

OPTIMISATION DE LA CONCEPTION D'UNE COUVERTURE D'INSTALLATION DE STOCKAGE DE DÉCHETS NON DANGEREUX (ISDND) À PARTIR D'EXPÉRIMENTATIONS SIMPLES

LANDFILLS COVER DESIGN OPTIMISATION BASED ON SIMPLE EXPERIMENTATIONS

Patrick GARCIN, Dominique ALLAGNAT, Yves GUERPILLON
Egis Géotechnique, Seyssins, France

RÉSUMÉ - Les principes de fonctionnement des géosynthétiques sur pente de couverture d'ISD ND (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux) sont rappelés, puis les expérimentations et essais sur sol et géosynthétiques, et les planches d'essais sur géosynthétiques sont décrites. Enfin, les adaptations de la conception initiale sont données, basées sur les résultats des essais. Deux chantiers illustrent la démarche.

Mots clés : expérimentation, instrumentation, couverture ISD ND, géosynthétiques

ABSTRACT - Geosynthetic behaviour and design on municipal landfill cover are reviewed, then the tests on soil and geosynthetics and the site experimentations are described. Finally, the initial design optimisation is presented, based on the test and experimentation results. Two construction sites illustrate this approach.

Keywords: experimentation, monitoring, landfill cover, geosynthetics

1. Principes

Afin d'optimiser la conception initiale de la couverture de plusieurs ISD ND, des expérimentations et essais sur matériaux ont été réalisés.

Le fonctionnement du Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane (DEG) est le suivant : une nappe d'accrochage est posée sur le DEG. Elle permet de reprendre le poids du sol de couverture et évite le glissement plan à l'interface géomembrane – sol de couverture. Une partie des efforts dus au poids du sol de couverture sont transférés par frottement du haut vers le bas, des géosynthétiques vers le massif des déchets. La résistance à la traction du géosynthétique de renforcement est calculée à partir du cisaillement résiduel après transfert des charges par frottement.

Le sol de couverture doit présenter des caractéristiques adaptées pour éviter son érosion d'une part et son glissement sur le talus d'autre part. Les caractéristiques de frottement des géosynthétiques utilisées dans les calculs et donc la conception sont souvent tirées des fiches techniques fournies par les producteurs. Ces valeurs peuvent être des plages. Il est donc intéressant de caractériser les angles de frottement de l'ensemble des interfaces géosynthétiques au moyen d'essais de traction - frottement, réalisés avec les géosynthétiques envisagés, sur site. La conception peut ensuite être optimisée, en fonction également des matériaux de sol de couverture disponibles. Des planches d'essai in situ complètent la validation des choix des géosynthétiques.

Ces différentes phases sont décrites, et l'application à deux ISD récemment construites en France illustre la démarche.

2. Constitution-type du DEG

Les matériaux constitutifs du DEG et les fonctions des géosynthétiques sur pentes sont les suivants :

- matériaux pour végétalisation de la couverture,
- géosynthétique accroche terre,
- géocomposite de drainage à 1 filtre supérieur (ou 2 filtres),
- géomembrane PEHD 1,5 mm lisse ou structurée 1 ou 2 faces,
- géotextile de protection,
- sol de la couche support,
- déchets.

3. Essais de traction – frottement

3.1. Procédure d'essai

Pour évaluer les angles de frottement entre les différents géosynthétiques et les matériaux, des essais de traction-frottement ont été réalisés in situ (Figures 1 à 3).

L'essai consiste à exercer un effort de traction sur une bande de géosynthétique chargée de manière uniforme, en poursuivant l'essai jusqu'au glissement du géosynthétique. La charge verticale N est assurée par des blocs de béton. La traction est effectuée en fixant le géosynthétique à un portique constitué de deux U, avec un boulonnage traversant. Pour assurer une bonne répartition de la contrainte verticale, il a été disposé sur le géosynthétique à tester une couche de sable réglée. Les déplacements sont enregistrés par des capteurs et l'effort F est mesuré par un dynamomètre. Connaissant le poids des matériaux chargeant le géotextile, nous pouvons estimer aisément l'angle de frottement $\varphi_{\text{gsq/sol}}$ entre le géosynthétique et le sol :

$$\tan \varphi_{\text{gsq/sol}} = \frac{F}{N}.$$



Figure 1.
Essai de traction – frottement.
Vue du portique de traction



Figure 2.
Essai de traction – frottement.
Vue d'ensemble des blocs de chargement.

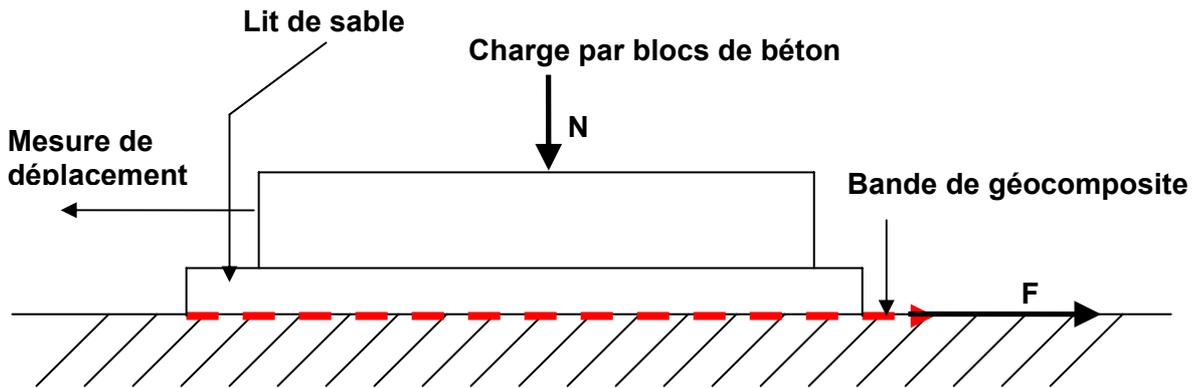


Figure 3. Schéma mécanique des essais de traction – frottement.

Les essais mettent en œuvre le matériel suivant :

- portiques de traction;
- traction réalisée par le bras d'une pelle mécanique hydraulique ;
- capteurs de force
- un capteur de déplacement

Le respect strict de l'horizontalité de l'essai est contrôlé, afin de mesurer l'effort tangentiel effectif.

3.2. Résultats des essais et commentaires

Les angles de frottement retenus après analyse critique des essais sont donnés dans le tableau I.

Tableau I. Valeurs des angles de frottement déduites des essais

Type de géosynthétique et interface testée	ϕ (degrés)
Géotextile de protection – sol support	38
Géotextile de protection – géomembrane PEHD lisse	22
Géotextile de protection – géomembrane PEHD texturée 2 faces	38
Géoespaceur sans filtre – géomembrane PEHD lisse	27
Géoespaceur sans filtre – géomembrane PEHD texturée 2 faces	38
Géoconteneur accroche terre tissé (2 résistances testées 80 et 200 kN/m) – géoespaceur	17 et 21
Géoconteneur accroche terre tissé 200 kN/m - géomembrane PEHD texturée 2 faces	27
Géotextile de renforcement 100 kN/m Polyester – sol de couverture	32
Géosynthétique accroche terre 100 kN/m – grave roulée 0/100 mm	36

Les valeurs obtenues sont étroitement liées aux caractéristiques des matériaux testés (matériau graveleux de reprofilage, terre végétale) utilisés sur le chantier. Certains essais ont été doublés ou triplés afin de fiabiliser les résultats. Les essais montrent une bonne fiabilité et conduisent à des valeurs relativement élevées, avec un maximum obtenu pour l'accroche terre ($\phi' = 36$ degrés). Des valeurs plus élevées encore sont obtenues avec la géomembrane texturée : un frottement particulièrement élevé a été obtenu entre un géocomposite de drainage spécifique et une géomembrane texturée 2 faces. Ces résultats ne sont pas transposables à des matériaux différents de ceux utilisés pour les essais sur site.

4. Planches d'essai pour validation des efforts transmis par les engins

4.1. Procédure

Les planches d'essai ont été réalisées sur les talus les plus défavorable du site, avec la mise en place de portiques de traction permettant l'enregistrement de l'effort de traction sur une bande de géosynthétique de 2 m de large, comme indiqué sur les figures 4 et 5 et illustré par les photos des figures 1, 2, 6 et 7.

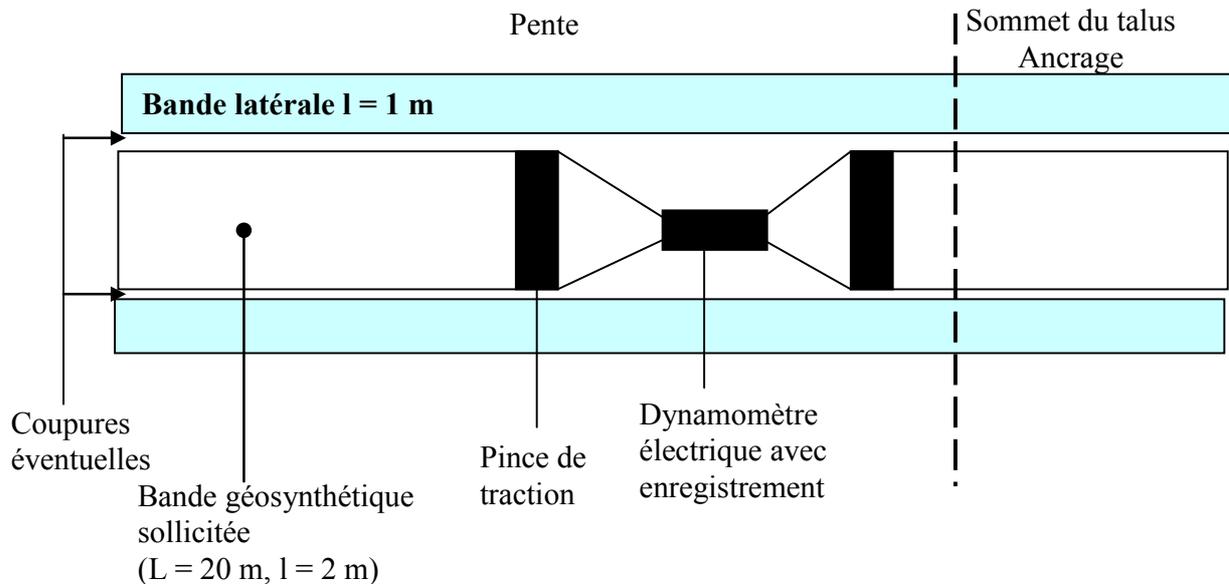


Figure 4. Vue en plan des planches d'essais.

Les différentes interfaces sont testées en fixant les portiques sur les différents géosynthétiques, comme indiqué sur le schéma de la figure 5.

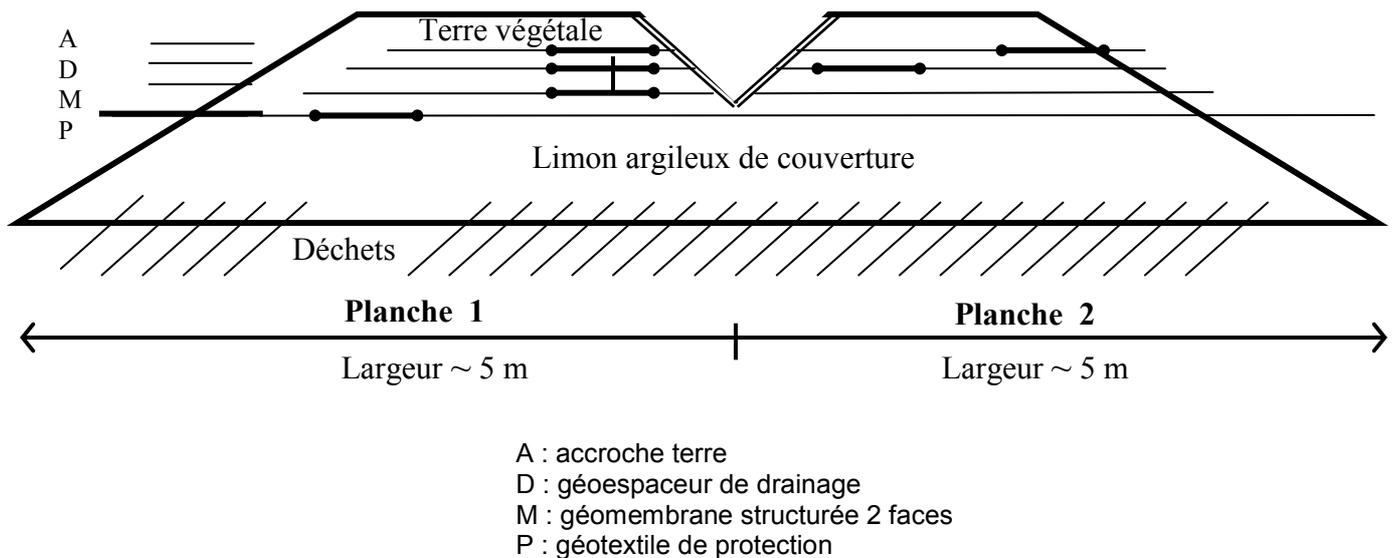


Figure 5. Coupe des planches d'essai

4.2. Déroulement et résultats des planches d'essai

La réalisation des planches d'essai a pour but principal de valider les efforts dans les géosynthétiques utilisés pour la couverture, lors de la surcharge d'un engin d'exploitation.

Après installation du géotextile de protection, la géomembrane PEHD a été posée ainsi que le géoespaceur drainant et le géocomposite accroche-terre. L'ancrage en partie haute du talus a été réalisé par l'intermédiaire d'une tranchée d'ancrage (largeur = 1 m et profondeur 1 m). Enfin le DEG est recouvert par une épaisseur de 30 cm d'environ de terre végétale.

Au cours des essais, les efforts dans les différents géosynthétiques sont mesurés sous sollicitations par :

- mise en œuvre de la terre végétale ;
- évolution d'une mini pelle mécanique à chenille de 3 tonnes ;
- évolution d'une pelle hydraulique de 30 tonnes (photo de la figure 8) ou d'un bouteur de 23 tonnes.



Figure 6.
Planche d'essai n°1.
Mise en place du capteur de force
sur manille reliée au portique



Figure 7.
Planche d'essai n°2.
Mise en place des portiques.



Figure 8.
Planche d'essai n°1.
Circulation de la pelle hydraulique.



Figure 9.
Mise en œuvre d'une nappe
d'accrochage sur l'un des sites.

Les planches d'essais réalisées sur le talus le plus raide du site (pente de 20 degrés, environ) ont confirmé les résultats des essais de traction (coefficient de frottement aux interfaces). Les géocomposites sont finalement relativement peu sollicités sur la pente de 20 degrés. En outre, l'influence d'un engin de terrassement reste faible.

4.3. Essais de laboratoire sur terre végétale

Des essais de caractérisation (teneur en eau w , valeur de bleu V_{Bs} , indice de plasticité I_p) ont été réalisés sur la terre végétale, ainsi que des essais de cisaillement à la petite boîte 100 mm, sur la fraction inférieure à 10 mm. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau II.

Tableau II. Propriétés de la terre végétale

	Teneur en eau w (%)	Valeur de bleu V_{Bs}	Indice de plasticité I_p	Angle de frottement ϕ' (deg) Petite boîte	Cohésion c' (kPa)
Valeurs moyennes pour 3 échantillons	12	2	12	30	2

Les caractéristiques obtenues dans la terre végétale sont celles d'un limon peu argileux.

5. Adaptation de la conception et conclusion

5.1. Adaptation de la terre végétale. Essais à la grande boîte de cisaillement 300 mm

Compte tenu des pentes généralement proches de 1V/2H (26,6 degrés), les caractéristiques de frottement obtenues dans la terre végétale ne sont pas assez élevées. Il a donc été proposé d'élever les caractéristiques de frottement en mélangeant la terre végétale avec une grave, dans une proportion déterminée par des essais. Des essais ont été réalisés avec une boîte de cisaillement de grandes dimensions 300 mm permettant une bonne représentativité des échantillons ($d_{max} = 40$ mm).

Les résultats sont les suivants :

- | | | | |
|---|-----|-----|-----|
| - Pourcentage massique de matériaux granulaires dans le mélange | 30% | 40% | 50% |
| - Angle de frottement interne ϕ (degrés) | 32 | 35 | 37 |

Ces résultats sont donnés en négligeant la cohésion.

Un mélange avec 40 % en masse de matériaux granulaires a été retenu. Ce sol de couverture a été mis en œuvre sur l'ensemble des sites.

5.2. Adaptation des géosynthétiques

Les frottements obtenus avec les nappes d'accrochage sont compatibles avec les pentes de talus maximales présentes sur les sites. Pour les pentes les plus raides et présentant les talus les plus longs, le recours à des nappes d'accroche terre, associée à des géosynthétiques de renforcement, est nécessaire. Les valeurs de frottement retenues ont été injectées dans les calculs du géosynthétique renforcement / nappe d'accrochage.

Les interfaces les plus défavorables sont :

- géotextile de protection inférieur – géomembrane lisse PEHD
- géoespaceur classique – géomembrane lisse PEHD

Les nappes d'accrochage ont été utilisées sur les pentes de talus maximales, associée avec une géomembrane lisse. Un géocomposite de drainage spécifique a été utilisé sur les autres pentes, associés à une géomembrane texturée 2 faces.

6. Conclusion

Les essais de frottement traction ont permis d'optimiser la conception des DEG, en proposant d'utiliser chaque solution en fonction des pentes et longueur de talus, par zone significative de réalisation en phase chantier. Les optimisations concernent notamment les deux DEG suivants :

- nappes d'accrochage + géocomposite de drainage 1 filtre supérieur + géomembrane lisse ;
- géoespaceur haute friction 1 filtre supérieur + géomembrane lisse .

Toutes les phases de conception ont été faites en concertation avec l'entreprise de pose, SADE CGTH, que nous remercions vivement pour l'excellente collaboration au cours des essais et des calculs.

Les planches d'essai, y compris avec circulation d'engins sur le DEG (protégé), ont validé la conception in fine.

7. Références bibliographiques

AFNOR (2005). Norme EN ISO 12957-2 : Géosynthétiques - Détermination des caractéristiques de frottement - Partie 2 : Essai sur plan incliné».

AFNOR (2007). Norme EN ISO 12957-1 : Géosynthétiques - Détermination des caractéristiques de frottement - Partie 1 : Essai de cisaillement direct.

AFNOR (2010). Norme XP G 38-067 : Stabilisation d'une couche de sol mince sur pente - Justification du dimensionnement et éléments de conception.

