



Fascicule Installations de Stockage de Déchets

Guide d'utilisation des normes de
dimensionnement dans la conception des
ouvrages avec géosynthétiques :
géotextiles et produits apparentés

Fascicule Installations de Stockage de Déchets

Guide d'utilisation des normes de
dimensionnement dans la conception des
ouvrages avec géosynthétiques : géotextiles et
produits apparentés

ÉDITION DE 2021

1.	Avant-propos	6
2.	Terminologie.....	8
3.	Description des ouvrages géosynthétiques et de leur mécanisme de fonctionnement.....	9
3.1.	En couverture	10
3.2.	En fond et en flancs de casier.....	11
3.2.1.	Protection et drainage	11
3.2.2.	Renforcement en cas d'une rehausse de casier	12
4.	Contraintes principales et points d'arrêt en phase de conception	15
4.1.	Pente et longueur des talus de couverture.....	15
4.2.	Ancrages en tête de talus de couverture	16
4.2.1.	Dispositifs d'optimisation de la résistance d'ancrage.....	16
4.2.2.	Dispositifs d'ancrage à proscrire	17
4.3.	Fond et flancs de casier	18
4.3.1.	Sur le fond.....	18
4.3.2.	Sur les flancs.....	18
5.	Description/aperçu des normes et règles de conception/justifications disponibles	20
5.1.	Talus de couverture.....	20
5.2.	Fond et flancs de casier	21
5.2.1.	Fonds de casier	21
5.2.1.1.	Protection	21
5.2.1.2.	Renforcement	21
5.2.2.	Flancs de casiers.....	24
6.	Informations nécessaires à la conception	25
7.	Spécifications relevant d'un dimensionnement.....	29

7.1.	Protection/drainage de fond (pente <14%) et flancs de casiers (pente ≥14%)	29
7.1.1.	Hypothèses générales	29
7.1.2.	Prescription protection/drainage de fond et flancs de casiers.....	29
7.1.3.	Justification protection/drainage de fond et flancs de casiers.....	31
7.2.	Drainage/protection en dôme (pente <14%).....	32
7.2.1.	Hypothèses générales	32
7.2.2.	Prescription drainage/protection en dôme	32
7.2.3.	Justification drainage/protection en dôme	34
7.3.	Stabilité/Drainage/Protection en talus (pente ≥14%).....	35
7.3.1.	Hypothèses générales.....	35
7.3.2.	Prescription stabilité/drainage/protection en talus	35
7.3.3.	Justification stabilité/drainage/protection en talus	37
7.4.	Renforcement de fond de casier	38
7.4.1.	Hypothèses générales.....	38
7.4.2.	Prescription renforcement de fond de casier	39
7.4.3.	Justification renforcement de fond de casier	40
Annexe : Carte des régions de pluviométrie homogène.....		41

Liste des figures

- Figure 1 — Schéma de principe montrant différentes fonctions des géotextiles et produits apparentés couvertes par un document de référence
- Figure 2a Illustration du cisaillement interne de la couche de sol de recouvrement
- Figure 2b Illustration du glissement de la couche de sol de recouvrement sur son support
- Figure 2c Illustration d'une rupture en traction d'un géosynthétique de la structure de protection
- Figure 2d Illustration d'une rupture de l'ancrage de tête ou en risberme de la structure de protection
- Figure 2e Illustration de l'effet peau de tambour avec le soulèvement de la structure de protection en risberme
- Figure 3a Schéma de principe : extension verticale pure
- Figure 3b Schéma de principe : extension en appui latéral
- Figure 3c Schéma de principe : extension en appui mixte
- Figure 4 Principe de fonctionnement d'un géosynthétique de renforcement dans le cas d'un tassement localisé dans une structure de rehausse d'ISD
- Figure 5 Ancrage en tranchée avec ajout de matériau naturel d'interface (géosynthétique à ancrer situé au-dessus de l'interface critique)
- Figure 6 Principe de l'ancrage en plan incliné
- Figure 7 Principe de reconstitution de crête de talus à proscrire
- Figure 8 Impact illusoire d'une couche d'interface granulaire sur un ancrage à plat en talus de couverture
- Figure 9 Impact illusoire d'un ancrage croisé en risberme
- Figure 10 Ancrage en tranchée avec ajout de matériau naturel d'interface pour rehausse de casier (géosynthétique à ancrer situé en dessous de l'interface critique)
- Figure 11 Ancrage plat glissant pour géosynthétiques de protection ou de drainage soumis aux tassements des nouveaux déchets
- Figure 12 Phases de mise en tension du géosynthétique de renforcement suite à un affaissement de la structure sous-jacente

Liste des tableaux

- Tableau 1 — Extrait Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans la lutte contre l'érosion (CFG)
- Tableau 2 — Vérifications à réaliser en fonction de la catégorie géotechnique
- Tableau 3a — Liste et importance des paramètres de conception en protection et drainage de fond et flancs de casiers
- Tableau 3b — Liste et importance des paramètres de conception en drainage et protection de dôme
- Tableau 3c — Liste et importance des paramètres de conception pour les fonctions stabilisation/drainage/protection en talus
- Tableau 3d — Liste et importance des paramètres de conception en renforcement de fond de casier
- Tableau 4a — Spécifications nécessaires en fond et flancs de casier
- Tableau 4b — Justifications requises en fond et flancs de casier
- Tableau 5a — Spécifications nécessaires en dôme
- Tableau 5b — Justifications requises en dôme
- Tableau 6a — Spécifications nécessaires en talus
- Tableau 6b — Justifications requises en talus
- Tableau 7a — Spécifications nécessaires en renforcement de fond de casier
- Tableau 7b — Justifications requises en renforcement de fond de casier

Liste des abréviations et sigles utilisés dans le document :

AM	: Arrêté Ministériel
AMO	: Assistant à la Maîtrise d’Ouvrage
CC1, CC2	: Classes de conséquence définies notamment au §5.2 de la norme NF G38-067
CCTP	: Cahier des Clauses Techniques Particulières
CFG	: Comité Français des Géosynthétiques
DEG	: Dispositif d’Etanchéité par Géosynthétiques
DEDG	: Dispositif d’Etanchéité et de Drainage par Géosynthétiques
ELS	: États-limites de service
ELU	: États-limites ultimes
GEO	: Etat-limite ultime relatif à une rupture ou à une déformation excessive du terrain.
Gsy	: Géosynthétique
ISDND	: Installation de Stockage de Déchets non Dangereux
ISDD	: Installation de Stockage de Déchets Dangereux
MOE	: Maîtrise d’Œuvre
PEHD	: Polyéthylène Haute Densité
STR	: Etat-limite ultime relatif à une rupture interne ou à une déformation excessive de la structure ou d’éléments de structure



1. Avant-propos

Ce guide est destiné à apporter une aide aux utilisateurs des géosynthétiques amenés à utiliser les normes de dimensionnement spécifiques. Il s'agit de recommandations qui n'ont pas de caractère réglementaire.

Liste des documents de référence :

- Norme NF G38-061 : Utilisation des géotextiles et produits apparentés – Systèmes de drainage et de filtration – Dimensionnement et éléments de conception
- Norme XP G38-065 : Géosynthétiques, géotextiles et produits apparentés – Renforcement de la base de remblais sur zones à risques d'effondrements — Justification du dimensionnement et éléments de conception
- Norme NF G38-067 : Géosynthétiques, géotextiles et produits apparentés – Stabilisation d'une couche de sol mince sur pente – Justification du dimensionnement et éléments de conception
- Guide de recommandations pour la conception des extensions d'ISDND en appui sur des casiers anciens (BRGM/RP-69455 de 2020) dit guide « rehausse » dans la suite du document.
- Guide de recommandations pour la conception et l'évaluation de dispositifs « d'équivalence » en étanchéité passive d'Installations de Stockage de Déchets – Version 3 (BRGM/RP-69449 de 2019) dit guide « équivalence » dans la suite du document.
- Guide de recommandations pour la conception des couvertures d'Installations de Stockage de Déchets Dangereux, Non Dangereux et Inertes (BRGM/RP-69462 de 2020) dit guide « couvertures » dans la suite du document.
- Guide du Comité Français des Géosynthétiques (CFG) « protection contre l'endommagement des géomembranes » dit guide « protection » dans la suite du document.
-

NOTE 1 : la norme NF G38-061 s'appuie en matière de drainage sur la norme d'essai NF EN ISO 12958 relative aux seuls géocomposites de drainage. Par conséquent, les autres dispositifs de drainage ne sont pas traités dans le présent document. Par ailleurs, la fonction drainage dans les ouvrages traités ci-après requiert des niveaux de performances qui imposent l'emploi de géocomposites de drainage.

NOTE 2 : la norme d'essai NF EN ISO 12958 vient d'être révisée. Elle est remplacée par la norme NF EN ISO 12958-1 (essai index) et il y a désormais une deuxième partie consacrée aux essais de performance NF EN ISO 12958-2. Les valeurs de dimensionnement seront issues de l'essai de performance qui dans sa procédure diffère de l'actuelle norme NF EN ISO 12958 notamment sur les points suivants :

- Durée de l'application de la contrainte accrue qui pourra être intégrée au calcul des facteurs de réduction relatifs au fluage en compression de la structure drainante et à la

pénétration (intrusion) à long terme des filtres dans la structure drainante.

- Modification des interfaces de transfert de charge avec l'utilisation de sol spécifique à un projet ou d'un sol normalisé à la place de la couche de mousse actuellement utilisée dans la norme NF EN ISO 12958.

NOTE 3 : A la date de publication de ce fascicule la version française des normes EN ISO 12958-1 et 2 n'est pas publiée par l'AFNOR. A publication de la version française de ces normes, une révision de la norme NF G 38061 devra être réalisée au sein du BNTRA. Ce fascicule sera donc révisé dans les meilleurs délais à publication des évolutions normatives en cours et à venir, et remplacé par une nouvelle version à jour dans les délais les plus brefs.



2. Terminologie

Structure de protection : structure mise en place sur la structure d'étanchéité de façon à la protéger pendant la mise en œuvre et la durée de service.

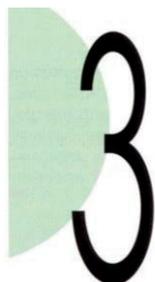
Durée de service :

- pour les Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) : durée d'exploitation + durée de post-exploitation + période de surveillance des milieux (cf. Arrêté Ministériel du 15/02/2016 art. 34 à 38),
- pour les Installations de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD) : durée d'exploitation + période de suivi long terme (cf. Arrêté Ministériel du 30/12/2002 art. 41)

Géocomposite de drainage : produit assemblé en usine dont au moins l'un des composants est un produit géosynthétique, et dont la fonction première est le drainage, associé à la filtration. Il se compose d'un géospaceur et d'au moins un géotextile de filtration. Les dispositifs de drainage dont les composants sont superposés ou assemblés sur site ne peuvent pas être apparentés à des géocomposites de drainage ni être évalués selon la norme d'essai NF EN ISO 12958. En effet, les conditions d'emploi sur site peuvent différer des conditions d'essai dans un laboratoire (sens de pose, plis).

Interface critique : Interface la moins frottante d'un système multicouches sol-géosynthétique ou géosynthétique-géosynthétique.

Exposition extérieure : exposition au rayonnement solaire, mesurée en kilo Langley (kLy), et aux agents atmosphériques.



3. Description des ouvrages géosynthétiques et de leur mécanisme de fonctionnement

Les géosynthétiques constituent une part importante de l'ingénierie nécessaire à la conception des Installations de Stockage de Déchets (ISD). Ils assurent des fonctions essentielles à la protection de l'environnement, à la stabilité des ouvrages de stockage et à leur intégration paysagère. La figure 1 illustre leur degré d'implication et indique les documents de référence disponibles pour certaines des fonctions remplies : drainage, renforcement, stabilisation. En général, plusieurs couches de géosynthétiques différentes sont requises pour le bon fonctionnement de l'installation. Elles génèrent des interfaces qu'il convient d'étudier avec attention, elles sont en effet impliquées dans de nombreux aspects de la conception. Les fonctions renforcement et stabilisation requièrent un ancrage spécifique du géosynthétique qui est dimensionné en même temps que le géosynthétique et qui ne doit pas se heurter à un problème d'emprise au sol.

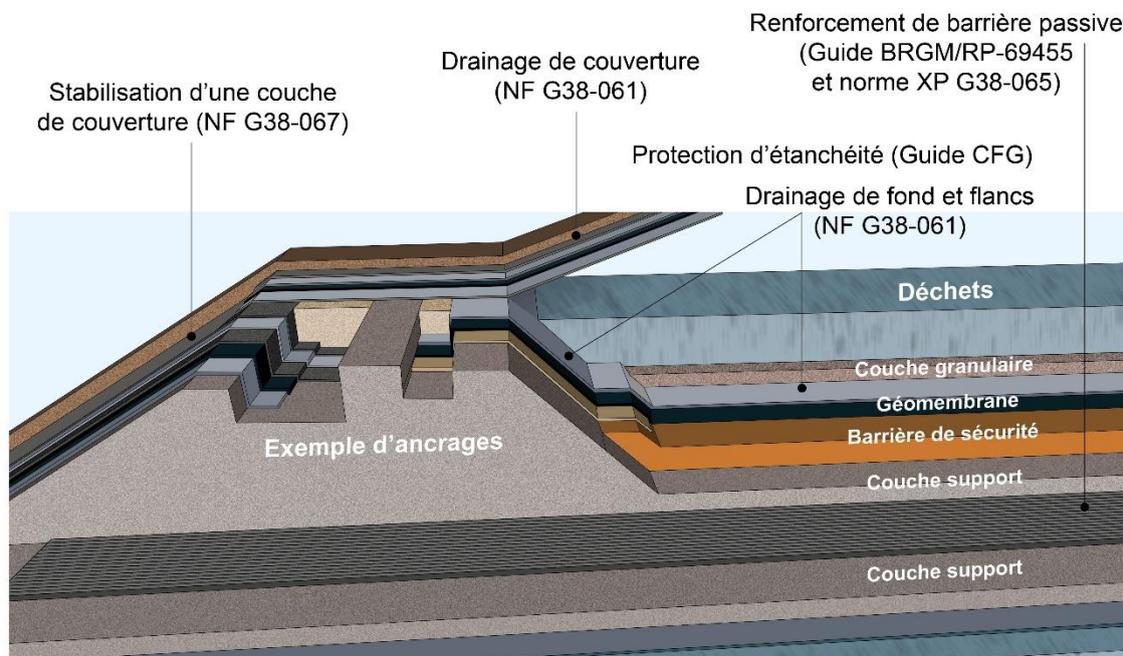


Schéma de principe montrant différentes fonctions des géotextiles et produits apparentés couvertes par un document de référence.

Figure 1. Schéma de principe montrant différentes fonctions des géotextiles et produits apparentés couvertes par un document de référence.

3.1. En couverture

L'Art. 35 de l'Arrêté Ministériel (AM) du 15 février 2016 relatif aux Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux spécifie qu'au plus tard deux ans après la fin d'exploitation, tout casier est recouvert d'une couverture finale pouvant intégrer des géosynthétiques.

Cette couverture finale est composée, pour les ISDND, du bas vers le haut de :

- une couche d'étanchéité,
- une couche de drainage des eaux d'infiltration composée de matériaux naturels d'une épaisseur minimale de 0,5 mètre ou de géosynthétiques,
- une couche de terre de revêtement d'une épaisseur minimale d'un mètre.

Dans le cas où l'étanchéité est assurée par géosynthétiques, les mécanismes de rupture qui peuvent être observés sont :

- cisaillement interne de la couche de sol de recouvrement (figure 2a),
- glissement de la couche de sol de recouvrement sur le géotextile ou le produit apparenté (figure 2b),
- rupture en traction d'un géosynthétique de la structure de protection (figure 2c),
- rupture de l'ancrage de tête ou en risberme de la structure de protection (figure 2d),
- soulèvement de la couche de recouvrement en risberme (figure 2e).

légende

- - - Géotextile ou produit apparenté
- Géomembrane

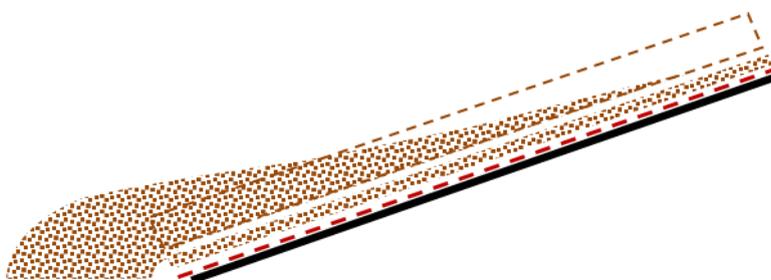


Figure 2a. Illustration du cisaillement interne de la couche de sol de recouvrement

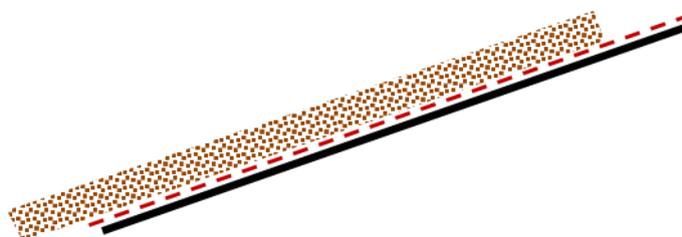


Figure 2b. Illustration du glissement de la couche de sol de recouvrement sur son support

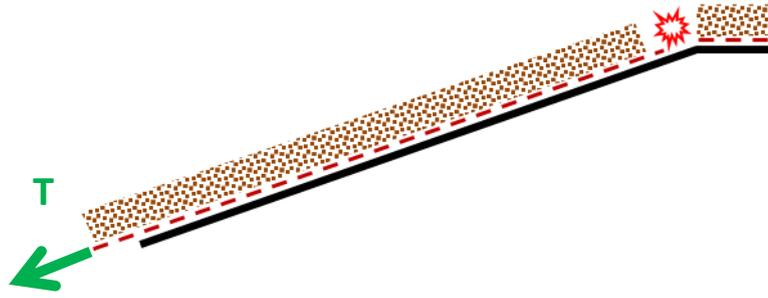


Figure 2c. Illustration d'une rupture en traction d'un géosynthétique de la structure de protection

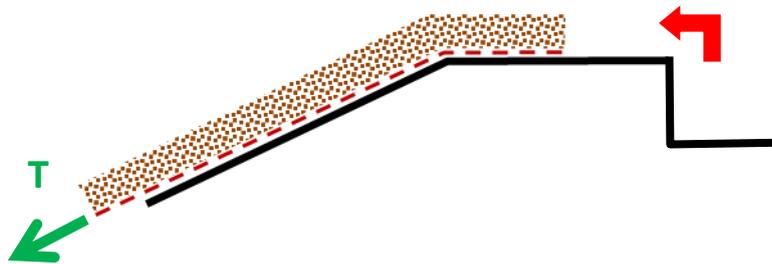


Figure 2d. Illustration d'une rupture de l'ancrage de tête ou en risberme de la structure de protection

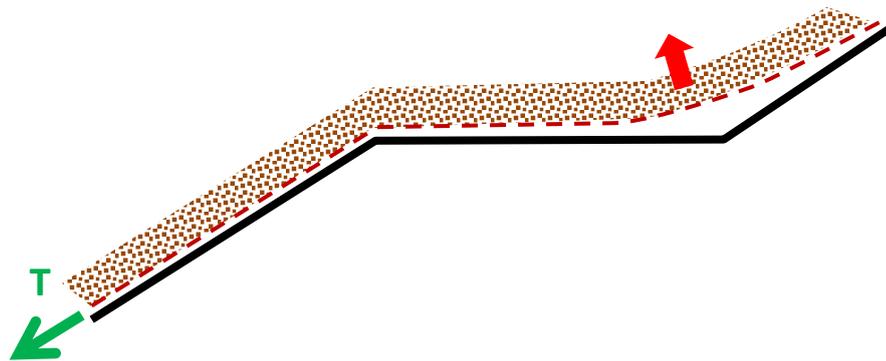


Figure 2e. Illustration de l'effet peau de tambour avec le soulèvement de la structure de protection en risberme

Une accumulation d'eau à la base de la couche de recouvrement (cf. norme NF G38-061, $h_{max} > l$ épaisseur du produit comprimé = écoulement en charge) est défavorable à la stabilité au glissement de la couche. Le cas échéant, on sort du domaine d'utilisation de la norme NF G38-067 car il est nécessaire de considérer une contrainte effective qui réduit la résistance au cisaillement des interfaces du Dispositif d'Etanchéité par Géosynthétiques (DEG) et d'intégrer les forces déstabilisatrices que sont les forces d'écoulement.

3.2. En fond et en flancs de casier

3.2.1. Protection et drainage

En fond et flancs de casier, la protection du sol support, des eaux souterraines et de surface est assurée par une barrière géologique dite « barrière de sécurité passive » constituée du terrain naturel répondant aux critères suivants :

- le fond d'un casier (pente $< 14\%$ selon le guide « équivalence ») présente, de haut en bas, une couche de coefficient de perméabilité (ou conductivité hydraulique) inférieur ou égal à 10^{-9} m/s sur au moins 1 m d'épaisseur et une couche de coefficient de perméabilité inférieur ou égal à

- 10^{-6} m/s sur au moins 5 mètres d'épaisseur,
- les flancs (pente > 14%) d'un casier présentent un coefficient de perméabilité inférieur ou égal à 10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre d'épaisseur.

Lorsque la barrière géologique ne répond pas naturellement aux conditions ci-dessus, elle est complétée et renforcée par d'autres moyens présentant une protection équivalente comme des géosynthétiques bentonitiques. L'épaisseur de la barrière ainsi reconstituée ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour le fond de forme et à 0,5 mètre pour les flancs jusqu'à une hauteur de 2 mètres par rapport au fond.

Sur le fond et les flancs de chaque casier, un dispositif complémentaire assurant l'étanchéité du casier et contribuant au drainage et à la collecte des lixiviats est mis en place. Ce dispositif est appelé « barrière de sécurité active ». L'étanchéité est assurée par une géomembrane résistante aux sollicitations thermiques et chimiques pendant toute la durée de service. Un dispositif de protection mécanique adapté doit être mis en place au-dessus de la géomembrane pour qu'elle ne soit pas endommagée par des sollicitations de poinçonnement.

En fond de casier, la géomembrane de la barrière active est recouverte d'une couche de drainage de 0,50 m minimum dont le coefficient de perméabilité est supérieur ou égal à 10^{-4} m/s. Cette disposition est appliquée hors dispositif d'équivalence prévu par l'Arrêté Ministériel accordant la mise en place d'un système de collecte et drainage des lixiviats équivalent hydrauliquement, qui associe un géocomposite de drainage, un géotextile anti-poinçonnant et une couche de matériau drainant d'une épaisseur minimale de 0,30 m, en veillant à ce que la protection soit assurée. Dans certains cas le géotextile anti-poinçonnant peut être associé au géocomposite de drainage, en veillant toujours à ce que la protection de l'étanchéité soit assurée.

Cette couche de drainage résiste aux sollicitations mécaniques, thermiques et chimiques pendant toute la durée de service. Sa justification hydraulique par équivalence se conformera aux dispositions de la norme NF G38-061.

Sur les flancs du casier, le dispositif d'étanchéité est recouvert d'un géotextile de protection et d'un géocomposite de drainage ou de tout dispositif équivalent sur toute sa hauteur. Ce dispositif est résistant aux sollicitations mécaniques (efficacité de la protection notamment), thermiques, chimiques, au rayonnement solaire et aux agents atmosphériques pendant toute la durée de service.

Les règles de conception du dispositif de protection figureront dans le guide « protection » du CFG.

3.2.2. Renforcement en cas d'une rehausse de casier

Une rehausse de casier (cf. figure 3 extraite du guide « rehausse ») génère de nouvelles contraintes sur les structures existantes et confronte ainsi le projeteur à diverses problématiques de déformations parmi lesquelles :

- le tassement global du fait d'un tassement des déchets sous-jacents anciens dû à la nouvelle charge de déchets,
- les tassements localisés qui justifient l'utilisation d'un géosynthétique de renforcement.

Il est à noter que cette application requiert la compatibilité chimique du produit de renforcement avec les lixiviats en cas d'une éventuelle défaillance de la barrière active.

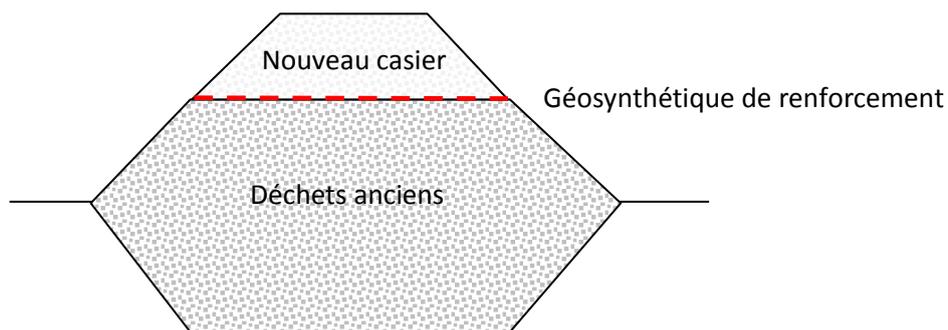


Figure 3a. Schéma de principe : extension verticale pure

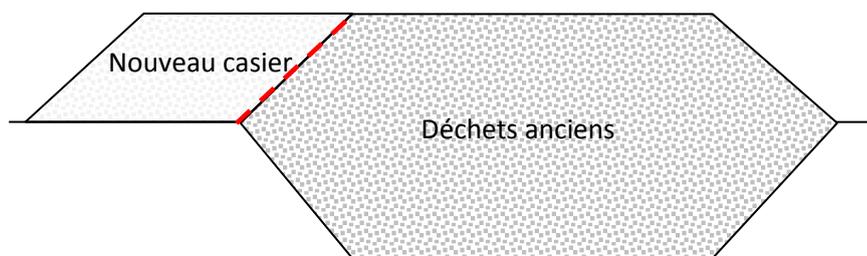


Figure 3b. Schéma de principe : extension en appui latéral

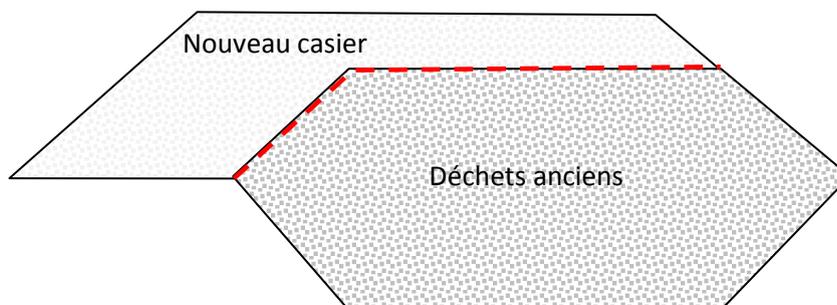


Figure 3c. Schéma de principe : extension en appui mixte

Le renforcement de fond de nouveau casier destiné à limiter les effets de tassements localisés importants sous le DEG s'appuie sur le mécanisme utilisé pour le renforcement sur cavités potentielles. Une adaptation est néanmoins nécessaire pour la prise en compte de la surcharge de déchets, des caractéristiques mécaniques des déchets et des contraintes spécifiques aux barrières passive et active et de l'inclinaison le cas échéant.

Le calcul de la force à reprendre pour un renforcement de flancs est basé sur la même théorie. La justification des résistances d'ancrage et des zones de recouvrement doit être effectuée par un bureau d'études.

La figure 4 illustre le mécanisme de fonctionnement du géosynthétique de renforcement dans une structure de rehausse en cas d'affaissement localisé (hypothèse de mécanisme retenue dans le guide « rehausse »). On considère qu'en cas d'affaissement localisé dans l'ancien massif de déchets, le géosynthétique de renforcement, ancré dans la couche support, se déforme en membrane puis se met en tension au-dessus de la zone d'affaissement. Les efforts appliqués par les charges sus-jacentes sont alors transférés par effet membrane vers les zones d'ancrage de part et d'autre de l'affaissement. Les déformations sont ainsi maîtrisées au niveau des barrières passive et active et du nouveau massif de déchets.

La rupture ou la déformation excessive du géosynthétique de renforcement provoquera la rupture des barrières. Le critère dimensionnant est la déformation du géosynthétique de renforcement qui ne doit pas dépasser la déformation excessive du complexe d'étanchéité.

L'allongement maximum du renforcement pour la durée de service et dans les conditions d'utilisation du site doit rester inférieur à l'allongement considéré comme excessif des barrières active et passive, ce qui

signifie une déformation maximum pour la durée de service de la géomembrane.

— — — — — Géosynthétique de renforcement

————— Géomembrane

D : diamètre de calcul de la zone affaissée.

H : hauteur de déchets prise en compte pour le calcul de charge appliquée sur la zone d'affaissement. Elle est prise égale à $n \times D$ dans le cas des ISDND :
 $n = 3$ pour déchets ménagers et déchets d'activité économique (DAE)
 n à justifier pour autres déchets

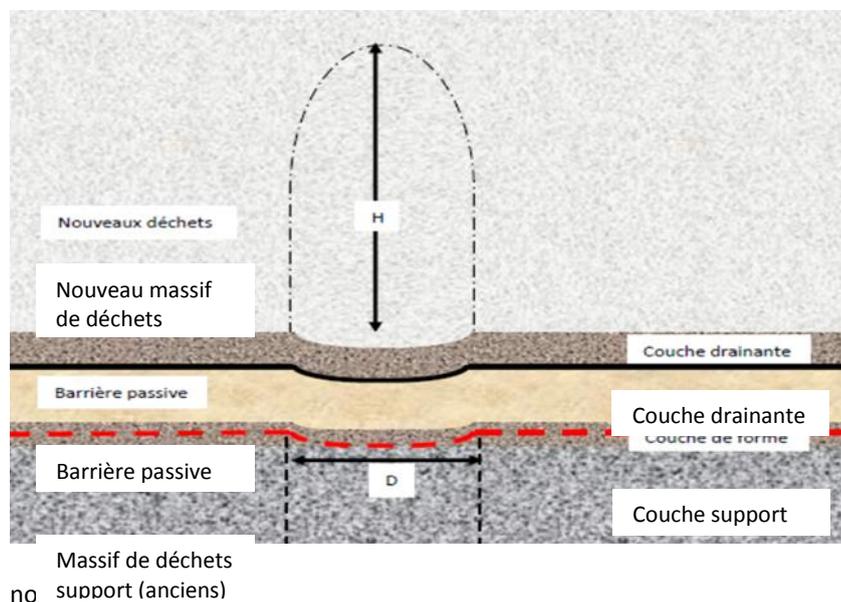


Figure 4. Principe de fonctionnement d'un géosynthétique de renforcement dans le cas d'un tassement localisé dans une structure de rehausse d'ISD.

4

4. Contraintes principales et points d'arrêt en phase de conception

Sont mises ici en exergue les erreurs à ne pas commettre en phase de conception, erreurs qui peuvent rendre infructueux un appel d'offres ou se traduire par des contentieux inextricables avec ou sans défaillance de l'ouvrage. La prise de conscience se faisant plus en amont, meilleure sera la gestion du problème et l'on évitera aux géosynthétiques des contre-performances nuisibles à tous.

Il est rappelé le contexte suivant qui impacte les conditions de conception et de dimensionnement présentées dans ce guide :

- la notion de géomembrane doit être conforme à celle figurant dans le fascicule 10 du CFG,
- l'unique fonction de la géomembrane est l'étanchéité,
- sa sollicitation mécanique, que ce soit vis-à-vis du poinçonnement ou de la traction, doit être limitée au maximum.

4.1. *Pente et longueur des talus de couverture*

Les pentes retenues doivent être compatibles avec les caractéristiques en cisaillement du matériau de recouvrement quel que soit le produit de renforcement envisagé, avec ou sans dispositif tridimensionnel. En effet, les dispositifs tridimensionnels assurent la stabilité au glissement de la base de la couche ou confinent la couche mais n'empêchent pas le sol de reprendre son angle de talus naturel s'il est inférieur à la pente du talus. Le guide du CFG intitulé « Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans la lutte contre l'érosion » précise en page 48 (§II.3) le niveau de stabilité (cisaillement interne) que l'on peut envisager pour une terre végétale (cf. tableau 1).

Pente H/V	Pente (°)	Stabilité du sol d'apport
> 3/2	> 34°	Aléatoire
3/2	34°	Faible
2/1	27°	Moyenne
3/1	18°	Elevée

Tableau 1 — Extrait Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans la lutte contre l'érosion (CFG)

Les recouvrements perpendiculaires à la pente sont à proscrire lorsque les géosynthétiques sont soumis à des efforts de traction. Il convient donc de s'assurer que la longueur des rampants reste compatible avec la longueur maximale possible des rouleaux en tenant compte des longueurs d'ancrage.

4.2. Ancrages en tête de talus de couverture

La géométrie des talus de couverture d'Installations de Stockage de Déchets doit intégrer les contraintes relatives à la mise en œuvre et à la stabilisation de la couche de recouvrement. Une attention toute particulière doit être apportée à l'ancrage nécessaire en tête de talus : vérifier notamment que l'emprise disponible permet la réalisation d'une tranchée d'ancrage suffisante (cf. norme NF G38-067) tout en limitant la profondeur de la tranchée pour respecter la réglementation en vigueur sur la profondeur maximale de la tranchée admissible sans blindage (art. R. 4534-24 du code du travail). Cette contrainte concerne surtout la géométrie des risbermes intermédiaires qui doit permettre la circulation des engins de chantier pour approvisionner les matériaux et assurer l'ancrage du géosynthétique de renforcement du talus aval. S'affranchir de cette contrainte peut conduire à un soulèvement du DEG selon un effet type « peau de tambour » (cf. figure 2e). Les dispositifs d'ancrage doivent être opérationnels avant leur sollicitation.

4.2.1. Dispositifs d'optimisation de la résistance d'ancrage

Les dispositions suivantes permettent d'optimiser la géométrie de l'ancrage :

- ajout d'une couche d'interface

L'insertion de matériaux naturels frottants entre deux nappes géosynthétiques permet dans certaines conditions d'améliorer les caractéristiques de frottement et d'optimiser ainsi la géométrie de l'ancrage.

On l'envisagera en fond de tranchée d'ancrage où l'insertion d'une couche de 5 cm minimum de matériaux naturels permet de reconstituer une interface sol/géosynthétique en remplacement d'une interface géosynthétique/géosynthétique plus défavorable (figure 5).

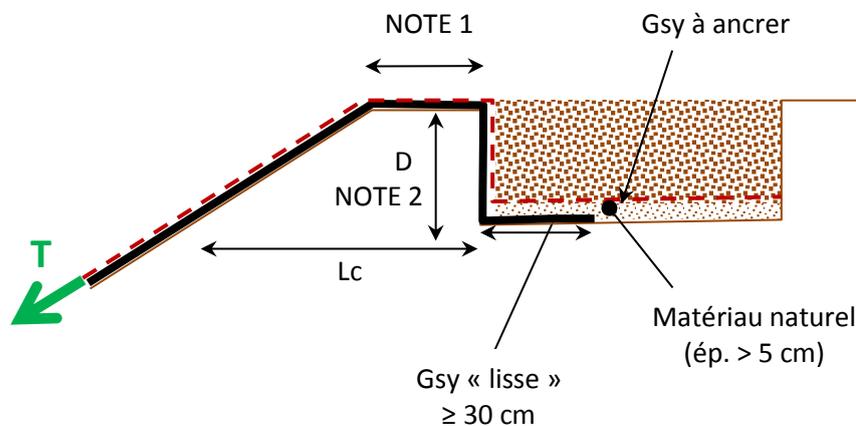


Figure 5. Ancrage en tranchée avec ajout de matériau naturel d'interface (géosynthétique à ancrer situé au-dessus de l'interface critique)

NOTE 1 : la distance entre la crête de talus et la tranchée d'ancrage doit être dimensionnée conformément à la norme NF G38-067. Il convient de vérifier la stabilité au cisaillement de la tête de talus. Faute de méthode de calcul satisfaisante, on appliquera la règle empirique (cf. équation 1) indiquée dans la norme pour une crête de talus en sol homogène :

$$Lc \geq 2,5 \times D, \quad \text{équation 1}$$

avec une largeur en crête recommandée de 1 m minimum, D étant la profondeur de la tranchée dans le sol en place.

NOTE 2 : la profondeur de tranchée est dimensionnée conformément à la norme NF G38-067, elle ne doit pas atteindre le toit des déchets et considérer les exigences réglementaires du code du travail (art. R. 4534-24) relatives aux fouilles en tranchée de profondeur supérieure à 1,30 m.

Ancrage en plan incliné

Un ancrage en plan incliné vers l'extérieur du casier (cf. figure 6) offre une résistance accrue ; il doit cependant être dimensionné en considérant, comme seule interface de glissement, la sous-face la plus glissante du DEG. La stabilité de la couche de lestage sur son support et sa tenue vis-à-vis des phénomènes d'érosion doivent être assurées.

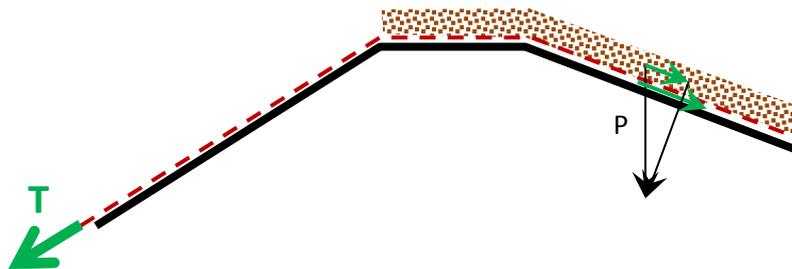


Figure 6. Principe de l'ancrage en plan incliné

4.2.2. Dispositifs d'ancrage à proscrire

Les dispositifs suivants sont à proscrire :

- Crête de talus reconstituée sur DEG

La reconstitution d'une crête de talus sur une étanchéité (Figure 7) ne permet pas de se rapprocher du fonctionnement d'un ancrage en tranchée traditionnelle, la crête de talus glissant sur une interface étanchéité/géotextile de protection.

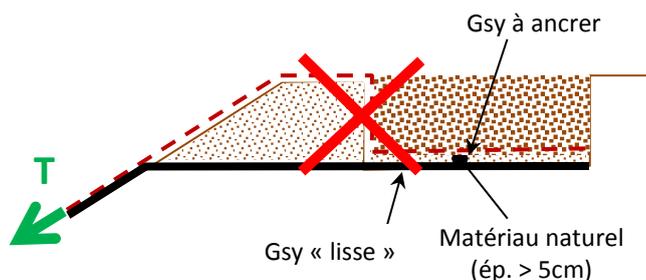


Figure 7. Principe de reconstitution de crête de talus à proscrire

- Ancrage à plat avec interface granulaire

L'insertion d'une couche d'interface granulaire telle que décrit figure 8 ne modifie généralement pas les conditions de frottement en sous face du dispositif car un géotextile de protection reconstitue une interface glissante sous la couche de lestage. Il convient d'identifier et de caractériser dans chaque cas l'interface la plus critique.

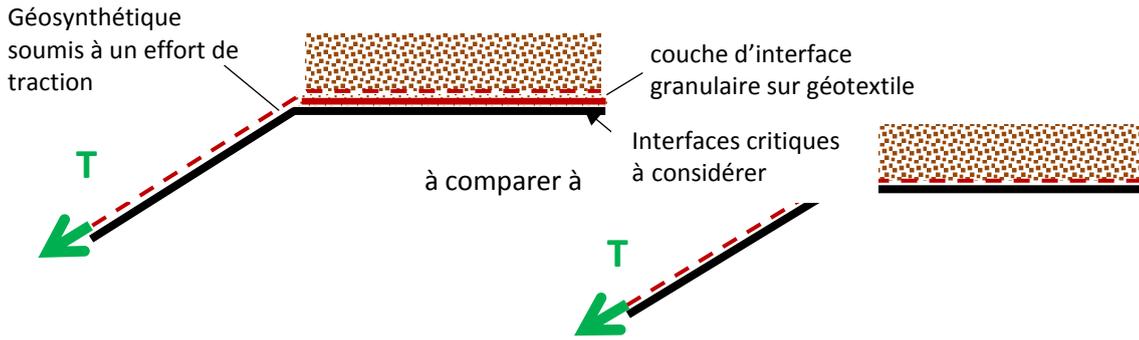


Figure 8. Impact illusoire d'une couche d'interface granulaire sur un ancrage à plat en talus de couverture

- Ancrage à plat avec retournement

Le prolongement de l'ancrage par retournement dans la couche de lestage (cf. figure 9) n'apporte aucun supplément de résistance en ancrage à emprise identique.

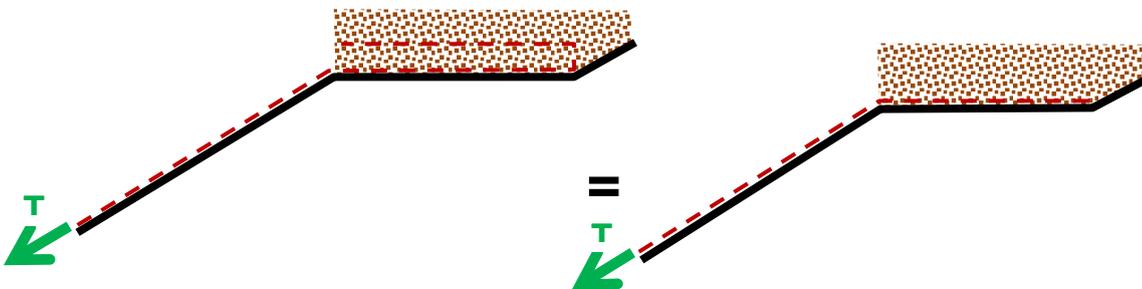


Figure 9. Impact illusoire d'un ancrage croisé en risberme

4.3. Fond et flancs de casier

4.3.1. Sur le fond

En cas de rehausse verticale, le renforcement doit être préférentiellement ancré sous la digue de rehausse. Dans le cas où la digue est déjà réalisée, les dispositions requises au niveau phasage et géométrie de la digue doivent être vérifiées.

4.3.2. Sur les flancs

La géométrie des flancs est déterminée de façon à assurer un coefficient de stabilité suffisant et à ne pas altérer l'efficacité de la barrière passive. Les géosynthétiques doivent être ancrés en tête de flancs, soit par un ancrage en tranchée (figure 10) soit par un ancrage à plat par lestage ; il convient de s'assurer que l'emprise disponible permet bien cet ancrage.

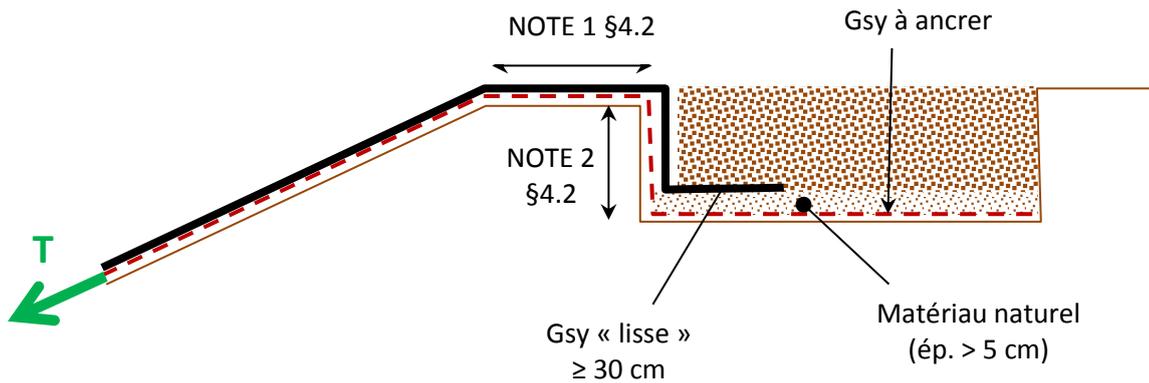


Figure 10. Ancrage en tranchée avec ajout de matériau naturel d'interface pour rehausse de casier (géosynthétique à ancrer situé en dessous de l'interface critique)

Lorsque la sollicitation en traction doit être maîtrisée pour être compatible avec un produit donné, l'ancrage à plat peut être conçu comme un ancrage glissant (figure 11). Il s'agit d'un ancrage à plat dont la longueur et le lestage sont définis afin de plafonner les efforts de traction dans le produit ancré. Cet effort de traction est égal à la résistance au glissement de l'ancrage.

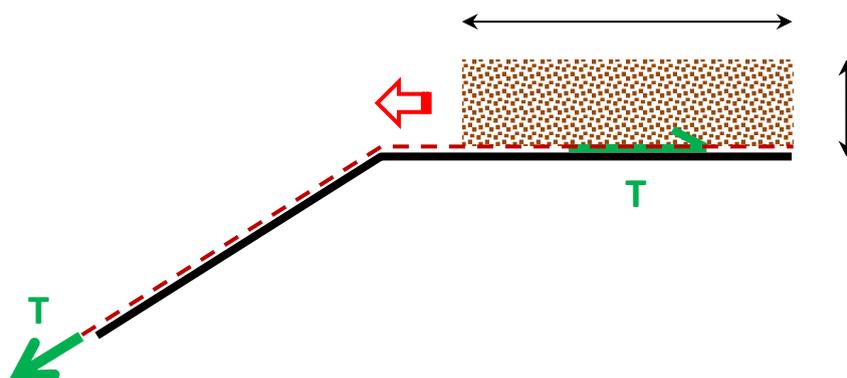


Figure 11. Ancrage plat glissant pour géosynthétiques de protection ou de drainage soumis aux tassements des nouveaux déchets

Les recouvrements perpendiculaires à la pente sont à proscrire compte-tenu des efforts auxquels seront soumis les géosynthétiques. Il convient de s'assurer que la longueur des rampants reste compatible avec la longueur maximale possible des rouleaux en tenant compte des longueurs d'ancrage.

Une épaisseur minimale de matériau est requise pour la circulation des engins de chantier selon les applications et le contexte du chantier (cf. norme NF G38-060).



5. Description/aperçu des normes et règles de conception/justifications disponibles

Une synthèse des principes de dimensionnement retenus dans chacune des normes donne à l'utilisateur un aperçu des mécanismes étudiés. Il prendra ainsi conscience des contraintes qui pèsent sur l'environnement de l'ouvrage ou à l'inverse de l'effet de l'environnement et des conditions de chantier sur le dimensionnement de son ouvrage.

5.1. Talus de couverture

Quelle que soit la catégorie d'ouvrage géotechnique retenue par la maîtrise d'ouvrage pour la conception de son DEG (cf. tableau 2), les stabilités en traction et en ancrage de la structure de protection doivent être vérifiées.

Mécanismes rattachés à un état limite d'instabilité STR ou GEO	ELU type	Catégorie géotechnique 1	Catégories géotechniques 2 et 3
Stabilité au cisaillement des matériaux de recouvrement	GEO/GEO	Non (1)	Oui
Stabilité de la couche de recouvrement sur le dispositif géosynthétique	STR/GEO	Non (1)	Oui
Résistance au cisaillement des interfaces internes des géocomposites en présence de sol représentatif de l'ouvrage	STR	Oui	Oui
Résistance à la traction du géosynthétique de renforcement	STR	Oui	Oui
Résistance d'interaction en ancrage	STR/GEO	Oui	Oui

(1) L'appréciation du risque et du niveau de stabilité à garantir revient au Maître d'Ouvrage. L'option choisie devra être clairement affichée entre les parties (Entreprise et Maître d'Ouvrage) pour organiser à priori la prise en charge de la réparation des zones glissées. On pourra se référer au tableau 1 pour évaluer les risques.

Tableau 2 — Vérifications à réaliser en fonction de la catégorie géotechnique

En revanche, la stabilité au cisaillement interne ou au glissement de la couche de sol de recouvrement sur son support (figures 2a et 2b) n'est pas étudiée lorsque les conditions de site sont simples et connues (lorsque le site ne fait pas l'objet d'étude particulière impactée par la couche de recouvrement), et que les risques sur la sécurité des personnes, sur l'environnement, les constructions avoisinantes et la pérennité du DEG, liés au glissement de la couche de recouvrement, sont faibles ou négligeables (catégorie d'ouvrage géotechnique 1).

Dans le cas des catégories d'ouvrages géotechniques 2 et 3, la connaissance des propriétés

géotechniques des sols disponibles pour la couche de recouvrement est nécessaire.

5.2. Fond et flancs de casier

5.2.1. Fonds de casier

5.2.1.1. Protection

Cf. guide « protection » du CFG non publié à la date de publication de ce fascicule.

5.2.1.2. Renforcement

La méthode et les règles de calcul de renforcement géosynthétique en fond de casier sont détaillées dans le guide « rehausse ».

Méthode de dimensionnement

Le tassement différentiel ou l'affaissement excessif éventuel des anciens déchets peut être assimilé à un affaissement localisé, d'où l'utilisation d'un géosynthétique de renforcement pour sécuriser la zone.

Dans le guide « rehausse », la méthode de calcul développée dans la norme XP G38-065 est utilisée pour calculer la résistance du géosynthétique nécessaire. Cette méthode qui s'applique au cas des sols granulaires a été adaptée pour prendre en compte le comportement des déchets et de certains paramètres spécifiques aux ISD :

- le coefficient d'expansion pour les différents matériaux (argile, matériau drainant, déchets) sera pris égal à 1 ($C_e=1$),
- la surcharge totale due aux poids des nouveaux déchets ne s'applique pas entièrement sur la zone d'affaissement. La surcharge appliquée sur le renforcement est limitée au poids d'un cylindre de parois verticales ($\theta = 90^\circ$), de diamètre D et de hauteur H limitée à $H=3 \times D$ pour les ISDND. Le poids de ce cylindre est donc égal à la somme des poids des différentes barrières active et passive, de la couche support et des déchets sur la hauteur H,
- le frottement et les cisaillements sont négligés sur toute la hauteur des couches intégrées dans le calcul de la charge verticale. Du fait de cette simplification, la formule de Terzaghi ne peut s'appliquer,
- l'affaissement localisé se produit entre deux points durs espacés de quelques centimètres ou mètres. Le diamètre D de cet affaissement est déterminé selon la nature des déchets susceptibles de tasser lors du compactage ou à long terme par dégradation ou consolidation dans le casier sous-jacent. En général, D est compris entre 1,0 et 2,0 m,
- le critère dimensionnant est la déformation du géosynthétique de renforcement qui ne doit pas dépasser la déformation excessive du complexe d'étanchéité pendant la durée de service de l'ouvrage. Le guide « rehausse » retient une déformation excessive de 3% pour une géomembrane en PEHD de 2mm de la barrière active et entre 1-2 % pour la couche d'argile de la barrière passive,
- la température de dimensionnement pour un premier casier de rehausse, en l'absence de possibilité de mesure in situ, ne peut être inférieure à 30°C. Le suivi de la température au niveau du géosynthétique de renforcement de ce casier permettra de dimensionner le géosynthétique des casiers ultérieurs.

La figure 12 visualise les différentes phases de mise en tension du géosynthétique de renforcement. Il peut être sollicité en traction dès le début de la mise en place des couches sus-jacentes et doit reprendre les efforts de traction à long terme pour préserver la pérennité du

système d'étanchéité. Le produit sélectionné doit donc offrir une résistance résiduelle suffisante à long terme après avoir pris en compte les dégradations éventuelles liées à la mise en œuvre (compactage, agressivité mécanique des matériaux, durée d'exposition extérieure), à l'environnement chimique, à la température des déchets et au fluage.

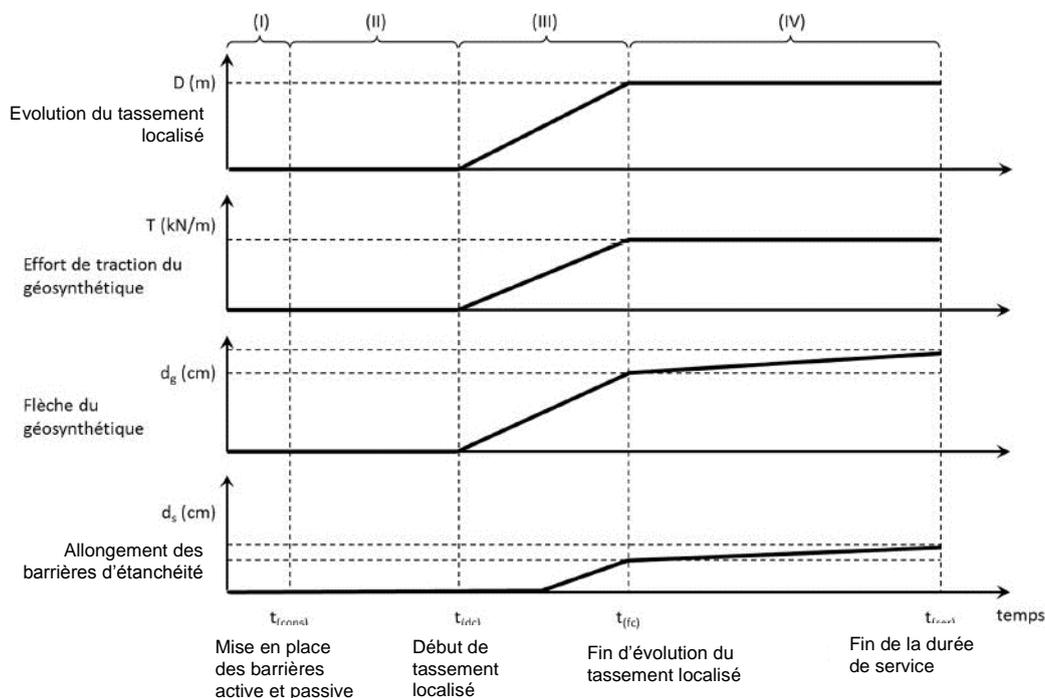


Figure 12. phases de mise en tension du géosynthétique de renforcement suite à un affaissement de la structure sous-jacente

La dégradation du géosynthétique de renforcement dans le cas des ISD est plus moins importante selon :

- la durée de service de l'ouvrage,
- l'éventuel contact avec des lixiviats (phénomène d'hydrolyse alcaline),
- la température à laquelle le géosynthétique sera exposé en service. Il faut donc prendre en considération la température d'exposition dans le dimensionnement du renforcement.

La matière première du géosynthétique de renforcement constitue un critère important : l'hydrolyse alcaline et les températures élevées ont un impact considérable sur la durabilité de certains polymères.

Règles de conception et de dimensionnement

La conception des structures de rehausse d'ISD renforcées par géosynthétique suit les règles usuelles de conception des ouvrages géotechniques. Les principes de justification tiennent compte, entre autres, du cadre normatif en étant conforme aux principes de calcul aux états limites définis dans la norme NF EN 1990 et en respectant les exigences de la norme NF EN 1997-1 applicable au calcul des ouvrages géotechniques.

Le guide « rehausse » préconise une vérification aux états-limites ultimes (ELU) des mécanismes suivants :

- La rupture : rupture en traction du géosynthétique ou rupture de l'ancrage par cisaillement à l'interface géosynthétique de renforcement / sol ;
- La déformation excessive : la déformation conduisant à la rupture des barrières active et passive ne doit pas être atteinte.

Ces états-limites sont à considérer en phase construction et pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage. Dans ce cas, les états-limites de service ne sont pas pris en compte dans le dimensionnement du géosynthétique.

La XP G38-065 distingue l'évaluation des efforts lors de mécanismes entraînant une rupture de tous les composants (rupture en traction du géosynthétique), qu'elle traite aux états-limites ultimes, d'une évaluation des déformations, qu'elle traite aux états-limites de service (ELS). Cette approche est conforme aux Eurocodes (cf. fascicule préliminaire §4.1).

Le guide « rehausse » a une approche différente : il considère qu'il y a rupture de la fonction étanchéité des barrières active et passive si la déformation dépasse la déformation excessive. Il pondère donc les actions et les effets des actions en appliquant l'approche 2 au calcul des déformations aux Etats Limites Ultimes.

Procédure (étapes) de dimensionnement

Détermination de la déformation excessive ϵ_{exc} . En l'absence d'exigences plus pénalisantes, on retient pour les barrières active et passive une déformation excessive dans la géomembrane PEHD : $\epsilon_{exc} = 3\%$ à long terme.



Calcul de la contrainte moyenne q sur le géosynthétique



Calcul de l'effort de traction du géosynthétique T_{max} qui permet de vérifier :

- les états-limites-ultimes du géosynthétique (ELU) à sa déformation à l'effort maximal ϵ_{ult} , et
- les états limites-ultimes (ELU) à la déformation excessive
- les états-limites de service du géosynthétique (ELS) à la déformation maximale admissible ϵ_{adm} à définir par le bureau d'études



Première estimation de la longueur d'ancrage longitudinal minimum nécessaire L_a sur la base d'une valeur par défaut pour le frottement d'interface : $\tan(\varphi_{sol/gsy}) = 0,5 \tan(\varphi_{sol/sol})$, en justifiant que la résistance en ancrage $R_{t,a} \geq T_{max}$

Calcul de la longueur de recouvrement longitudinal minimum nécessaire

Calcul de la largeur de recouvrement transversal minimum

A ce stade le concepteur peut spécifier la résistance de calcul $R_{t,d}$ au terme de la durée de service (synthèse des calculs ELS et ELU).

Chaque producteur devra alors justifier son produit :

Justification à la déformation maximale admissible :

$$R_{t;d}(\varepsilon) (t_{ser}) \geq T_{max}(\varepsilon)$$

(ε_{adm} = à définir par le bureau d'études ou la maîtrise d'œuvre)

cf. fascicule préliminaire §5.2

Justification à la rupture (rupture de l'ouvrage ou ruine des matériaux par déformation excessive) :

$$R_{t;d} \geq T_{max}$$

(ε_{ult} = 3% dans le cas du guide rehausse)

cf. fascicule préliminaire §5.1

L'ancrage prend en compte le frottement sol/géosynthétique. Le recouvrement considère le frottement sol/géosynthétique sur une face et un frottement géosynthétique/géosynthétique pour l'autre face. Le principe de calcul est le même pour les deux cas.

La largeur de recouvrement transversal à prendre en compte dans le cas d'un renforcement monodirectionnel, est la valeur minimum entre : $2 \times \varepsilon_{max} \times D$ et 0,5 m.

5.2.2. Flancs de casiers

Protection : pour mémoire (cf. guide « protection » du CFG non publié à ce jour).

6

6. Informations nécessaires à la conception

Une connaissance la plus exhaustive possible des paramètres d'entrée conduira à des dimensionnements plus précis et plus sûrs. En effet, au-delà des informations essentielles au dimensionnement reprises dans la colonne « obligatoire » des tableaux 3, l'acquisition des autres informations mentionnées dans ces tableaux permet une optimisation technique et financière du projet.

Informations de fond et flancs de casier	Obligatoire	Recommandé	Souhaitable
Géométrie(s) profil(s) critique(s) par section de référence avec les pentes résiduelles, hauteurs et épaisseurs de matériaux	x		
Poids volumique du matériau drainant (kN/m ³)		x(1)	
Poids volumique des déchets (kN/m ³)			x(1)
Nature du DEG (type de géomembrane)	x		
Caractérisation du sol support (granulométrie et portance)		x	
Durée max. d'exposition extérieure	x		
Granulométrie du matériau drainant (d/D)	x		
Forme et angularité du matériau drainant	x		
Coefficient de perméabilité du matériau drainant (équivalence hydraulique) (m/s)			x
Distance maximale à collecteur (longueur de collecte) (m)	x		
Durée de service (cf. chapitre 2)	x		

(1) Valeurs par défaut disponibles

Tableau 3a — Liste et importance des paramètres de conception en protection et drainage de fond et flancs de casiers.

Informations relatives à un dôme	Obligatoire	Recommandé	Souhaitable
Géométrie(s) profil(s) critique(s) par section de référence avec les pentes résiduelles, coupe du DEDG, hauteurs et épaisseurs de matériaux	x		
Poids volumique du sol de couverture (kN/m ³)		x(1)	
Type de sol, coef. de perméabilité, courbe granulométrique du sol de couverture (critères de filtration)	x		
Intensité et durée de la pluie	x		
Taux de ruissellement (%) approprié à la pente	≤ 50%		
Distance maximale à collecteur (longueur de collecte) (m)	x		
Type d'écoulement :	Écoulement dans l'épaisseur du géocomposite uniquement. Aucune hauteur d'eau ne doit être considérée dans la couche de recouvrement		
Caractérisation du sol support (granulométrie et portance)		x(2)	
Durée de service (cf. chapitre 2)	x		

(1) Valeurs par défaut disponibles

(2) Pour la fonction protection sous la géomembrane

Tableau 3b — Liste et importance des paramètres de conception en drainage et protection de dôme

Informations relatives aux talus	Obligatoire	Recommandé	Souhaitable
Géométrie(s) profil(s) critique(s) par section de référence avec les pentes résiduelles, coupe du DEDG, hauteurs et épaisseurs de matériaux	x		
Nature du sol de recouvrement (agressivité mécanique d/D, voire chimique - pH)	x		
Poids volumique du sol de recouvrement (kN/m ³)	x		
Caractéristiques de cisaillement du sol de recouvrement (frottement interne ϕ' , cohésion c')	x		
Intensité et durée de la pluie	x		
Taux de ruissellement (%) approprié à la pente	$\leq 50\%$		
Type d'écoulement :	Ecoulement dans l'épaisseur du géocomposite uniquement. Aucune hauteur d'eau ne doit être considérée dans la couche de recouvrement		
Surcharge neige (kPa)	x(1)		
Caractérisation du sol support (granulométrie)		x (2)	
Durée de service (cf. chapitre 2)	x		

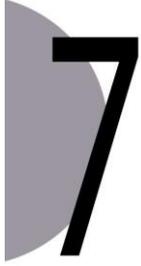
(1) La surcharge neige a une incidence sur la sollicitation en traction du produit de renforcement, elle est considérée par le calcul comme une sollicitation permanente de long terme.

(2) Pour la fonction protection sous la géomembrane

Tableau 3c — Liste et importance des paramètres de conception pour les fonctions stabilisation/drainage/protection en talus

Informations pour une rehausse	Obligatoire	Recommandé	Souhaitable
Géométrie(s) profil(s) critique(s) par section de référence avec les pentes, hauteurs et épaisseurs de matériaux	x		
Coupe du DEDG	x		
Diamètre de calcul de la zone d'affaissement	x		
Poids volumiques des couches sus-jacentes (sols, déchets) (kN/m ³)	x		
Caractéristiques de cisaillement de la couche support (frottement interne ϕ')	x		
Température de service au droit du renforcement		x (30°C par défaut)	
Nature du DEG (type de géomembrane)	x		
Nature du matériau de la couche support (agressivité mécanique, chimique - pH)	x		
Nature du matériau environnant (agressivité mécanique, chimique - pH)		x	
Durée de service (cf. chapitre 2)	x		

Tableau 3d — Liste et importance des paramètres de conception en renforcement de fond de casier



7. Spécifications relevant d'un dimensionnement

7.1. Protection/drainage de fond (pente <14%) et flancs de casiers (pente ≥14%)

7.1.1. Hypothèses générales

En fond de casier, le drainage est généralement assuré par une couche drainante en matériau granulaire d'une épaisseur de 0,5 m de coefficient de perméabilité inférieur ou égal à 10^{-4} m/s. Une solution alternative consiste à la remplacer par une épaisseur minimale de 0,3 m des mêmes matériaux granulaires pour assurer la filtration et la protection du dispositif d'étanchéité (DEG) sous-jacent vis-à-vis des déchets, avec en sous-face, un géocomposite de drainage qui justifie d'une équivalence hydraulique avec les 0,2 m de matériaux granulaires remplacés.

En revanche, la fonction drainage est souvent secondaire sur les flancs de casiers où la fonction protection est prépondérante.

7.1.2. Prescription protection/drainage de fond et flancs de casiers

Le tableau 4a indique, par fonction, les éléments que doit fournir la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO) dans les pièces de marché.

TOUTES fonctions		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
	<ul style="list-style-type: none"> • Catégorie Géotechnique 2 • Classe de conséquence pour l'ouvrage : ISDND : classe de conséquence CC1 ISDD : classe de conséquence CC2 • Durée de service (cf. chapitre 2) 	
Fonction DRAINAGE		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
Débit à drainer Q_D : Fond : supérieur ou égal à la capacité de débit d'évacuation de 20 cm de matériaux de coef. de perméabilité 10^{-4} m/s sous la charge des déchets (contrainte de compression)	<ul style="list-style-type: none"> • Pente du fond et des flancs • Hauteur et poids volumique des déchets • Poids volumique des 0,3m de matériaux drainants en fond • Facteur de sécurité relatif au drainage de lixiviats ($\geq 1,10$) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gradient hydraulique • Contrainte de compression • Type d'interface lors de l'essai de capacité de débit EN ISO 12958 : plaque rigide (R) sur une face, couche de mousse (M) normalisée sur l'autre face en tenant compte des procédures spéciales du recueil des méthodes d'essais des géotextiles et produits apparentés de l'Asqual
Résistance à la traction et allongement nécessaires à la mise en œuvre.		
Durabilité : se référer à la norme d'application NF EN 13252.	Le cas échéant : <ul style="list-style-type: none"> • Durée d'exposition extérieure prolongée ou exposition au seul rayonnement solaire (kLy), • résistance à la traction résiduelle souhaitée 	Etude spécifique
Fonction PROTECTION		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
pour mémoire (cf. guide « protection » du CFG non publié à ce jour)		

NOTE : Le dimensionnement des caractéristiques d'ouverture de filtration et de perméabilité pour des lixiviats, de nature très variable d'un site à l'autre, reste délicat. Aucune règle n'est disponible à la date d'élaboration de ce fascicule.

Tableau 4a — Spécifications nécessaires en fond et flancs de casier

7.1.3. Justification protection/drainage de fond et flancs de casiers

Le tableau 4b indique, par fonction, les justifications que doit apporter l'adjudicataire à la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou à l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO).

Fonction DRAINAGE	
Performances à justifier	Caractéristiques à justifier
Capacité de débit dans le plan du géocomposite de drainage permettant d'assurer le débit à drainer Q_D	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de débit dans le plan du géocomposite de drainage (valeur nominale – tolérance à 95%) déterminée selon la norme NF EN ISO 12958 : <ul style="list-style-type: none"> ○ Soit directement sous la contrainte verticale spécifiée, soit à partir d'une interpolation entre deux mesures sous des contraintes encadrant la contrainte spécifiée. ○ Directement pour le gradient hydraulique spécifié (pente du fond) ou pour des gradients encadrant le gradient spécifié. ○ Entre une plaque rigide (R) sur une face et une couche de mousse (M) normalisée sur l'autre face en tenant compte des procédures spéciales du recueil des méthodes d'essais des géotextiles et produits apparentés de l'Asqual. • Facteurs de réduction pour la durée de service spécifiée cf. §5 fascicule préliminaire
Résistance à la traction caractéristique et allongement	Exigences de mise en œuvre
Durabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Durée d'exposition admissible par le géosynthétique selon la norme NF EN 13252 annexe B et résistance aux pH >9 • Le cas échéant résistance en traction résiduelle pour la durée d'exposition extérieure

Fonction PROTECTION	
Performances à justifier	Caractéristiques à justifier
pour mémoire (cf. guide « protection » du CFG non publié à ce jour)	

Tableau 4b — Justifications requises en fond et flancs de casier.

7.2. Drainage/protection en dôme (pente <14%)

7.2.1. Hypothèses générales

En dôme, plusieurs approches sont disponibles :

Approche 1 : La couche drainante en matériau granulaire d'une épaisseur de 0,5 m prévue par l'Arrêté Ministériel peut être partiellement ou totalement remplacée par un géocomposite de drainage sous réserve qu'il justifie d'une équivalence hydraulique. Cette approche ne tient pas compte des spécificités locales (pluviométrie, sols en place).

Approches 2A et 2B : La norme NF G38-061 (§4.2.2) propose deux approches A et B basées l'une sur la perméabilité du sol de couverture (approche A qui suppose de pouvoir garantir la perméabilité du sol de couverture dans le temps et l'espace), l'autre sur un volume de précipitations pénétrant effectivement dans le dispositif de drainage (approche B) en fonction de la durée de l'évènement pluvieux considéré et du taux d'infiltration dépendant de la pente. Il est recommandé de considérer une période de retour décennale.

Approche 3 : Le guide « couvertures » se place lui dans le cas de précipitations exceptionnelles nécessitant des collecteurs beaucoup plus rapprochés :

- en retenant une occurrence de précipitation décennale pour une durée de pluie d'une heure. L'intensité de pluie peut être déterminée à l'aide de la formule de Montana dont les coefficients locaux peuvent être obtenus auprès des services de Météo France. Afin d'intégrer un évènement pluvieux de caractère exceptionnel, on recommande la prise en compte d'un coefficient de 1,5 sur la pluviométrie calculée à partir des coefficients a et b de Montana (cf. carte des régions de pluviométrie homogène fournie à titre indicatif en annexe),
- en tenant compte d'un taux d'infiltration de 50%.

7.2.2. Prescription drainage/protection en dôme

Le tableau 5a indique, par fonction, les éléments que doit fournir la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO) dans les pièces de marché.

TOUTES fonctions		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
	<ul style="list-style-type: none"> • Catégorie Géotechnique 2 • Classe de conséquence pour l'ouvrage : ISDND : classe de conséquence CC1 ISDD : classe de conséquence CC2 • Durée de service (cf. chapitre 2) 	
Fonction DRAINAGE		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
Débit à drainer Q_D : cf. norme NF G38-061	<ul style="list-style-type: none"> • Gradient hydraulique : Il correspond au sinus de la pente car il n'intègre pas de charge hydraulique dans la couche de recouvrement (la charge hydraulique est limitée à l'épaisseur du produit sous confinement) • Epaisseur et poids volumique de la couche de recouvrement • Distance à l'exutoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Gradient hydraulique • Contrainte de compression • Type d'interface lors de l'essai de capacité de débit en tenant compte des procédures spéciales du recueil des méthodes d'essais des géotextiles et produits apparentés de l'Asqual : <ul style="list-style-type: none"> ○ Sur une géomembrane PEHD ou une barrière minérale reconstituée : option Rigide/Mousse ○ Sur un géosynthétique bentonitique : option Mousse/Mousse
Résistance à la traction et allongement nécessaires à la mise en œuvre.		
Durabilité : se référer à la norme d'application NF EN 13252.	Durée de service (cf. chapitre 2)	Une attention particulière doit être portée sur la durée d'exposition avant recouvrement selon la norme NF EN 12224
Fonction PROTECTION		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
pour mémoire (cf. guide « protection » du CFG non publié à ce jour)		

NOTE : L'ouverture de filtration et la perméabilité du géotextile de filtration peuvent être justifiées conformément à la norme NF G38-061.

Tableau 5a — Spécifications nécessaires en dôme

7.2.3. Justification drainage/protection en dôme

Le tableau 5b indique, par fonction, les justifications que doit apporter l'adjudicataire à la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou à l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO).

Fonction DRAINAGE	
Performances à justifier	Caractéristiques à justifier
Capacité de débit dans le plan du géocomposite de drainage permettant d'assurer le débit à drainer Q_D	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de débit dans le plan du géocomposite de drainage (valeur nominale – tolérance à 95%) déterminée selon la norme NF EN ISO 12958 en tenant compte des procédures spéciales du recueil des méthodes d'essais des géotextiles et produits apparentés de l'Asqual : <ul style="list-style-type: none"> ○ Soit directement sous la contrainte verticale spécifiée, soit à partir d'une interpolation entre deux mesures sous des contraintes encadrant la contrainte spécifiée. ○ Directement pour le gradient hydraulique spécifié (pente du dôme) ou pour des gradients encadrant le gradient spécifié ○ Avec les interfaces suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur une géomembrane PEHD ou une barrière minérale reconstituée : option Rigide/Mousse ▪ Sur un géosynthétique bentonitique : option Mousse/Mousse • Facteurs de réduction pour la durée de service spécifiée cf. §5 fascicule préliminaire
Résistance à la traction caractéristique et allongement	Exigences de mise en œuvre
Durabilité	Durée d'exposition admissible par le géosynthétique et sa durée de vie, selon la norme NF EN 13252 annexe B

Fonction PROTECTION	
Performances à justifier	Caractéristiques à justifier
pour mémoire (cf. guide « protection » du CFG non publié à ce jour)	

Tableau 5b — Justifications requises en dôme.

7.3. Stabilité/Drainage/Protection en talus (pente $\geq 14\%$)

7.3.1. Hypothèses générales

En couverture, plusieurs approches sont disponibles :

Approche 1 : La couche drainante en matériau granulaire d'une épaisseur de 0,5 m prévue par l'Arrêté Ministériel peut être partiellement ou totalement remplacée par un géocomposite de drainage sous réserve qu'il justifie d'une équivalence hydraulique. Cette approche ne tient pas compte des spécificités locales (pluviométrie, sols en place).

Approches 2A et 2B : La norme NF G38-061 (§4.2.2) propose deux approches A et B basées l'une sur la perméabilité du sol de couverture (approche A qui suppose de pouvoir garantir la perméabilité du sol de couverture dans le temps et l'espace), l'autre sur un volume de précipitations pénétrant effectivement dans le dispositif de drainage (approche B) en fonction de la durée de l'évènement pluvieux considéré et du taux d'infiltration dépendant de la pente. Il est recommandé de considérer une période de retour décennale.

Approche 3 : Le guide « couvertures » se place lui dans le cas de précipitations exceptionnelles nécessitant des collecteurs beaucoup plus rapprochés :

- en retenant une occurrence de précipitation décennale pour une durée de pluie d'une heure. L'intensité de pluie peut être déterminée à l'aide de la formule de Montana dont les coefficients locaux peuvent être obtenus auprès des services de Météo France. Afin d'intégrer un évènement pluvieux de caractère exceptionnel, on recommande la prise en compte d'un coefficient de 1,5 sur la pluviométrie calculée à partir des coefficients a et b de Montana (cf. carte des régions de pluviométrie homogène fournie à titre indicatif en annexe),
- en tenant compte d'un taux d'infiltration de 50%.

7.3.2. Prescription stabilité/drainage/protection en talus

Le tableau 6a indique, par fonction, les éléments que doit fournir la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO) dans les pièces de marché.

TOUTES fonctions		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
	<ul style="list-style-type: none">• Catégorie Géotechnique 2• Classe de conséquence pour l'ouvrage : ISDND : classe de conséquence CC1 ISDD : classe de conséquence CC2• Durée de service (cf. chapitre 2)	

Fonction RENFORCEMENT		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
Valeur de calcul $T_{max ;d}$ de l'effort de traction maximal dans le géosynthétique	<p>Angle minimum des frottements d'interfaces, et caractéristiques de cisaillement interne du sol de recouvrement selon le niveau de risque admissible vis-à-vis d'un glissement de terre de surface</p> <p>NOTE : afin de minimiser le plus possible les efforts transmis à la géomembrane par frottement, l'interface la moins frottante depuis la couche de fermeture jusqu'à la couche de végétalisation devra se situer au-dessus de la géomembrane.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Résistance à la traction : norme NF EN ISO 10319 et guide ISO TR 20432 Interfaces géosynthétiques : Normes d'essais NF EN ISO 12957-1 ou -2 avec des contraintes représentatives du projet Couche de végétalisation : elle ne sera jamais compactée mais seulement fermée, les essais de laboratoire ne sont pas pertinents pour représenter les conditions de site, seule une planche d'essai représentative des conditions du chantier est pertinente.
Allongement post construction entre 10h et la durée de service.	3% maximum	Guide ISO TR 20432

Fonction DRAINAGE		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
Débit à drainer Q_D : cf. norme NF G38-061	<ul style="list-style-type: none"> Gradient hydraulique : Il se calcule à partir de la seule pente du talus, sans considération de charge hydraulique supplémentaire Epaisseur et poids volumique de la couche de recouvrement Longueur du rampant 	<ul style="list-style-type: none"> Gradient hydraulique Contrainte de compression Type d'interface lors de l'essai de capacité de débit en tenant compte des procédures spéciales du recueil des méthodes d'essais des géotextiles et produits apparentés de l'Asqual : <ul style="list-style-type: none"> Sur une géomembrane PEHD ou une barrière minérale reconstituée : option Rigide/Mousse

		<ul style="list-style-type: none"> ○ Sur un géosynthétique bentonitique : option Mousse/Mousse
Résistance à la traction et allongement nécessaires à la mise en œuvre.		
Durabilité : se référer à la norme d'application NF EN 13252.	Durée de service (cf. chapitre 2)	Une attention particulière doit être portée sur la durée d'exposition avant recouvrement selon la norme NF EN 12224

Fonction PROTECTION		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
pour mémoire (cf. guide « protection » du CFG non publié à ce jour)		

Tableau 6a — Spécifications nécessaires en talus

7.3.3. Justification stabilité/drainage/protection en talus

Le tableau 6b indique, par fonction, les justifications que doit apporter l'adjudicataire à la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou à l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO).

Fonction RENFORCEMENT	
Performances à justifier	Caractéristiques à justifier
Résistance à la traction caractéristique	Note de calcul avec les caractéristiques d'interface du dispositif retenu pour l'exécution
Allongement post construction	Courbes isochrones
Résistance de l'ancrage	Note de calcul avec la géométrie et les caractéristiques d'interface du dispositif d'ancrage retenu pour l'exécution

Fonction DRAINAGE	
Performances à justifier	Caractéristiques à justifier
Capacité de débit dans le plan du géocomposite de drainage permettant d'assurer le débit à drainer Q_D	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de débit dans le plan du géocomposite de drainage (valeur nominale – tolérance à 95%) déterminée selon la norme NF EN ISO 12958 en tenant compte des procédures spéciales du recueil des méthodes d'essais des géotextiles et produits apparentés de l'Asqual : <ul style="list-style-type: none"> ○ Soit directement sous la contrainte verticale spécifiée, soit à partir d'une interpolation entre deux mesures sous

	<p>des contraintes encadrant la contrainte spécifiée.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Directement pour le gradient hydraulique spécifié (pente des talus) ou pour des gradients encadrant le gradient spécifié ○ Avec les interfaces suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sur une géomembrane PEHD ou une barrière minérale reconstituée : option Rigide/Mousse ▪ Sur un géosynthétique bentonitique : option Mousse/Mousse <ul style="list-style-type: none"> • Facteurs de réduction pour la durée de service spécifiée cf. §5 fascicule préliminaire
Résistance à la traction caractéristique et allongement	Exigences de mise en œuvre
Durabilité	Durée d'exposition admissible par le géocomposite de drainage et sa durée de vie, selon la norme NF EN 13252 annexe B

Fonction PROTECTION		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
pour mémoire (cf. guide « protection » du CFG non publié à ce jour)		

Tableau 6b — Justifications requises en talus.

7.4. Renforcement de fond de casier

7.4.1. Hypothèses générales

Lorsque le support présente des risques d'affaissements localisés d'amplitude décimétrique (rehausse de casier), l'interposition d'un géosynthétique de renforcement dans la couche support sous la barrière passive est nécessaire pour limiter une mise en tension du DEG. Son dimensionnement relève de la norme XP G38-065 et du guide « rehausse ».

Pour simuler ces phénomènes d'affaissements localisés en rehausse de casier, on considère en général un diamètre nominal d'affaissement cylindrique de 1 à 2 m avec une déformation excessive de la géomembrane de 3% à long terme à l'état limite ultime (rupture de la fonction étanchéité).

Le foisonnement dans la couche d'argile étant négligé, ce critère de déformation excessive de 3% s'applique également au géosynthétique de renforcement.

L'effort vertical sur le géosynthétique est calculé en considérant le poids du cylindre de matériau situé au-dessus du géosynthétique comprenant la couche support située au-dessus du géosynthétique de renforcement, la barrière passive, la couche drainante et une hauteur de déchets de n fois le diamètre considéré (cf. figure 4).

La fermentation des déchets conduit à la prise en compte d'une température d'au moins 30°C

pour le calcul.

7.4.2. Prescription renforcement de fond de casier

Le tableau 7a indique, par fonction, les éléments que doit fournir la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO) dans les pièces de marché.

TOUTES fonctions		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
	<ul style="list-style-type: none"> • Catégorie Géotechnique 2 ou 3* • Classe de conséquence pour l'ouvrage : ISDND : classe de conséquence CC1 ou CC2* ISDD : classe de conséquence CC2 ou CC3* <i>*en fonction du contexte naturel et humain du site</i> • Durée de service (cf. chapitre 2) 	

Fonction RENFORCEMENT		
Performances à spécifier	Hypothèses de conception à fournir	Conditions d'essai pertinentes à spécifier
Valeur de calcul de l'effort de traction à 3% de déformation à long terme dans le géosynthétique	Distinction des données en fond et flancs le cas échéant : <ul style="list-style-type: none"> • Hauteur et poids volumique des déchets, épaisseur et poids volumique de la couche drainante, de la couche d'argile et de la couche support, pente du talus • Diamètre de l'affaissement localisé à considérer (en général de 1 à 2 m) • Allongement excessif à long terme de 3% à l'état limite ultime du géosynthétique de renforcement 	Température à définir au cas par cas en fonction des conditions d'exploitation du casier et des matières stockées.
Durabilité :	Le cas échéant :	

se référer à la norme d'application NF EN 13252.	Durée d'exposition extérieure prolongée ou exposition au seul rayonnement solaire (kLy), NOTE : une attention particulière doit être portée à la protection des zones en attente	
--	---	--

Tableau 7a — Spécifications nécessaires en renforcement de fond de casier

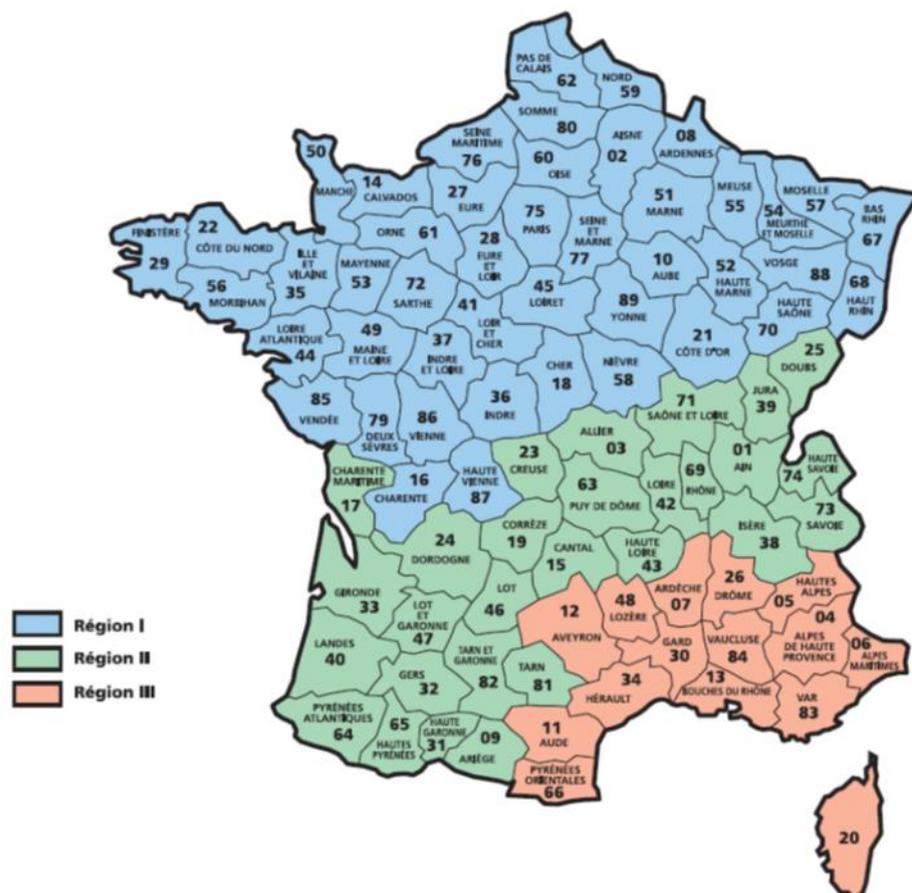
7.4.3. Justification renforcement de fond de casier

Le tableau 7b indique, par fonction, les justifications que doit apporter l'adjudicataire à la Maîtrise d'Œuvre (MOE) ou à l'assistant à la Maîtrise d'Ouvrage (AMO).

Fonction RENFORCEMENT	
Performances à justifier	Caractéristiques à justifier
Résistance à la traction caractéristique	<ul style="list-style-type: none"> • Note de calcul de T_{max} • Isochrones pour les conditions de l'ouvrage (température, durée de service) • Facteurs de réduction relatifs à l'endommagement de mise en œuvre, au vieillissement, à l'exposition extérieure. • Angle minimum des frottements d'interfaces
Résistance de l'ancrage	Note de calcul concernant : <ul style="list-style-type: none"> • La géométrie et les caractéristiques d'interface du dispositif d'ancrage retenu pour l'exécution • Les recouvrements entre deux rouleaux consécutifs NOTE : on favorisera l'utilisation des produits monodirectionnels et/ou des couches croisées afin d'assurer les ancrages
Durabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Durée d'exposition admissible par le géosynthétique selon la norme NF EN 13252 annexe B • Le cas échéant, résistance résiduelle au terme de la durée d'exposition extérieure.

Tableau 7b — Justifications requises en renforcement de fond de casier

Annexe : Carte des régions de pluviométrie homogène



Carte des régions de pluviométrie homogène

Selon l’Instruction Technique IT 77-284 relative aux Réseaux d’assainissement des Agglomérations, les valeurs de coefficients de Montana à en prendre en compte sont :

Région I : $a = 5,9$, $b = 0,59$;

Région II : $a = 6,7$, $b = 0,55$;

Région III : $a = 6,4$, $b = 0,44$.



www.cfg.asso.fr