

ÉTUDE DES CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE ET DE STABILITÉ D'UNE COUVERTURE D'ISDD PAR FORTES PENTES

STUDY OF THE SET UP AND STABILITY CONDITIONS FOR A LANDFILL COVER WITH STEEP SLOPES

Anthony CHEREL¹, Denis VALANCE¹, Médéric LOMBARD²

¹ BURGEAP, Saint-Herblain, France

² EMTA, Limay, France

RÉSUMÉ – Dans le cadre des travaux de couverture sur une Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD) présentant de fortes pentes, plusieurs essais préalables ont été réalisés pour déterminer le comportement des géosynthétiques ainsi que les conditions de mise en œuvre et de stabilité des différentes couches constituant la couverture. Ces essais ont permis d'identifier les interfaces critiques sujettes aux risques de glissement et déterminer les angles limites à partir desquels la stabilité générale ou un bon compactage des matériaux ne sont plus garantis.

Mots-clés : ISD, couverture, géosynthétiques, pentes, stabilité

ABSTRACT – Within the cover works of a steep slopes landfill, several experimental tests were carried out in order to determine the performance of geosynthetics as well as the set up and stability conditions of the various layers constituting the cover. These tests allowed to identify the critical interfaces presenting risks of sliding and to determine the limit angles from which the general stability or a good compaction of materials are not any more guaranteed.

Keywords: landfills, cover, geosynthetics, slopes, stability

1. Introduction

La société SOLITOP, filiale de EMTA (pôle stockage Classe 1), elle-même filiale de SARP Industries (groupe VEOLIA PROPLETE), assure l'exploitation d'un site comprenant une unité de stabilisation et une Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD – ex CSD de classe I) sur la commune de Saint-Cyr-des-Gats en Vendée (85).

L'ISDD est composée de casiers semi-enterrés d'une superficie totale d'environ 5 ha dont le volume utile de stockage peut atteindre 635 000 m³. La forme du dôme de déchets hors sol a été prévue initialement avec des pentes importantes pouvant aller jusqu'à 16,7° (30%) au maximum.

Dans le cadre de la première tranche de travaux de couverture de 4 alvéoles de stockage, il a été décidé de procéder à plusieurs planches d'essais en vue de préciser la méthodologie de mise en œuvre des différentes couches constitutives de la couverture dans une configuration de fortes pentes, ainsi que les conditions de stabilité de cette dernière pour optimiser les phases de réaménagement ultérieures.

2. Contexte réglementaire

Le cadre général régissant l'activité de stockage de déchets dangereux est défini par l'arrêté ministériel du 30 décembre 2002, qui a servi de base technique et réglementaire lors de la constitution du Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DDAE) le site de Saint-Cyr-des-Gats.

Sur la base des éléments figurant dans ce DDAE, un arrêté préfectoral autorisant l'exploitation du site définit précisément les conditions d'aménagement, d'exploitation et de réhabilitation de l'ISDD.

Notamment, la couverture à mettre en place sur les alvéoles en fin de vie doit être composée d'un ensemble multicouches de 1,8 m d'épaisseur constitué de haut en bas par :

- 0,3 m de terre végétale,
- un géotextile de filtration,
- 0,5 m de matériaux drainant,
- un géotextile antipoinçonnant,
- une géomembrane PEHD de 2 mm d'épaisseur,
- 1m d'argile de perméabilité inférieure ou égale à 1.10⁻⁹ m/s,
- un géocomposite de drainage.

3. Définition d'une méthodologie d'essais répondant à la problématique et aux enjeux

3.1 Présentation des intervenants

La réalisation des travaux de couverture et la réflexion autour des conditions de mise en œuvre et de stabilité de cette dernière a impliqué les intervenants suivants :

- Maître d'Ouvrage : SOLITOP
- Assistant au Maître d'Ouvrage : EMTA (SARP Industries)
- Assistant au Maître d'Ouvrage : BURGEAP
- Groupement d'entreprises : VALERIAN (terrassements) / GRS VALTECH (étanchéité)
- Assistant technique du groupement sur les essais préalables : EGIS Géotechnique

3.2 Problématique et enjeux

Sur la base de la couverture réglementaire à mettre en œuvre, il a été demandé aux entreprises de réaliser des essais préalables in situ, dans les conditions réelles de mise en œuvre, pour permettre de :

- justifier le comportement des géosynthétiques prévus par le groupement,
- préciser les conditions d'ancrage des géosynthétiques sur le toit du dôme,
- vérifier la stabilité au glissement de la couverture,
- définir les conditions de mise en œuvre de l'horizon argileux de faible perméabilité.

Par ailleurs, la géométrie du dôme de déchets n'étant pas homogène et donc variable d'une tranche de travaux à l'autre (la pente maximale des 4 premières alvéoles à couvrir est voisine de 11,4 degrés tandis que les parties les plus raides du dôme prévues à 16,7 degrés), il était nécessaire que les essais soient réalisés selon différentes configurations de pentes, jusqu'à définir le maximum admissible.

3.3 Descriptif de la couverture prévue

La couverture proposée par le groupement (figure 1) est constituée de haut en bas par :

- 0,3 m de terre végétale du site,
- un géotextile de séparation à fonction accroche-terre HATE SFP 375 g/m² de HUESKER,
- 0,5 m de matériaux drainant de granulométrie 16/31,5,
- un géotextile antipoinçonnant GPR 500 g/m² de SICAM,
- une géomembrane PEHD 2 mm structurée 2 faces MICROSPIKE MST/MSB de AGRU,
- 1m de mélange argileux traité à 3% de bentonite ($k \leq 1.10^{-9}$ m/s),
- un géocomposite de drainage POZIDRAIN 7s250D/NW8 de HUESKER.

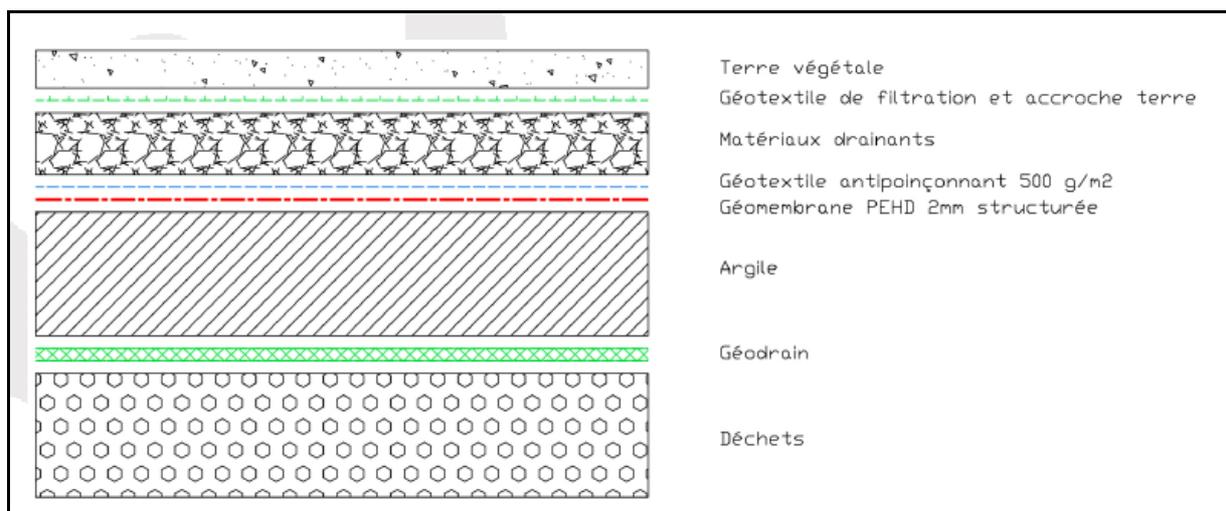


Figure 1. Coupe type de la couverture

3.4 Définition de la méthodologie de réalisation des essais préalables

Au vu de ces éléments, il a été décidé de mener plusieurs types d'essais préalables en parallèle pour pouvoir répondre à l'ensemble de la problématique. Il s'agissait de réaliser :

- des *essais de traction sur géosynthétiques* in situ afin d'évaluer les angles de frottement aux différentes interfaces et fixer les hypothèses pour un calcul de stabilité de la couverture,
- d'une *planche d'essais sur géosynthétiques* réalisée sur la pente du dôme en vue de mesurer les efforts de traction subis par les différents géosynthétiques (hors géodrain), en étudiant notamment l'influence de la circulation des engins de chantier et de la saturation de l'horizon de terre végétale,
- des *calculs de stabilité* selon plusieurs configurations de pentes sur l'interface la plus défavorable, et sur la base des données obtenues lors des essais in situ, pour déterminer la pente maximale admissible,
- des *planches d'essais de compactage des argiles* selon plusieurs configurations de pentes pour tester les conditions d'évolution des engins, l'efficacité du compactage et le comportement du géodrain sous-jacent.

4. Phase de réalisation des essais préalables

4.1 Essais de traction sur géosynthétiques

L'objectif de ces essais était d'évaluer les coefficients de frottement aux interfaces entre les différents géosynthétiques et les matériaux constitutifs de la couverture.

Le principe de l'essai est décrit au §3 « Essais de traction-frottement » de l'article 52 « Optimisation de la conception d'une couverture d'Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) à partir d'expérimentations simples ».

Le lestage du géosynthétique a été réalisé au moyen de 4 blocs de béton d'un poids total de 4,2 t disposés sur un lit de sable de 10 cm d'épaisseur permettant d'assurer une bonne répartition de la contrainte verticale, tandis que des capteurs permettaient la mesure de l'évolution de l'effort de traction et du déplacement du géosynthétique (figure 2).

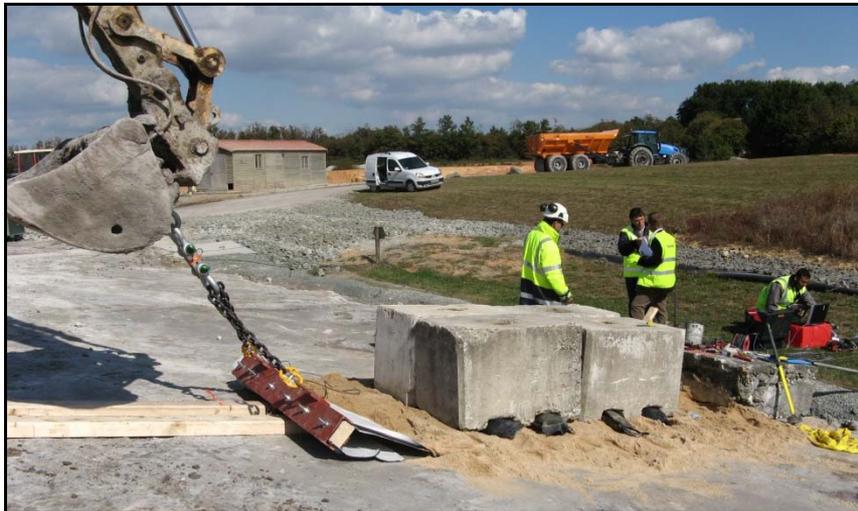


Figure 2. Essai de traction

Les essais, menés sur 3 jours, ont permis d'obtenir des valeurs d'angles de frottement relativement élevées, sauf pour l'interface argile/géomembrane PEHD avec une valeur limite à 20 degrés (Tableau I).

Tableau I. Résultats des essais de traction

Interface testée	Angle de frottement retenu
1) Déchets secs / géocomposite de drainage	33 degrés
2) Déchets humides / géocomposite de drainage	30 degrés
3) Géocomposite de drainage / argiles traitées	27 degrés
4) Argiles traitées / géomembrane PEHD	20 degrés
5) Géomembrane PEHD / géotextile de protection	25 degrés
6) Géotextile de protection / matériau drainant	30 degrés
7) Matériau drainant / géotextile de séparation	30 degrés
8) Géotextile de séparation / terre végétale	35 degrés

4.2 Planche d'essais sur géosynthétiques

La réalisation de cette planche d'essais avait pour but principal de déterminer le comportement des géosynthétiques utilisés pour la couverture lors de la surcharge d'un engin de chantier et d'évaluer l'influence de la saturation en eau de la couche supérieure de terre végétale.

Son principe consiste à mesurer les efforts de traction dans des portiques installés sur chacun des géosynthétiques (hors géocomposite de drainage trop profond), sous différentes sollicitations. La procédure est détaillée au §4 « Planches d'essai pour validation des efforts transmis par engins » de l'article 52 « Optimisation de la conception d'une couverture d'Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) à partir d'expérimentations simples ».

La planche d'essai a été divisée en 2 parties où la couverture a été entièrement reconstituée et les portiques installés au niveau des géosynthétiques à contrôler (figure 3). L'ancrage a été réalisé en partie sommitale du dôme par l'intermédiaire d'une « aire d'ancrage » de 8 m de longueur x 6 m de largeur où les géosynthétiques étaient posés sur une couche de 0,2 m d'argile compactée et chargés par 0,8 m d'argile compactée.



Figure 3. Portique en configuration de mesure

Au cours des essais, les efforts dans les différents géosynthétiques ont été mesurés sous sollicitation par :

- évolution d'une pelle mécanique à chenille de 22 t réalisant des translations montée/descente et effectuant des freinages brutaux en descente,
- arrosage de la couche de terre végétale jusqu'à saturation complète sur 20 cm (une saturation parfaite n'étant pas possible ici compte tenu des effets du ruissellement sur ces pentes).

Les résultats obtenus (tableau II) montrent que les efforts générés par ces sollicitations sont faibles. Ceux-ci sont en outre cohérents avec les valeurs obtenues lors des essais de traction qui démontraient la stabilité du complexe sur des pentes inférieures à 20 degrés.

Tableau II. Résultats de la planche d'essais sur géosynthétiques

Partie A		
Sollicitation	Effort en kN sur géomembrane PEHD	Effort en kN sur géotextile de protection
Début des essais hors sollicitation mécanique	4,8	1,4
Effort maximum avec évolution d'une pelle à chenille	4,8	1,5
Fin des essais hors sollicitation mécanique	4,4	1,3
Partie B		
Sollicitation	Effort en kN sur géotextile de protection	Effort en kN sur géotextile de filtration
Arrosage de la terre végétale	3,3 à 3,7	≈ 0
Evolution d'une pelle mécanique sur terre végétale humide	3,4	≈ 0,1 maxi

À l'issue de cette phase, les dispositions liées aux conditions d'ancrage des géosynthétiques ont été étudiées, en considérant la formule suivante :

$$F = \tan \Phi / \tan \beta$$

où F est le coefficient de sécurité
 Φ est l'angle de frottement de l'interface argiles/géomembrane (soit 20 degrés)
 β est l'angle de la pente.

Il a ainsi été calculé que, pour une valeur de coefficient $F_{\text{géosynthétique}}/F_{\text{sol}}$ de 1,25 classiquement utilisée, les efforts étaient intégralement transmis par frottement sur le sol support pour la pente du projet 12 degrés et jusqu'à des pentes de l'ordre de 16 degrés, et qu'un ancrage sur le toit du dôme (penté à 5 degré) n'était pas nécessaire. Au-delà, la couverture ne sera plus autostable et un ancrage correctement dimensionné sera nécessaire.

4.3 Calculs de stabilité

À partir des informations obtenues lors des essais préalables sur les géosynthétiques et de la connaissance des matériaux du site, plusieurs calculs de stabilité du dôme de couverture ont été réalisés dans le but de valider les travaux de la 1^{ère} tranche de couverture d'une part, et de déterminer la pente maximale autorisée d'autre part.

À partir des hypothèses données dans le tableau III, plusieurs configurations ont été modélisées et testées à l'aide du logiciel TALREN 97 :

- stabilité générale du complexe de couverture avec une pente de 12 degrés (cas de la tranche 1),
- glissement plan à l'interface géodrain/argiles avec une pente de 15 degrés,
- glissement plan à l'interface argiles/géomembrane avec des pentes de 15, 20 et 25 degrés,
- glissement plan à l'interface géotextile inférieur/géomembrane avec des pentes de 20 et 25 degrés.

Tableau III. Hypothèses prises en compte pour les calculs de stabilité

Nature des matériaux	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (degrés)
Déchets stabilisés	15	10	25
Géodrain	16	0	27
Argiles traitées à la bentonite	18	17	26
Géomembrane PEHD	20	0	20
Géotextile de protection	20	0	25
Matériaux drainants	20	0	35
Terre végétale	18	7	25

Ces calculs ont confirmé que la stabilité générale de la couverture était assurée ($\Gamma \geq 1,5$) jusqu'à une pente de 15 degrés, avec un plan de glissement préférentiel à l'interface argiles/géomembrane (figure 4). Au-delà, pour des pentes comprises entre 15 et 20 degrés, une stabilité à plus ou moins court terme existe avec des risques de glissements localisés au dessus des argiles nécessitant des reprises. (tableau IV)

L'intérêt de ces calculs a été également de montrer que la situation pouvait être améliorée sur les fortes pentes (entre 20 et 25 degrés) avec la mise en place d'un géotextile inférieur sous la géomembrane PEHD, ce produit présentant en effet un angle de frottement aux interfaces avec les argiles ou la géomembrane d'au moins 25 degrés.

Tableau IV. Résultats des calculs de stabilité

Configuration testée	Pente	Coefficient de sécurité
Stabilité générale du complexe de couverture	12 degrés	2,95
Glissement plan à l'interface géodrain/argiles	15 degrés	2,3
Glissement plan à l'interface argiles/géomembrane	15 degrés	1,51
	20 degrés	1,11
	25 degrés	0,88
Glissement plan à l'interface géotextile inférieur/géomembrane	20 degrés	1,39
	25 degrés	1,1

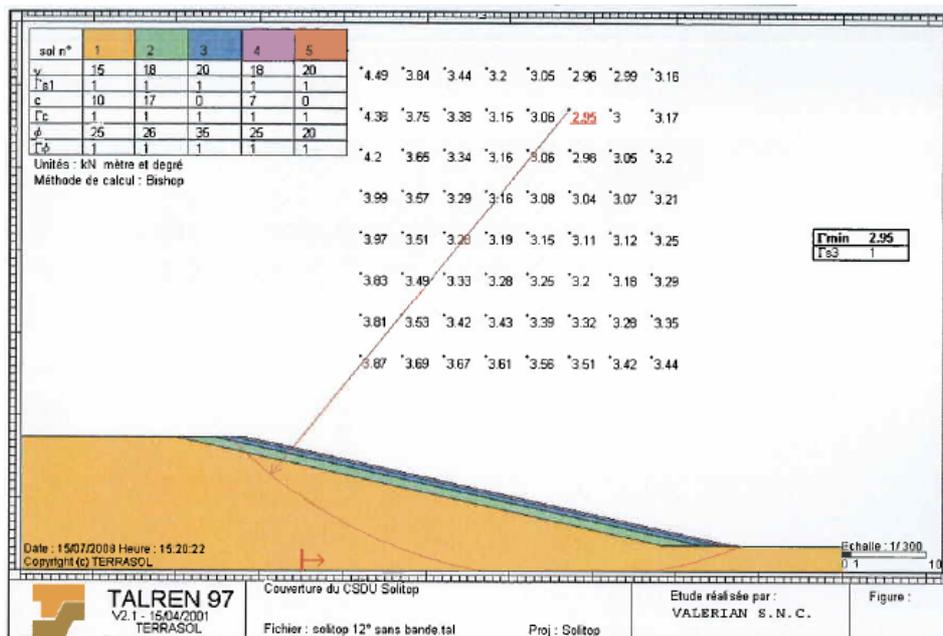


Figure 4. Modélisation TALREN de la stabilité générale de la couverture

4.4 Planches d'essais de compactage des argiles

Au-delà des considérations liées aux conditions de stabilité de la couverture, il a été étudié la faisabilité du compactage des argiles traitées à la bentonite sur ces fortes pentes (compactage perpendiculaire au talus).

En effet, afin d'obtenir la perméabilité réglementaire requise pour cet horizon, les argiles, une fois mélangées à la bentonite, doivent être mises en œuvre dans des conditions rigoureuses de teneur en eau et de compactage.

Aussi, des planches d'essais de compactage ont été réalisées dans différentes configurations de pentes et avec plusieurs types de matériel afin de déterminer les conditions de mise en œuvre des argiles mais aussi observer le comportement du géocomposite de drainage sous-jacent.

Tableau V. Résultats des planches d'essais de compactage

Pente (degrés)	Type de matériel	Epaisseur de compactage	Compacité maximale obtenue	Nombre de passes	Commentaires
12	Bull D6 LGP	0,3 m	84,6%	6	Non satisfaisant Géodrain OK
	Compacteur V5 « Bille lisse »	0,3 m	97,6%	8	OK Géodrain OK
	Compacteur V5 « Bille lisse »	0,5 m	88,4%	10	Non satisfaisant Géodrain OK
15	Compacteur VPM5 « Pied de mouton » BOMAG	0,35 m	93,1%	12	Limite du matériel Compactage en descente uniquement
20			-	-	Evolution impossible
25			-	-	Evolution impossible
15	Compacteur VPM5 « Pied de mouton » DYNAPAC	0,35 m	98,3%	8	Limite du matériel Compactage en descente uniquement
16,7			96,7%	6	Limite du matériel Compactage en descente uniquement
20			-	-	Evolution impossible
25			-	-	Evolution impossible

Les résultats (Tableau V) ont montré que le compactage des argiles perpendiculairement au talus était en fait le facteur limitant. En effet, pour des pentes supérieures à 15 degrés, le matériel de compactage est en limite d'évolution (problèmes de sécurité, compactage uniquement possible dans le sens de la descente), et des résultats corrects (compacité supérieure à 95% de l'OPN) sont accessibles uniquement avec du matériel très spécifique.

Enfin, au-delà de 20 degrés, le compactage des argiles devient techniquement impossible. Dès lors, le compactage doit se faire parallèlement au talus, selon la méthode dite excédentaire.

Quant au géocomposite de drainage, les essais ont montré que celui-ci résistait très bien à des sollicitations de type passage de compacteur vibrant ou arrêt brutal de tombereau chargé sur 0,3 m d'épaisseur d'argiles.

5. Conclusion de la phase d'essais préalables et réalisation des travaux

L'ensemble des essais réalisés, dans la configuration propre au site et aux travaux envisagés (types de géosynthétiques utilisés, nature des matériaux et des déchets), a permis de tirer les enseignements suivants en vue des travaux à réaliser à court et moyen terme :

- l'interface critique du complexe de couverture se trouve entre les argiles et la géomembrane en PEHD structurée, avec un angle de frottement de 20 degrés,
- cette valeur pourrait être portée à 25 degrés environ en rajoutant un géotextile de protection sous la géomembrane,

- l'évolution des engins de chantier ou la saturation en eau de l'horizon terrigène superficiel n'ont pas d'incidence sur la tenue et l'intégrité des géosynthétiques,
- l'ensemble est auto-stable, sans nécessité d'ancrage particulière, jusqu'à des pentes voisines de 16 degrés,
- au-delà, des conditions spécifiques d'ancrage seront à étudier et des glissements localisés à l'interface argiles/géomembranes sont possibles, le risque augmentant avec la pente,
- le facteur limitant est finalement lié au compactage des argiles, qui est compliqué au-delà de 15 degrés et impossible avec les matériels testés passé les 20 degrés pour un compactage perpendiculaire au talus.

Ces données ont permis aux différents acteurs du chantier de définir avec précision des notes méthodologiques de mise en œuvre des différentes couches constitutives de la couverture avec la phase d'exécution.

La 1^{ère} tranche de travaux réalisée en 2007 suite à ces essais, sur des pentes maximales de 12 degrés, a corroboré ces résultats et la mise en œuvre de l'ensemble des horizons s'est parfaitement déroulée avec notamment des résultats de contrôles 100% conformes. (figure 5).



Figure 5. Mise en œuvre de la couverture sur le dôme de déchets stabilisés

6. Références bibliographiques

BURGEAP (2007) Dossier de synthèse des opérations de contrôle des travaux de couverture des alvéoles DIS 4A1 à 4A4, Site SOLITOP Saint-Cyr-des-Gats (85).

EGIS G2otechnique (2007). Rapport de synthèse des résultats des planches d'essais.

GRS VALTECH (2007). Note méthodologique de réalisation des essais préalables.

VALERIAN (2007). Rapports des planches d'essais de couverture.

VALERIAN (2007). Vérification de la stabilité au glissement du dôme de couverture.