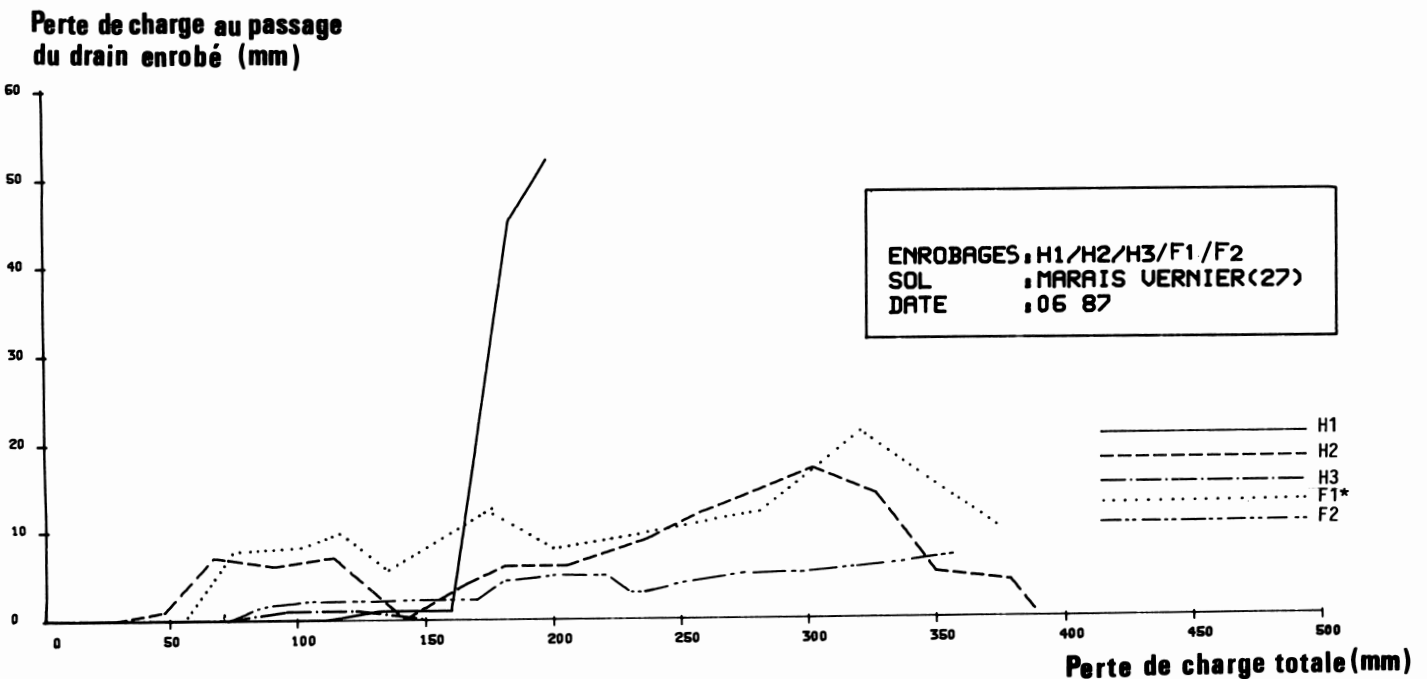


Fig. 6. Evolution de la perte de charge au passage du drain.

Les produits F1* et F2 ne sont pas colmatés par le sable de Champlan; le taux de contamination des produits en fin d'essai est faible et la perte de charge à l'interface sol/enrobage reste peu élevée jusqu'à la fin de l'essai (Figure 5).

Les produits les plus adaptés au sol du Marais-Vernier sont H2 et F2; taux de contamination moyen et pas d'augmentation significative de la perte de charge en fin d'essai (Figure 6). Le produit F1* montre une augmentation de la perte de charge à l'interface sol/enrobage en cours d'essai.

H1 et H3 se comportent de façon très différente avec le sol du Marais-Vernier. Pour H1, le taux de contamination est faible mais la perte de charge de sortie augmente beaucoup avant la rupture du massif de sol, alors que pour H3 la perte de charge est toujours nulle et le taux de contamination élevé.

Choix des produits. Les produits H2 et F2 paraissent adaptés à la prévention du colmatage minéral dans les sols sableux ou sablolimoneux: ils assurent une bonne filtration des particules de sol et ne semblent pas devoir se colmater. Le produit F1 se comporte de façon très satisfaisante dans le matériau sableux mais risque de générer des colmatages à l'interface sol/drain avec un matériau plus fin. Les produits H1 et H3 n'assurent pas la fonction de filtration dans le sol sablolimoneux avec lequel ils ont été testés. H3 est trop "ouvert"; il laisse passer sans problème toutes les particules du sol. Par contre, le produit H1, qui possède une ouverture de filtration réduite, ($< 90\mu\text{m}$) a tendance à se colmater, jusqu'à ce que l'augmentation locale du gradient hydraulique, résultant de ce colmatage provoque la rupture du massif de sol avec passage de particules.

Dans le cas des sables, une faible ouverture du produit reste la meilleure garantie d'une bonne filtration. Pour les autres types de sol c'est plutôt dans la "structure" du produit qu'il faudrait chercher l'origine de son efficacité relative.

CONCLUSION

Seuls les produits F2 et H2 semblent bien adaptés à la prévention du colmatage minéral dans les sols sablolimoneux. En ce qui concerne les sols plus limoneux, un test est à refaire avec un limon instable car le limon d'Arrou utilisé dans cet essai ne présente pas de risques de colmatage minéral des drains et n'est donc pas discriminant.

Les produits F1 et H1 sont à réserver pour les sols sableux car leur emploi présente des risques dans les matériaux plus fins.

Le produit H3 constitué de laine de verre ne peut dans aucun cas servir à la prévention du colmatage minéral. Son emploi est à réserver pour l'amélioration des conditions hydrauliques de l'interface sol/drain dans les sols lourds.

Les tests de laboratoire présentés dans cette étude semblent suffisamment fiables et discriminants pour permettre la caractérisation de tous les produits d'enrobage. Il est toutefois nécessaire

de bien choisir les sols utilisés pour le test en perméamètre afin de pouvoir extrapoler les résultats aux sols à drainer. Dans le cas particulier, d'études réalisées juste avant un important chantier de drainage, il est recommandé d'utiliser en laboratoire un sol issu du champs à drainer. On est alors sûr de choisir l'enrobage réellement adapté. Toutefois, ce type d'essai n'étant que très rarement possible c'est pourquoi les nouveaux produits d'enrobage sont testés "a priori" avec des sols types.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1983a. Norme NF G38-012. Essais des géotextiles. Détermination de l'épaisseur. AFNOR, Tour Europe, Cédex 7, 92080. Paris la Defense, France.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1983b. Norme NF G38-013. Essais des géotextiles. Détermination de la masse surfacique. AFNOR, Tour Europe, Cédex 7, 92080. Paris la Defense, France.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1983c. Norme NF G38-016. Essais des géotextiles. Mesure de la permittivité hydraulique. AFNOR, Tour Europe, Cédex 7, 92080. Paris la Defense, France.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1983d. Norme NF G38-017. Essais des géotextiles. Porométrie: détermination de l'ouverture de filtration. AFNOR, Tour Europe, Cédex 7, 92080. Paris la Defense, France.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. 1988. Norme NF G38-020 (en cours). Essais des géotextiles. Détermination de la résistance à la traversée de l'eau. AFNOR, Tour Europe, Cédex 7, 92080. Paris la Defense, France.
- CESTRE, T. 1984. Mouillabilité des produits d'enrobage de drains agricoles, premiers résultats obtenus par essais comparatifs. Document CEMAGREF, B.P. 121, 92164 Antony Cédex, France, 23 pp.
- DIERICKX, W. et H. YUNCUOGLU. 1982. Factors affecting the performance of drainage envelope materials in structural instable soils. *Agri. Water Man.* 5(3): 215-225.
- DIERICKX, W., C. LENNOX-GRATIN, et L. C. P. M. STUYT. 1987. Joint european research into land drainage envelopes. Drainage design and management. 5ème séminaire national. Am. Soc. Agric. Engrs. St. Joseph, MI. pp. 406-415.
- LENNOZ-GRATIN, C. 1987. The use of geotextiles as drain envelopes in France in connection with mineral clogging risks. *Geotext. Geomembr.* 5(2): 71-89.
- LENNOZ-GRATIN, C., B. LESAFFRE et R. MICHEL. 1987. Pérennité des réseaux de drainage et matériaux utilisés. *C.R. Acad. Agric. France* 73(4): 101-116.
- LENNOZ-GRATIN, C. et K. ZAIDI. 1987. Hydraulique au voisinage du drain. Etudes du CEMAGREF, B.p. 121, 92164 Antony Cédex, France 2: 1-139.
- STUYT, L. et T. CESTRE. 1986. Common lines in research on drainage envelopes in France and in the Netherlands. EEC Workshop on Agr. Water Man. A. A. Balkema, Arnhem, les Pays Bas pp. 163-173.
- WILLARDSON, L. 1979. Synthetic drain envelope materials. *Proc. Int. Drainage Workshop. ILRI Pub.* 25, pp. 297-305. Wageningen, Les Pays Bas.