

CONCEPTION ET RÉALISATION D'UN DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR UNE PAROI VERTICALE

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A VERTICAL SIDEWALL GEOSYNTHETICS LINER

V. MILANOV¹, X. CAPDEVILLE², M. SALMON³

¹ FAIRTEC, La Roche de Glun, France

² SITA IdF, Porcheville, France

³ Geo Btp, Lignières, France

RÉSUMÉ - Il s'agit de la réalisation d'une barrière d'étanchéité par géosynthétiques sur une paroi dans une ancienne carrière de calcaire dans le département de l'Oise (60) sur le site de stockage de Saint Maximin exploité par la société SPAT, filiale de SITA IdF. L'article traite de la conception et du choix du géotextile de renforcement pour limiter les déformations de la géomembrane, du dimensionnement des ancrages et de la réalisation d'une pré-traction dans le renforcement. Le dispositif d'étanchéité est composé d'un géotextile de renforcement, d'une géomembrane et d'un géotextile de protection. Les difficultés de réalisation des travaux sont également abordées et notamment le dispositif de comblement des vides de grande taille au niveau de la paroi avec des billes d'argile expansée et un « coffrage » avec géotextile tissé fixé par platines et chevilles dans la paroi rocheuse.

Mots-clés :

ABSTRACT – This paper focuses on the vertical sidewall geosynthetics liner at the Saint Maximin (France) household waste Landfill. This landfill is situated in an old limestone quarry. The lateral geosynthetic liner is composed by a reinforcement woven geotextile in contact with the side rock, covered by a Pehd géomembrane and a puncture protection geotextile above. The main design issues are discussed: reinforcement for strain control in the géomembrane and the anchorage design and setup. Moreover the construction difficulties are presented: the big fissures and holes treatment by geotextile formwork and expanded clay balls filling.

Keywords:

1. Introduction

La société SPAT, filiale à **SITA IDF**, exploite actuellement un centre de stockage de déchets ultimes de classe 2 pour des déchets ménagers et assimilés sur la commune de Saint Maximin (60). Ce centre de stockage se situe dans une ancienne carrière de matériaux calcaires, matériaux extraits suivant les règles de l'Art de la « Pierre de Taille », qui a été progressivement aménagée conformément aux prescriptions réglementaires de l'arrêté ministériel et à celles de l'arrêté préfectoral de l'exploitation du site puis comblé avec des déchets industriels banals en majorité.

La solution technique présentée ici s'inscrit dans le cadre de la réalisation des travaux d'aménagement de la barrière de sécurité active sur les talus des dernières alvéoles d'exploitation. En effet, une partie des flancs du site est constituée du front de taille vertical de la carrière (horizon de la Pierre de Taille). Ce front de taille de 8 mètres de haut est au dessus de la barrière de sécurité passive réglementaire, pour permettre la constitution d'un réceptacle complètement étanche sous l'emprise du site (Figure 1).

La question de l'aménagement de la partie supérieure des flancs est restée ouverte compte tenu de la complexité des travaux de point de vue technique et les exigences en matière de sécurité. Toutefois, cette portion verticale de 8 m de haut devait également être équipée en barrière de sécurité active.

Il s'agit de la mise en place du DEG (Dispositif d'étanchéité par géosynthétiques) qui comporte une géomembrane en Pehd de 2 mm d'épaisseur, sur une paroi verticale d'environ 8 m de haut et qui présente des irrégularités dues à la nature des matériaux en place et aux techniques de terrassements. Le travail de terrassement soigné a permis lors de la phase des terrassements de « lisser » la paroi de manière convenable et d'éliminer l'ensemble des éléments très poinçonnant et/ou instables, mais l'installation d'un DEG comportant une géomembrane n'était pas envisageable en l'état.

En plus de ces irrégularités, certaines discontinuités de taille métrique dues aux détachements de blocs de roche présentant un pendage défavorable étaient à traiter au préalable à l'installation du DEG.

L'objectif consistait à proposer une solution d'aménagement qui ne nécessitera pas de travaux complémentaires de terrassement pour le profilage de cette zone étant donné que la proximité de la limite de propriété ne permettait pas d'adopter une technique en déblais.



Photo1 : Vue générale sur le chantier

2. La solution technique

La première phase consiste à définir le dispositif de protection adapté à la surface des parois et à la géométrie de l'ouvrage. Le DEG doit être mis en place sur un support (naturel ou dispositif de protection) qui empêche l'apparition de déformations importantes dans les géosynthétiques sous la pression latérale exercée par les déchets. En limitant les déformations nous limitons également les efforts de traction. De cette manière les géosynthétiques, et plus particulièrement la géomembrane Pehd, se retrouvent dans des conditions favorables pour assurer leur durabilité et pour éviter les problèmes de stress-cracking (le vieillissement sous contrainte).

En effet, la solution retenue se base sur l'effet membrane du dispositif de protection. Ce dernier prend appui sur la surface générale de la paroi et est mis en tension au préalable de l'installation du DEG pour « effacer » les irrégularités.

2.1 Les déformations préjudiciables

Les déformations mécaniques susceptibles d'apparaître dans un DEG sont liées à trois paramètres :

- la hauteur de déchets qui détermine la charge normale et/ou la pression sur le DEG,
- la dimension des irrégularités du support et
- le poids propre de la géomembrane, dans le cas d'une mise en œuvre verticale.

Dans le cas du centre de St. Maximin, l'objectif était de proposer une technique de traitement des talus de manière à assurer les conditions nécessaires pour la mise en place d'un DEG conventionnel constitué de la paroi vers l'intérieur du stockage, d'une géomembrane Pehd de 2 mm d'épaisseur et d'un géotextile de protection.

Les déformations de ce DEG, et celles de la géomembrane Pehd en particulier, doivent être limitées à 4% pour assurer sa durabilité (En France aucun document technique ne définit les déformations limites des géomembranes en service dans les centres de stockage de déchets ultimes). Cette déformation de 4% correspond à environ 1/3 de la déformation élastique d'une géomembrane en Pehd. Le respect de cette condition nous garantit en effet que les déformations dans la géomembrane resteront dans le domaine des déformations réversibles et que la structure de cette dernière ne sera pas modifiée, ce qui limite considérablement les risques de stress-cracking à long terme.

2.2 Le dimensionnement de la structure support

Compte tenu de la nature des aspérités sur les talus, profondeur faible et diamètre limité, et de la relative « planité » de la surface, nous nous sommes orientés vers un dispositif de protection de type géotextile tissé de grande raideur. Il sera installé sur l'ensemble de la surface de la paroi et ancré en crête et en pied de manière à lui procurer une pré-tension. Cela permettra d'assurer un support de qualité adapté au dispositif d'étanchéité.

La résistance en traction de ce géotextile est une fonction de la pression latérale (active) que les déchets peuvent exercer sur le dispositif.

Pour une hauteur de 8 m et une densité de 1,10, cette pression est une fonction de l'angle de frottement des déchets. Le tableau 1 donne les valeurs pour différents angles de frottement et donc différents coefficients de pression active.

Tableau 1. Pression active en fonction de l'angle de frottement

Angle de frottement (degrés)	20	25	30	35
Pression horizontale (kPa)	58	51	44	38

Ce calcul ne tient pas compte de la pression additionnelle qui peut être exercée par le passage du compacteur de déchets à proximité de la paroi. Étant techniquement très incertain d'estimer cette contrainte, il a été décidé d'interdire la circulation du compacteur dans une bande de 1,50 m le long de la paroi, afin de limiter l'impact sur la pression active.

Nous avons retenu la valeur de 58 kPa car elle correspond à l'angle de frottement à long terme des déchets, en principe le cas le plus défavorable.

En tenant compte de la couverture (1,50 m d'épaisseur et une densité de 2 pour cette dernière), la pression horizontale additionnelle était de 19,7 kPa. La pression totale sur le DEG était de 77,70 kPa à 8 m de profondeur.

Le dimensionnement a été fait en utilisant la norme BS 8006 et plus particulièrement les formules utilisées pour le dimensionnement du renforcement à la base des remblais sur vides. Nous avons choisi, compte tenu de la nature de la paroi, une dimension qui nous paraissait la plus adaptée pour la partie basse du talus, là où la pression latérale est la plus élevée.

$$T = 0,5\lambda (\gamma H + w_s) D \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon}}$$

Dans cette formule le terme entre parenthèses, qui représente la charge verticale, a été adapté en conséquence conformément au calcul de la pression latérale.

Il a été également considéré que l'effet membrane se fait dans un seul sens (coefficient $\lambda = 1$), le sens de production du géotextile, compte tenu de l'impossibilité de tendre le géotextile latéralement.

Pour une déformation de 4% maximum, condition que nous avons fixée précédemment, la traction en service dans le dispositif de protection sous géomembrane doit être égale à 44,30 kN/m.

Cette valeur de service est multipliée par un coefficient de sécurité global de 2,86. Ce coefficient se décompose de la manière suivante :

- Coefficient partiel de sécurité sur l'endommagement lors de l'installation 1,10
- Coefficient partiel de sécurité sur le fluage (polymère de type polyester) 2,00
- Coefficient partiel de sécurité sur résistance chimique et biologique 1,30

La résistance en traction du géotextile de protection correspondant à une déformation de l'ordre de 4% doit être supérieure ou égale à 126,70 kN/m. (HUESKER Synthetic – Fiche technique Stabilenka® 300/45)

2.3 L'ancrage

L'ancrage en crête de talus a pour rôle de maintenir le géotextile et de limiter ces déplacements de manière à ce que ce dernier puisse être suffisamment tendu pour assurer le support de la géomembrane. Étant donné l'impossibilité de réaliser une tranchée d'ancrage en crête compte tenu de la nature des matériaux rocheux, il sera nécessaire de maintenir ce géotextile soit par un système de fichage, soit par un lestage. Nous avons évalué les deux dispositifs afin de proposer des variantes à l'attention du maître d'ouvrage et des entreprises.

2.3.1 Ancrage avec des fiches métalliques

Cet ancrage consiste en la mise en place de platines métalliques qui seront enroulées deux fois dans l'extrémité du lé de géotextile et ensuite fixées au sol par des fiches métalliques qui les traverseront. Pour cet ancrage, l'espacement entre les fiches est une fonction de la résistance en flexion des profilés et de la résistance des fiches au cisaillement.

En considérant que la force d'ancrage est égale à la résistance en service du géotextile (126,7 kN/m), nous avons calculé les espacements nécessaires entre les fiches pour une platine de 6 cm x 1cm (Section 6 cm²) et pour une fiche de 2,5 cm de diamètre. La résistance de l'acier aux efforts de cisaillement a été considérée égale à 75 MPa pour un acier ordinaire.

Cet espacement est de 0,80 m. L'ancrage doit être réalisé au minimum à deux mètres de la crête du talus pour éviter tout problème de déstabilisation en crête.

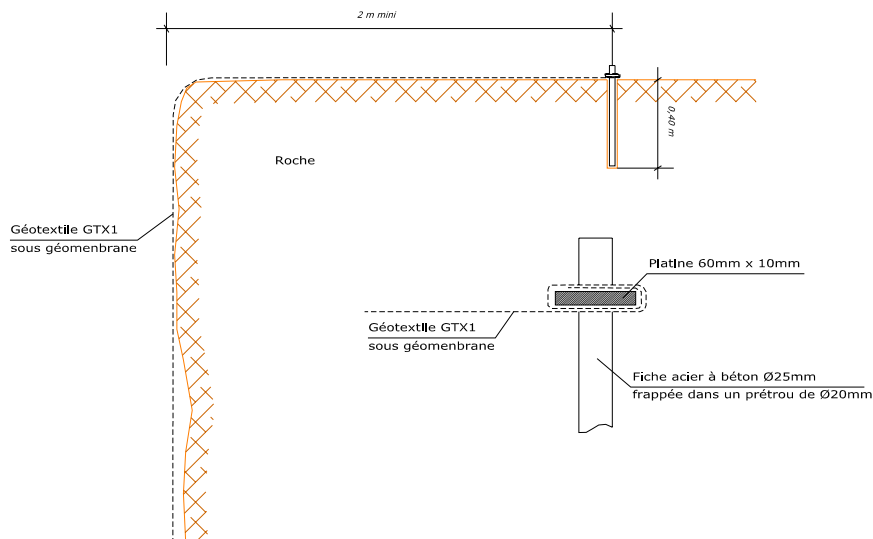


Figure1. Ancrage par fiche du GTX de protection sous géomembrane

2.3.2 Ancrage par lestage

L'ancrage par lestage est beaucoup plus simple à réaliser. Dans ce cas, les efforts en traction sont repris par frottement entre le géotextile et le sol support sur une face, le remblai de lestage sur l'autre. Pour ce type d'ancrage, nous définissons la longueur de géotextile nécessaire en fonction du poids du remblai ou le poids du remblai en fonction de la longueur de lestage disponible.

Cette technique présente un avantage considérable par rapport à la solution précédente : elle permet d'effectuer l'ancrage de la géomembrane et du géotextile de protection dans une tranchée d'ancrage classique réalisée dans le remblai de lestage.

Tableau 2. Longueur d'ancrage en fonction de l'épaisseur du remblai

Épaisseur du remblai (m)	1,50	2,00	2,50	3,00
Longueur de lestage (m)	3,57	2,68	2,15	1,78
Longueur de lestage retenue avec un coefficient de sécurité de 1,50	5,35	4,00	3,25	2,70

Pour plus de sécurité, la longueur d'ancrage a été considérée étant uniquement la partie qui se situe sous la crête du remblai.

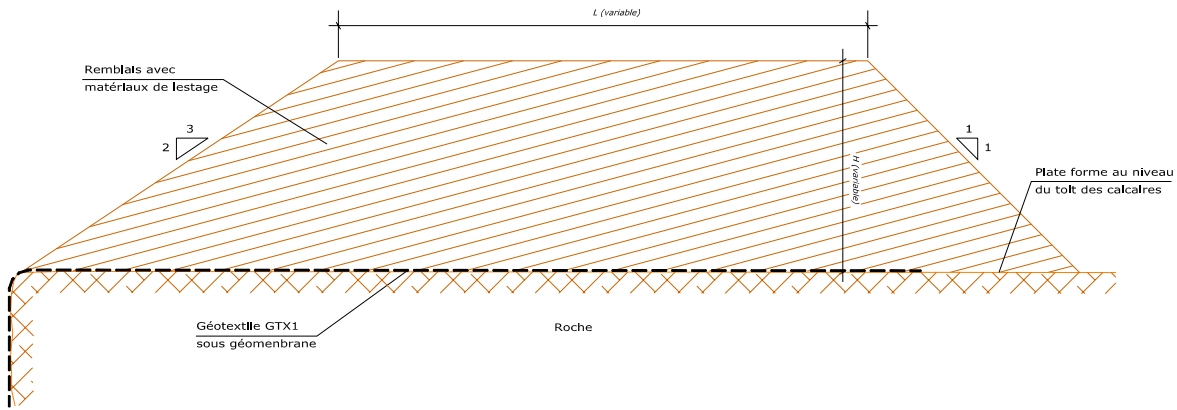


Figure 2. Ancre par lestage en crête

2.3.3 L'ancrage en pied de talus

L'ancrage en pied de talus sera réalisé après l'installation du géotextile et la réalisation de son ancrage en crête. La réalisation de cet ancrage aura un double objectif :

- mettre en traction le géotextile pour qu'il assure un support tendu,
- permettre la réalisation d'un arrondi en pied pour éviter la formation de « peau de tambour » dans la géomembrane.

Le géotextile sera ancré en « L » dans une tranchée creusée dans le prolongement de la paroi. Cette tranchée sera de 50 cm x 50 cm. Une fois la tranchée remblayée, l'arrondi en pied de talus sera réalisé par un apport de matériaux granulaires. Cet arrondi remontera d'environ 0,70 m le long de la paroi verticale.

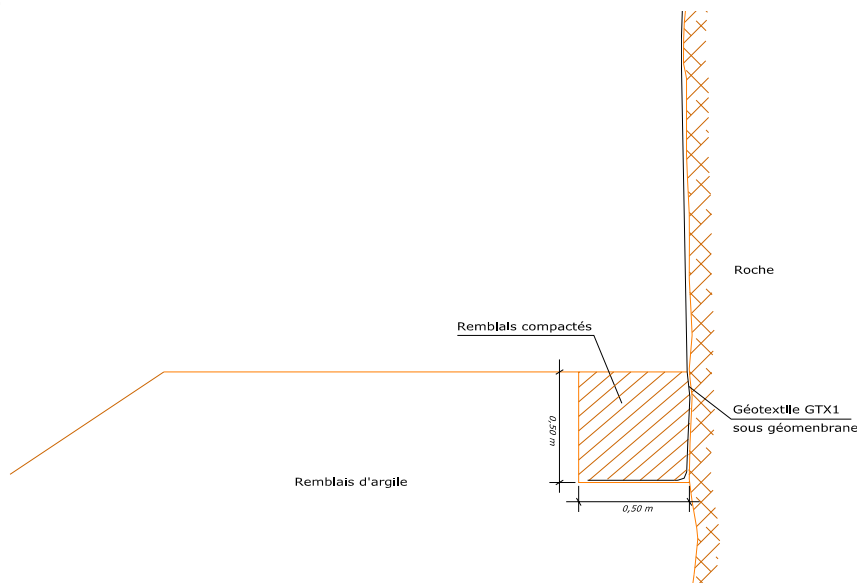


Figure 3. Ancre en pied de talus

3. Traitement des cavités

Comme cela a été déjà mentionné, certaines zones de la paroi nécessitaient un traitement particulier, étant donné que les cavités présentaient des dimensions métriques. Le recouvrement avec le géotextile de protection n'aurait pas pu être efficace. En effet, la résistance en traction étant proportionnelle au diamètre (ou à la plus grande dimension de la cavité), aucun des produits géosynthétiques conventionnels ne pouvait assurer cette fonction.

Il a été retenu de combler les cavités sur le talus avant l'installation du dispositif d'étanchéité. Il a été prévu que le comblement serait réalisé soit avec du sable sec pour éviter l'agglomération des grains, soit avec des billes en argile expansée ou des graviers homométriques (avec un diamètre uniforme) de 10 mm environ.

L'utilisation des billes d'argile expansée a été retenue pour des questions de facilité de mise en œuvre et densité plus faible que les matériaux naturels.

Pour cela un premier géotextile de protection sous géomembrane a été installé. Ce géotextile a été ancré autour de la cavité par des réglettes métalliques et des chevilles frappées directement dans la roche.

Il sera utilisé des chevilles à frapper de diamètre au minimum 10 mm. La distance entre les chevilles a été adaptée sur le terrain en fonction de l'état de la surface, de manière à ce que la réglette assure le meilleur contact possible avec le support. La distance minimale entre deux chevilles a été fixée à 50 cm.



Photo 2. Cavités avant et après traitement

4. Le dispositif d'étanchéité

4.1 La géomembrane

Comme nous l'avons déjà indiqué, nous avons dimensionné le dispositif de protection pour une géomembrane en Pehd. Celle-ci a l'avantage de pouvoir assurer la continuité avec l'étanchéité existante par une soudure entre deux géomembranes de la même nature – double soudure à canal central pour permettre le contrôle.

4.2 Géotextile de protection

Le géotextile de protection situé sur la géomembrane a été dimensionné pour la pression latérale exercée par les déchets en pied du talus. Nous avons défini une masse surfacique supérieure ou égale à 400 g/m². Cette masse surfacique est déterminée en fonction de la charge horizontale contre la paroi et en supposant qu'une couche de matériaux de type 0/40 sera mis en séparation entre les déchets et le dispositif d'étanchéité. Cette couche est réalisée à l'avancement par l'exploitant de manière à assurer d'une part une protection mécanique entre le DEG et les déchets et d'autre part pour permettre le drainage le long de la paroi.

4.3 L'ancrage du DEG

Le DEG est ancré en crête du remblai de lestage qui maintient le géotextile de protection sous la géomembrane. La géomembrane et le géotextile ont été ancrés en « U » dans une tranchée conventionnelle creusée dans ce remblai. Les dimensions de la tranchée seront des dimensions standards de 0,60 m x 0,60 m.

Cet ancrage permet d'assurer le maintien du dispositif dans la tranchée pour les charges d'exploitation : vents, géotextile saturée d'eau, traction due aux tassements des déchets.

Cet ancrage ne pourra pas par contre retenir le géotextile ou la géomembrane si du vent venait s'engouffrer entre le dispositif et la paroi.

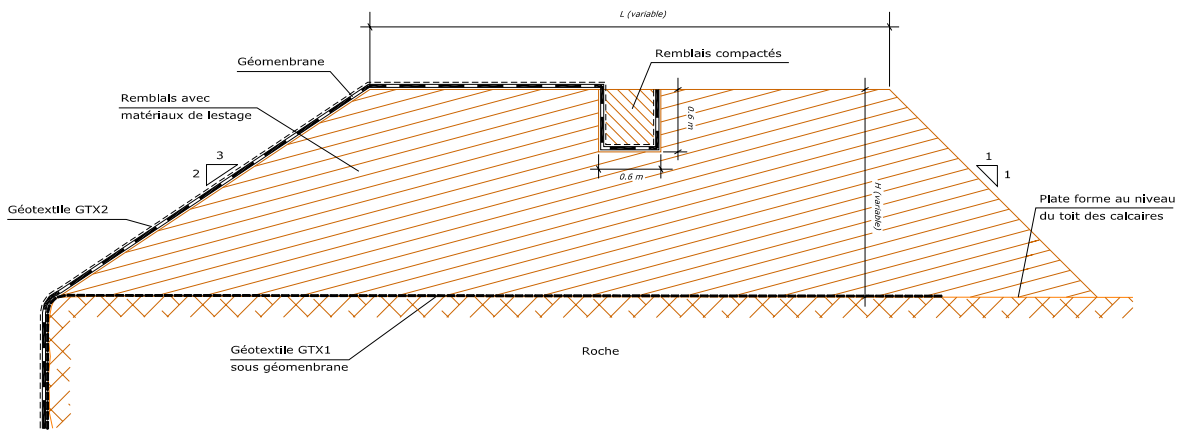


Figure 4. Ancrage par lestage en crête de talus avec le DEG



Photo 3. Vue de la tranchée d'ancrage en crête de talus

4.4 Fermeture des extrémités

Toutes les dispositions ont été prises pour éviter que le soulèvement de la géomembrane se produise et notamment par la fixation du DEG sur la périphérie par réglettes métalliques et chevilles.

5. Réalisation

Les travaux pour couvrir cette paroi d'une superficie de 7 000 m² environ ont été confiés à GEO BTP. La durée globale était de 6 semaines pour un montant d'environ 260 k€.

Les travaux ont englobé la totalité des prestations nécessaires à la réalisation de l'ouvrage, à savoir les terrassements annexes (dégagement de la crête, remblais de lestage, tranchées d'ancrage en crête et en pied de talus), les travaux particuliers (traitement des cavités) et l'installation du DEG (géotextile tissé sous géomembrane, géomembrane Pehd 2 mm et géotextile non tissé aiguilleté antipoinçonnement).

Lors de la réalisation des travaux, un géotextile antipoinçonnant complémentaire a été installé en crête du talus vertical, des deux côtés du géotextile sous géomembrane, afin de protéger l'ensemble de la structure vis-à-vis des poinçonnements à cet endroit sensible.

La géomembrane n'est pas tendue lors de la mise en œuvre, sauf sous l'effet de son propre poids, afin de lui laisser une plus grande aptitude d'adaptation aux formes du support.

Le raccordement avec la géomembrane déjà installée sur la partie inférieure a été réalisé par double soudure à canal central.



La mise en place du DEG a nécessité des mesures de sécurité accrues.

Le personnel intervenant sur le chantier a fait l'objet d'une formation spécifique pour le travail en hauteur.

Le personnel mais également les équipements et notamment ceux pour la réalisation des soudures ont été sécurisés lors de la réalisation des travaux.

Photo 4. Mise en place de la géomembrane

6. Conclusion

Cet article présente une solution simple pour la réalisation d'un Dispositif d'Etanchéité par Géosynthétiques sur des parois verticales. Nous avons présenté ici la démarche pour le dimensionnement ainsi que la solution technique de manière générale. Le choix des coefficients partiels de sécurité et les différents paramètres sont spécifiques à cette étude et reflètent les conditions spécifiques du site. Ils ne peuvent pas être extrapolés ou appliqués tels quels dans d'autre cas de figures.

Il nous semble important de souligner encore une fois que le comportement des dispositifs associant plusieurs géosynthétiques doit être étudié non seulement du point de vue de la « résistance » mais également du point de vue de la « déformation », étant donné que les géosynthétiques présentent des modules de déformation très variés.

7. Références bibliographiques

British Standard BS 8006 : 1995 – Strengthened/reinforced soils and other fills
HUESKER Synthetic – Fiche technique Stabilenka® 300/45