

# Recommandations pour la protection contre le poinçonnement des géomembranes

**Édition 2021**

# Recommandations pour la protection contre le poinçonnement des géomembranes

Édition 2021

<b>1</b>	<b>Présentation du guide.....</b>	<b>4</b>
1.1	Objectifs du guide .....	4
1.2	Enjeux de protection des géomembranes contre l'endommagement par poinçonnement .....	4
1.3	Protection contre l'endommagement et développement durable .....	5
1.4	Références normatives et à d'autres guides de recommandations .....	6
1.5	Avertissement sur le cadre d'utilisation de ce guide.....	7
<b>2</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>8</b>
2.1	Présentation générale des géosynthétiques .....	8
2.1.1	Définitions des géosynthétiques .....	8
2.1.2	Géomembranes .....	8
2.1.3	Géotextiles.....	8
2.1.4	Géosynthétiques bentonitiques .....	8
2.1.5	Géocomposites.....	9
2.2	Notion de DEG .....	9
2.2.1	Généralités.....	9
2.2.2	Structure support (sous la géomembrane) .....	9
2.2.3	Structure de protection (sur la géomembrane) .....	10
<b>3</b>	<b>Origine, typologie et admissibilité des endommagements.....</b>	<b>11</b>
3.1	Origine .....	11
3.1.1	Actions dynamiques .....	12
3.1.2	Actions statiques .....	12
3.2	Typologies des endommagements.....	12
3.3	Effet des endommagements.....	13
3.4	Niveaux admissibles d'endommagements.....	13
<b>4</b>	<b>Eléments ayant une influence sur l'endommagement.....</b>	<b>16</b>
4.1	Influence des caractéristiques des géosynthétiques .....	16
4.1.1	Géomembranes.....	16
4.1.2	Géotextiles .....	16
4.1.3	Géocomposites incluant la fonction drainage.....	16
4.1.4	Géosynthétiques bentonitiques.....	16
4.1.5	Durabilité des géotextiles et produits apparentés .....	17
4.2	Influence des caractéristiques des matériaux naturels et anthropiques constitutifs ou en contact avec le DEG .....	18
4.2.1	Spécificités dans le cas des sols fins .....	18
4.2.2	Spécificités dans le cas des sols grossiers .....	18
4.2.3	Déchets et sous-produits industriels .....	19
4.2.4	Superposition de plusieurs couches.....	19
4.3	Influence des conditions de mise en œuvre de l'ouvrage .....	19

4.3.1	Sollicitations critiques selon le type d'ouvrage .....	19
4.3.2	Influence des conditions de mise en œuvre .....	20
4.3.3	Influence des conditions d'exploitation .....	21
4.3.4	Végétation .....	22
4.3.5	Faune et activité humaine.....	22
<b>5</b>	<b><i>Dimensionnement de la protection</i></b> .....	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD</b> .....	<b>22</b>
5.1.1	Introduction .....	22
5.1.2	Critère de déformation admissible (géomembrane PEHD en fond d'ISD) .....	24
5.1.3	Critère de déformation admissible (géomembrane PEHD en fond d'ISD) .....	25
5.1.4	Détermination d'une relation entre une valeur issue d'un essai de performance et deux valeurs issues d'essais index .....	25
5.1.5	Détermination d'une recommandation vis-à-vis de la protection dans le cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD.....	26
5.1.6	Recommandations vis-à-vis de la protection dans le cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD	26
<b>5.2</b>	<b>Cas des ouvrages hydrauliques</b> .....	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Dimensionnement sur la base d'essais de performance et/ou de planches d'essais</b> .....	<b>28</b>
<b>6</b>	<b><i>Prescriptions relatives à la mise en œuvre</i></b> .....	<b>28</b>
<b>6.1</b>	<b>Généralités (planification)</b> .....	<b>28</b>
<b>6.2</b>	<b>Végétation</b> .....	<b>28</b>
<b>6.3</b>	<b>Structure support</b> .....	<b>28</b>
<b>6.4</b>	<b>Mise en œuvre du DEG</b> .....	<b>29</b>
<b>6.5</b>	<b>Structure de protection</b> .....	<b>29</b>
6.5.1	Recommandations générales relatives à la structure de confinement et de protection .....	29
6.5.2	Dispositions constructives .....	30
6.5.3	Spécificités par ouvrage .....	31
<b>7</b>	<b><i>Prescriptions relatives à l'exploitation de l'ouvrage</i></b> .....	<b>31</b>
<b>7.1</b>	<b>Circulation sur géomembrane recouverte / entretien</b> .....	<b>31</b>
<b>7.2</b>	<b>Circulation sur géomembrane non recouverte / entretien</b> .....	<b>32</b>
<b>7.3</b>	<b>Recommandations spécifiques par ouvrage</b> .....	<b>32</b>
7.3.1	ISD .....	32
7.3.2	Retenues d'altitude.....	32
<b>8</b>	<b><i>Références</i></b> .....	<b>33</b>

# 1 Présentation du guide

## 1.1 Objectifs du guide

Le groupe de travail « protection contre l'endommagement des géomembranes » du Comité Français des Géosynthétiques (CFG) œuvre depuis plusieurs années à l'approfondissement des connaissances sur l'endommagement des géomembranes. Après recensement des nombreuses données et la réalisation d'une campagne expérimentale, l'aboutissement du travail est ce guide de recommandations pour le dimensionnement de la protection des géomembranes contre l'endommagement par poinçonnement, excluant de fait tout autre type d'endommagement.

Les géomembranes peuvent être exposées à des sollicitations mécaniques de poinçonnement sévères conduisant à leur endommagement. Ces sollicitations, rencontrées à la mise en œuvre et/ou en service, peuvent engendrer des dégâts, allant du défaut de surface au percement de la géomembrane, et nuisant ainsi à son intégrité et à sa pérennité en tant que produit d'étanchéité.

Le dimensionnement des dispositifs d'étanchéité par géomembrane (DEG) a pour objectif d'éviter toute perte d'étanchéité, propriété fonctionnelle principale des DEG, résultant de l'endommagement en phase constructive et opérationnelle. Même si les aspects mécaniques de traction sont à prendre en compte dans le dimensionnement d'un DEG, et ce notamment sur les talus (reprise des efforts de traction par un autre produit que la géomembrane et modélisation de la stabilité sur pente), le DEG doit avant tout être conçu pour limiter l'endommagement par poinçonnement de la géomembrane.

Les ouvrages concernés sont les installations de stockage de déchets, les confinements de sols pollués sur sites et les ouvrages hydrauliques (bassins de rétention, canaux, ...). Le dimensionnement en barrages et tunnels est régi par des recommandations spécifiques émanant d'autres organismes tels que le CETU ; il ne sera donc pas traité dans ce fascicule.

## 1.2 Enjeux de protection des géomembranes contre l'endommagement par poinçonnement

Dans les domaines aussi variés que l'environnement, le génie civil et le terrassement, la mise en œuvre d'une structure d'étanchéité vise à séparer deux milieux distincts qui, dans bien des cas, ne doivent jamais rentrer en contact l'un avec l'autre. Si une rupture de l'étanchéité survenait, deux phénomènes se produiraient :

- fuite de la matière stockée et propagation de cette matière dans le milieu extérieur ;
- mélange des deux milieux.

Ces désordres peuvent avoir des conséquences importantes d'un point de vue humain, environnemental, économique, technique, comme pour l'ouvrage lui-même et pour son exploitation. L'impact environnemental pourrait consister en une pollution des sols, des eaux de surface et des eaux souterraines. La faune et la flore pourraient s'en trouver affectées. Des moyens techniques et économiques importants devraient alors être mis en œuvre pour dépolluer le site et réparer l'ouvrage. Selon la nature du produit incriminé et le milieu dans lequel il se propage, il se pourrait que l'activité humaine avoisinante et l'économie locale soient également touchées. L'incidence économique serait alors bien plus importante.

Comme le milieu dans lequel il évolue, l'homme peut se trouver gravement affecté par la rupture de l'étanchéité d'un ouvrage. Les risques encourus seront dus :

- soit à des désordres dans l'ouvrage (instabilités de talus, affaissements, voies non circulables, etc.) ;
- soit, dans un état ultime, à la rupture de l'ouvrage lui-même, pouvant engendrer un accident avec des dommages physiques et corporels immédiats ;
- soit à la fuite et à la propagation de la matière stockée, entraînant des impacts sanitaires par contact direct ou indirect.

Dans tous les cas, les répercussions économiques peuvent être notables :

- perte de la matière stockée, lorsqu'il s'agit d'un produit onéreux ;
- indisponibilité de l'ouvrage et pertes d'exploitation (solution de remplacement, indemnisation de l'exploitant, ...) ;
- réparations en sous œuvre ou réfection partielle ou totale ;
- prime d'assurance ;
- indemnisations lorsque les activités économiques des tiers sont impactées ;
- etc.

Afin de se prémunir des conséquences et impacts issus de défauts de la structure d'étanchéité, il convient de maintenir cette structure intacte, aussi bien lors de la mise en œuvre qu'en phase d'exploitation. Le choix de la structure de protection est donc essentiel et ne doit suivre qu'un seul objectif : empêcher toute détérioration de l'étanchéité afin que celle-ci conserve sa fonction au sein de l'ouvrage aussi longtemps que nécessaire.

### ***1.3 Protection contre l'endommagement et développement durable***

Selon la définition proposée en 1987 par la commission mondiale sur l'environnement et le développement, le Développement Durable est : « Un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs [...] ».

Face à l'urgence de la crise écologique et sociale qui se manifeste désormais de manière mondialisée, le Développement Durable est une réponse de tous les acteurs (états, marché, société civile) pour reconsidérer la croissance économique à l'échelle mondiale afin de prendre en compte les aspects environnementaux, sociaux et sociétaux du développement. Tous les secteurs d'activité sont concernés. Il en va ainsi des applications des matériaux géosynthétiques.

Leur utilisation permet en effet de limiter les prélèvements des ressources naturelles en réduisant par exemple les quantités de matériaux prélevés dans le milieu naturel (granulats, sable, argile) :

- remplacement d'une couche d'argile par des géomembranes ou des géosynthétiques bentonitiques ;
- remplacement d'une couche de sable par un géotextile de protection (ou anti-poinçonnant) pour protéger les géomembranes ;
- remplacement d'une couche de matériaux granulaires par un géocomposite de drainage.

Elle contribue également à réduire la dépendance aux énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre, même si à ce jour la matière première utilisée est majoritairement issue de la transformation des hydrocarbures.

En effet, bien que les ouvrages utilisant des géosynthétiques nécessitent la consommation d'énergie fossile, au même titre que les autres matériaux de construction, la quantité de matériaux à transporter est réduite par rapport à une solution conventionnelle.

Certains aspects de l'utilisation des matériaux géosynthétiques sont à la fois sociaux et environnementaux. En effet, les matériaux géosynthétiques participent à la protection des hommes contre les risques naturels et technologiques.

Il est difficile de scinder les nombreuses applications des matériaux géosynthétiques entre les dimensions « sociale » et « environnementale », tant leur utilisation est à l'intersection des deux domaines et participe au caractère « vivable » de notre monde. Relevons cependant la part croissante que revêt l'utilisation des matériaux géosynthétiques dans la réhabilitation des sites impactés par des polluants, celle d'anciennes exploitations minières, la protection des nappes souterraines et des milieux aquatiques, la construction de bassins, d'ouvrages d'assainissement, d'installations de stockage de déchets, le stockage d'effluents polluants, la production des énergies renouvelables, la construction de réservoirs et de barrages.

La protection contre l'endommagement des géomembranes est au cœur des préoccupations relatives à l'utilisation des géosynthétiques dans ces différents ouvrages, afin de garantir la pérennité de la fonction étanchéité.

#### ***1.4 Références normatives et à d'autres guides de recommandations***

Que ce soit pour les géomembranes et les géotextiles, dans le cadre du marquage CE, qui impose aux producteurs d'éditer des déclarations de performances de leurs produits, il existe des normes d'applications (également appelées normes harmonisées) précisant les caractéristiques requises des produits en fonction de leurs applications.

Pour les géomembranes, les normes d'application concernées pour le présent guide sont :

- NF EN 13361 :2018 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des réservoirs et des barrages,
- NF EN 13362 :2018 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des canaux,
- NF EN 13492 :2018 Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des sites d'évacuation de résidus liquides, des stations de transfert ou enceintes de confinement secondaire,
- NF EN 13493 :2018 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des ouvrages de stockage et d'enfouissement de déchets solides,
- NF EN 15382 :2018 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les infrastructures de transport.

Pour les géotextiles, les normes d'application concernées pour le présent guide sont :

- NF EN 13249 :2017 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de routes et autres zones de circulation (à l'exclusion des voies ferrées et des couches de roulement),
- NF EN 13251 :2017 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour les travaux de terrassement, les fondations et les structures de soutènement.
- NF EN 13254 :2017 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de réservoirs et de barrages,

- NF EN 13255 :2017 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de canaux,
- NF EN 13257 :2016 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les ouvrages d'enfouissement des déchets solides,
- NF EN 13265 :2017 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les projets de confinement de déchets liquides.

Ce guide vient compléter, sur la problématique spécifique du poinçonnement des géomembranes, d'autres guides de recommandations du CFG, et en particulier :

- le guide de « Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes », CFG (2017),
- le guide « Recommandations générales pour l'utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets » CFG (1995),
- Le guide « Guide pour la réalisation de planches d'essais d'endommagement » CFG (2001).

### ***1.5 Avertissement sur le cadre d'utilisation de ce guide***

Comme chaque guide de recommandations du CFG, ce guide n'a pas été soumis à la procédure d'homologation et ne peut en aucun cas être assimilé à une norme française. Son utilisation relève d'une démarche volontaire.

Ce guide est un recueil de définitions, d'informations et de recommandations.

## **2 Généralités**

### **2.1 Présentation générale des géosynthétiques**

#### **2.1.1 Définitions des géosynthétiques**

Le terme géosynthétique est un terme générique désignant un produit, dont au moins un des constituants est à base de polymère synthétique ou de fibres naturelles, se présentant sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil. Les géosynthétiques assurent une ou plusieurs fonctions parmi les suivantes : étanchéité, protection, drainage, filtration, séparation, renforcement, résistance à l'érosion interne. Ces différentes fonctions sont définies par la norme NF EN ISO 10318-1/2 :2015.

#### **2.1.2 Géomembranes**

D'après la norme française NF P84-500 :2013 une géomembrane est un produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, soudable, étanche au liquide même sous les sollicitations en service.

Dans l'état actuel des techniques, ni les produits de faible épaisseur fonctionnelle (inférieure à 1 mm), ni les produits manufacturés d'une largeur inférieure à 1,5 m, ni les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériau argileux, ne sont considérés comme des géomembranes. Il existe deux types de géomembranes, polymériques ou bitumineuses.

#### **2.1.3 Géotextiles**

Un géotextile est défini par la norme NF EN ISO 10318-1/2 :2015 comme une matière textile perméable et à base de polymère (naturel ou synthétique), pouvant être non tissée, tricotée ou tissée, utilisée en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

La norme définit également un géotextile non tissé comme un géotextile fait de fibres, de filaments ou d'autres éléments orientés directionnellement ou de façon aléatoire et liés de façon mécanique et/ou thermique et/ou chimique.

Les géotextiles ou produits apparentés peuvent assurer différentes fonctions dans un ouvrage : la séparation, le drainage, la filtration, la protection, le renforcement, la stabilisation, ainsi que le contrôle de l'érosion de surface. Ces différents termes sont définis par la norme NF EN ISO 10318-1/2 :2015. Dans le cadre de ce fascicule, on s'intéressera à la protection des géomembranes uniquement. Pour désigner un géotextile dont la fonction est la protection contre l'endommagement des géomembranes, le terme « géotextile antipoinçonnant » est également utilisé. Dans la suite du document, le terme géotextile de protection sera préféré.

#### **2.1.4 Géosynthétiques bentonitiques**

D'après la norme XP P84-700 :2019, les géosynthétiques bentonitiques sont des produits manufacturés, en forme de nappe, constitués d'un assemblage de matériaux comportant au moins de la bentonite assurant la fonction étanchéité et un géosynthétique. Ils sont utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.



### 2.1.5 Géocomposites

Les géocomposites sont définis par la norme NF EN ISO 10318-1/ :2015 comme des assemblages manufacturés de matériaux dont au moins l'un des composants est un géosynthétique. Il est parfois rencontré le terme « géocomposite de drainage », terme non normalisé, qui signifie que le géocomposite à au moins, parmi d'autres, la fonction de drainage.

## 2.2 Notion de DEG

### 2.2.1 Généralités

Le Comité Français des Géosynthétiques (CFG) a introduit dans son fascicule n°10, « Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes », CFG (2017), la notion de dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG), reposant directement sur un fond de forme stable. Cette notion de DEG a été reprise dans la norme NF P84-500 :2013 comme un ensemble de composants constitués par : une structure support si nécessaire, la structure d'étanchéité, une structure de protection si nécessaire. Il peut être rencontré le terme de « structure de recouvrement » pour désigner la « structure de protection ». Il peut être également noté que si le terme « structure de protection » est bien adapté pour désigner une structure visant à protéger les géomembranes contre des actions extérieures (essentiellement mécaniques mais aussi physico-chimiques comme l'action des UV), il ne faut pas oublier que la structure support doit également inclure la fonction de protection afin d'éviter des endommagements de la géomembrane provenant des couches sous-jacentes qui peuvent comporter des éléments poinçonnants, notamment si elles sont en matériaux granulaires. Dans la suite du document, le terme « structure de protection » sera utilisé, et le terme matériau de recouvrement utilisé pour désigner le matériau constituant cette structure. Dans la suite, les structures supports et de protection seront définies en intégrant leurs possibles impacts vis-à-vis de l'endommagement de la géomembrane et également les éléments de protection que ces deux structures peuvent inclure.

Le terme « dispositifs d'étanchéité et de drainage par géosynthétiques » (DEDG) est également utilisé, de façon à indiquer clairement que le DEG inclut un dispositif de drainage. De manière pratique, un DEG inclut aujourd'hui de façon quasi systématique un dispositif de drainage au contact de la géomembrane, que ce soit pour de l'eau ou du gaz en dessous de la géomembrane ou pour éviter un gradient hydraulique au-dessus d'une géomembrane.

### 2.2.2 Structure support (sous la géomembrane)

#### Rôle

La structure support comprend la couche de forme (couche directement en contact avec le fond de forme), le cas échéant, une couche de drainage si nécessaire (eau et des gaz) et la couche support (couche directement sous-jacente à la géomembrane).

D'un point de vue mécanique, la structure support assure plusieurs rôles :

- lors des travaux, elle permet ou facilite la mise en place de la géomembrane ;
- durant l'exploitation et le fonctionnement de l'ouvrage, elle permet de répartir les efforts transmis sans entraîner de déformations préjudiciables pour la géomembrane.

### **Matériaux constitutifs**

La structure support, suivant l'ouvrage et le lieu, est composée d'une grande variété de matériaux (argiles, graves, ciment, ...). La surface de cette structure doit être plane, exempte d'aspérités, portante et ne présentant pas de risque d'endommagement de la géomembrane. Les matériaux qui la constituent doivent donc être eux-mêmes non-poinçonnant. Ils doivent être compatibles chimiquement avec la géomembrane et comporter peu ou pas de matière organique (prévoir un drainage des gaz le cas échéant). La structure support doit être stable par elle-même, à la fois lors des travaux de réalisation de l'ouvrage et en cours d'exploitation de celui-ci.

Pour éviter tout endommagement par poinçonnement de la géomembrane, la structure support peut comporter un géotextile de protection, mis en œuvre directement sous la géomembrane. Le géotextile utilisé doit être dimensionné par le concepteur de l'ouvrage. Lorsque la structure support participe au dispositif d'étanchéité, comme en fond de casiers d'installation de stockage de déchets ou de certains bassins, il n'est pas recommandé de mettre en œuvre un géotextile de protection entre le support et la géomembrane.

### **Dispositif de drainage**

Tout liquide se trouvant sous la géomembrane (nappe phréatique, arrivée d'eau ponctuelle ou résultant de la présence de fuites au travers de la géomembrane) peut nuire au bon fonctionnement de l'ouvrage, notamment par les sous-pressions qu'il peut engendrer, par l'augmentation excessive de la teneur en eau du sol support, par augmentation de la pression interstitielle sous-jacente ou par suffusion (érosion interne). Ces différents mécanismes déstabilisant généralement l'ouvrage, un dispositif de drainage des eaux doit alors être envisagé et dimensionné, avec, le cas échéant, un dispositif de filtration pour limiter le colmatage du drain. Il pourra également servir de système de détection de fuites à travers la géomembrane et limiter l'érosion du sol support.

La géomembrane peut également être soumise à des sous-pressions gazeuses : déchets ou sols fermentescibles, remontées rapides de la nappe phréatique dans un sol non saturé, etc. Pour contrer le soulèvement de la géomembrane sous l'effet des sous-pressions des gaz piégés, le dispositif de drainage sert également au drainage des gaz, avec des exécutoires de type événements, à installer aux points hauts du drainage.

## **2.2.3 Structure de protection (sur la géomembrane)**

### **Rôle**

La structure de protection a pour objectif de protéger la géomembrane vis-à-vis d'agressions extérieures qui peuvent être de différentes natures :

- Actions mécaniques : chute d'objets, trafic en phase de service (par exemple lors d'opérations de curage), vagues, reptation d'une couche de glace sus-jacente pendant l'hiver, griffures d'animaux, actes de vandalisme ;
- Actions climatiques/environnementales : action du vent, action des UV, du gel-dégel, des cycles d'humidification/séchage, etc.

### **Matériaux constitutifs**

La structure de protection, suivant l'ouvrage et le lieu, peut être composée d'une grande variété de matériaux, tels que des graves ou des enrochements, de la terre végétale, des dalles

bétons, etc. La structure de protection ne doit pas être la source d'endommagement de la géomembrane, notamment dans le cas d'une couche en graves/enrochements. Ainsi, une couche de protection, comme un géotextile de protection, peut être nécessaire entre la géomembrane et la couche sus-jacente agressive.

La mise en œuvre de la structure de protection ne doit pas conduire à endommager la géomembrane. Toutes les précautions doivent donc être prises pour cette opération, par exemple l'utilisation d'une pelle mécanique à bras long pour éviter de rouler sur cette structure). La structure de protection doit être stable par elle-même, à la fois lors des travaux de réalisation de l'ouvrage et en cours d'exploitation de celui-ci. Ainsi, elle peut contenir des éléments de drainage (au-dessus de la géomembrane) et, éventuellement dans le cas des pentes, de renforcement, pour reprendre une partie du poids de la couche, dans le cas d'interface sous-jacente aux faibles caractéristiques mécaniques (cela peut notamment être de cas pour l'interface géomembrane/géotextile de protection).

### **Dispositif de drainage**

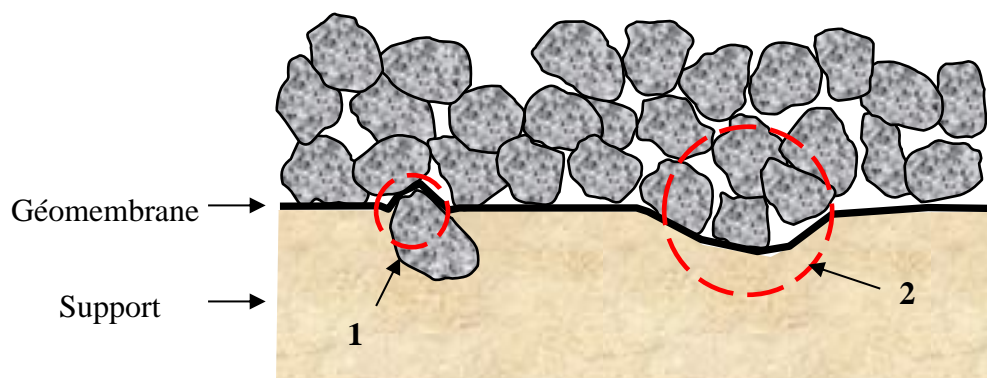
La structure de protection doit être stable durant toute la durée de service de l'ouvrage et les actions de l'eau, provenant généralement des eaux météoriques, sont, sur les pentes, une source de déstabilisation (augmentation du poids volumiques des matériaux de type sols, diminution des contraintes effectives et donc de la résistance au cisaillement, présence d'un gradient hydraulique induisant une force de déstabilisation). Ainsi, sur les pentes des talus, une couche de drainage au-dessus de la géomembrane est souvent nécessaire. La couche de drainage peut remplir également la fonction de protection. Ce géosynthétique doit donc remplir à la fois critères requis pour le drainage et pour la fonction protection.

## **3 Origine, typologie et admissibilité des endommagements**

### ***3.1 Origine***

L'endommagement mécanique des géomembranes par poinçonnement résulte de la mise en contact de cailloux, granulats ou tous autres éléments poinçonnants, pointus ou proéminents, avec la géomembrane, et l'effet de contraintes normales ou inclinées agissant de l'élément poinçonnant sur la géomembrane (Figure 1). Selon l'ouvrage et la configuration du DEG, l'élément poinçonnant peut se trouver au-dessus et/ou au-dessous de la géomembrane. Un défaut de planéité du support peut être à l'origine de phénomènes de poinçonnement.

En plus du poinçonnement, les contraintes générées sur la géomembrane peuvent être dues au frottement, à l'abrasion. Il peut en résulter, pour la géomembrane, des endommagements de surface (marques, griffures), une déformation (rémanente ou non), voire un percement. Les contraintes provenant de l'élément poinçonnant peuvent s'appliquer de manière statique ou dynamique.



**Figure 1. Représentation schématique de l'origine d'endommagements de poinçonnement : dû à (1) un élément proéminent et (2) un défaut de planéité du support.**

### 3.1.1 Actions dynamiques

Le poinçonnement dans des conditions d'actions dynamiques peut se produire durant la phase d'installation de la géomembrane et/ou de la structure de protection (chute de pierres ou d'outils, circulation non contrôlée d'engins, etc.) mais aussi durant la phase de service de l'ouvrage, que la géomembrane soit exposée ou non. En effet, en phase de service, une circulation d'engins sur une structure de protection peut être la source d'endommagements sur la géomembrane.

### 3.1.2 Actions statiques

Ce type d'actions agit sur le long terme, depuis le début et pendant toute la durée de service de l'ouvrage. Il y a deux types d'actions statiques :

- L'action d'un élément proéminent (par exemple un granulats sous ou sus-jacent à la géomembrane), exerçant un effort normal ou incliné sur la géomembrane. Les principaux paramètres qui contrôlent cette action sont : (1) la forme du matériau poinçonnant, (2) la contrainte appliquée sur ce matériau poinçonnant, (3) la rigidité du support.
- Une mise en tension de la géomembrane par suite de l'application d'une pression hydrostatique sur la géomembrane sur un vide (entre deux agrégats ou à cause d'un tassement différentiel). Dans ce cas, la géomembrane tend à se déformer jusqu'à épouser les contours de cette cavité et pouvant, dans un cas ultime, conduire à la rupture de la géomembrane. Les principaux paramètres contrôlant cette action sont : (1) la taille de la cavité et (2) la contrainte normale sur le DEG. Le résultat de cette action est une mise en traction préjudiciable au maintien de la fonction étanchéité.

## 3.2 Typologies des endommagements

Comme il l'est précisé dans le guide pour la « réalisation de planches d'essais d'endommagement » CFG (2001), les différents types d'endommagements des géomembranes sont les suivants :

- éraflure : rayure de surface ;
- déformation : déformation de la géomembrane du fait d'une irrégularité dans la planéité du support (du fait d'un tassement ou d'un défaut initial de planéité ou de

- continuité) ou de la proéminence d'un élément grossier, rémanente ou non, et sans réduction notable de l'épaisseur (voir figure 1) ;
- indentation : poinçonnement ponctuel rémanent et sans perforation, avec réduction d'épaisseur importante, correspondant généralement à l'empreinte d'un granulat ;
  - entaille : rayure en profondeur, sans percement ;
  - percement : trou ou déchirure.

### 3.3 Effet des endommagements

Les conséquences néfastes sur la fonction étanchéité sont immédiates dans le cas des percements puisque ces derniers conduisent à des fuites de fluides à travers la structure d'étanchéité d'amplitude plus ou moins importante.

Toutefois, même si l'endommagement n'a pas entraîné immédiatement une perte d'étanchéité, il se traduira par une perte des caractéristiques mécaniques et une diminution de la durabilité, car la partie endommagée subira un vieillissement prématuré.

### 3.4 Niveaux admissibles d'endommagements

Le niveau admissible d'endommagement est inhérent aux risques encourus. Dès lors, la classe de conséquence de la ruine ou de l'endommagement de l'ouvrage à construire doit être établie par le maître d'ouvrage afin d'envisager la protection adéquate.

A cette fin, seront prises en compte : les conséquences en termes sociaux, économiques ou environnementaux. On distinguera, conformément aux indications de l'Eurocode 0 (norme NF EN 1990 :2003), les classes CC1, CC2 et CC3 définies par le tableau 1.

**Tableau 1. Conséquences en termes sociaux, économiques et environnementaux pour les différentes classes de conséquences (d'après Eurocode 0)**

	<b>Conséquences de l'endommagement ou de la ruine de l'ouvrage en termes sociaux, économiques ou environnementaux...</b>	
<b>Classe de conséquence</b>	<b>...sur les personnes</b>	<b>...sur les ouvrages à construire ou les constructions avoisinantes</b>
<b>CC1 (conséquences faibles)</b>	Faibles ou négligeables	Faibles ou négligeables
<b>CC2 (conséquences moyennes)</b>	Modérées	Importantes
<b>CC3 (conséquences élevées)</b>	Importantes	Très importantes

Les exemples ci-dessous sont donnés à titre indicatif et ne constituent pas les seuls éléments d'évaluation. Ils ne dispensent pas de l'analyse multicritères à mener pour classer l'ouvrage dans la catégorie qui lui convient, en fonction des risques encourus. Au titre de ce guide, il a été considéré le classement suivant des ouvrages selon les classes de conséquence :

- CC1 : bassin de rétention d'eaux propres, bassin de rétention des eaux pluviales potentiellement polluées en milieu peu sensible, biotertre en contexte peu sensible, stockage temporaire de matériaux ou effluents peu polluants en contexte peu sensible, couverture d'Installation de Stockage de Déchets (ISD) (hors confinement de gaz en zone habitée...);
- CC2 : stockage de fluides pollués en contexte peu sensible, bassin de rétention des eaux pluviales potentiellement polluées et milieu récepteur sensible, confinement sur site de sols pollués pour une longue durée, talus intérieur d'un casier ou d'une alvéole d'ISD ;
- CC3 : retenue d'altitude, fond d'ISD ;
- CC3+ : bassin de stockage de fluide contenant des matières dangereuses en contexte sensible.

Le tableau 2, propose les recommandations minimales de conception et les niveaux de contrôle, en relation avec les endommagements à proscrire. Ce tableau 2 ne se substitue ni à l'état de l'art ni aux réglementations en vigueur.

**Tableau 2. Recommandations minimales de conception et niveaux de contrôle en relation avec les endommagements à proscrire**

Paramètres d'entrée			Recommandations		
Classe de conséquence	Technicité de l'ouvrage ou du projet	Connaissance du site et de son contexte	Recommandations minimales pour la conception	Endommagements proscrits	Niveaux de contrôles minimum
CC1 faibles	Simple / complexe	Conseillée	Retour d'expérience, biblio ...	Perçement, entaille	Conformité des produits avec les prescriptions, contrôle interne
CC2 moyennes	Simple	Requise		Retour d'expérience, biblio, notes de calcul, essais labo, planche d'essai,	Perçement, entaille, indentation
	Complexe	Requise	Perçement, entaille, indentation, déformation.		Conformité des produits avec les prescriptions + quantité de contrôles accrue + contrôle interne, externe et extérieur+ planche d'essai + conformité avec norme NF G38-060 :2013
CC3 et CC3+ élevées	Simple / complexe	Indispensable			

Note : Le contrôle intérieur à l'entreprise comprend le contrôle interne au processus de réalisation de l'ouvrage et le contrôle externe par un agent de l'entreprise (ou mandaté par elle) ne dépendant pas directement du responsable de chantier. Le contrôle extérieur est réalisé par un tiers mandaté par le maître d'ouvrage qui procède à la vérification du plan d'assurance qualité de l'entreprise et à l'évaluation de la fiabilité du contrôle intérieur.

## **4 Eléments ayant une influence sur l'endommagement**

### **4.1 Influence des caractéristiques des géosynthétiques**

#### **4.1.1 Géomembranes**

Selon leur nature, les comportements des géomembranes sont très variables face à une même sollicitation. Ceci est dû à la nature du polymère constitutif de la géomembrane et des additifs éventuels, ainsi qu'au procédé de fabrication. Les paramètres influant sur la résistance à l'endommagement sont nombreux. On cite pour principaux exemples la nature du polymère, l'épaisseur, la structure de la géomembrane (NF P84-500 :2013) et enfin ses propriétés mécaniques.

#### **4.1.2 Géotextiles**

Les géotextiles se distinguent notamment par :

- le mode de fabrication du géotextile et la nature du polymère constitutif des filaments ou fibres (ce qui a une influence sur la durabilité du géotextile dans l'ouvrage).
- les caractéristiques d'identification physiques et dimensionnelles (masse surfacique et épaisseur notamment) (données importantes pour le contrôle en réception sur chantier)

Ces caractéristiques peuvent avoir une influence sur le niveau de protection de la géomembrane mais il n'existe aujourd'hui pas d'étude qui le démontre.

A l'inverse, il a été démontré, que les caractéristiques mécaniques (notamment celles liées à la résistance au poinçonnement et celles liés à l'efficacité de protection) ont une influence sur le niveau de protection de la géomembrane.

#### **4.1.3 Géocomposites incluant la fonction drainage**

Les géocomposites de drainage peuvent être amenés à remplir les fonctions de drainage et de protection. Pour ce faire ils doivent satisfaire aux critères de la fonction drainage et de la fonction protection. Toutefois il conviendra de s'assurer que le géocomposite lui-même n'endommage pas la géomembrane avec laquelle il est en contact (indentations dues à la structure rigide du géocomposite, déformation). En l'absence de données suffisantes, il est recommandé de réaliser des essais de performance adaptés ou des planches d'essai afin d'évaluer ce risque.

#### **4.1.4 Géosynthétiques bentonitiques**

Dans le cas de l'utilisation d'un géosynthétique bentonitique en « étanchéité combinée », le GSB, placé sous la géomembrane, contribue à diminuer l'agressivité des éléments poinçonnants du sol support et à améliorer la planéité. Pour autant sa seule fonction est l'étanchéité et en aucun cas la fonction protection. En l'absence de données suffisantes, il est recommandé de réaliser des essais de performance adaptés ou des planches d'essai afin d'évaluer l'effet protecteur d'un géosynthétique bentonitique.



#### 4.1.5 Durabilité des géotextiles et produits apparentés

Les géotextiles et les produits apparentés, comme tout produit manufacturé, ont des durées de vie qui dépendent des conditions dans lesquelles ils sont utilisés. L'exposition aux rayonnements UV du soleil constitue un des facteurs les plus importants du vieillissement des matériaux, pouvant induire une perte des performances mécaniques. Les normes d'application citées au paragraphe 1.4 indiquent les exigences concernant le temps maximum d'exposition aux agents climatiques. Les durées maximales d'exposition réglementaires (correspondant à une condition exposée), dépendant de l'application (renforcement ou autre application), sont données dans le tableau 3.

En cas d'exposition prolongée, il faut donc s'assurer auprès du fournisseur de la résistance résiduelle du produit vis-à-vis d'un essai de traction unidirectionnelle à l'issue de la période d'exposition ou envisager, soit des solutions alternatives de protection in situ (mise en œuvre d'un géosynthétique fusible par exemple), soit d'autres dispositions constructives (par exemple surdimensionnement des caractéristiques mécaniques requises).

A ce jour, aucune corrélation ne peut être établie entre la performance des géotextiles et produits apparentés pour la fonction protection et la résistance résiduelle après essai de vieillissement.

**Tableau 3. Durée et résistance maximales d'exposition recommandées pour les géotextiles et produits apparentés**

Norme d'application	Résistance résiduelle après essai de vieillissement (NF EN 12224 :2002)	Durée maximale d'exposition recommandée correspondante à l'issue de la mise en œuvre
Renforcement ou autres applications dans lesquelles la résistance à long terme est un paramètre significatif (normes application NF EN 13251 (2017))	>80% 60 à 80% <60%	1 mois (1) 2 semaines 1jour
Autres applications	>60% 20 à 60% <20%	1 mois (1) 2 semaines 1jour

(1) Une exposition jusqu'à 4 mois peut être acceptable en fonction de la saison et de la situation géographique en Europe et/ou de l'exposition des produits

Exemple de lecture du tableau 3. Si après essai de vieillissement NF EN 12224 :2002, le géotextile présente une résistance résiduelle supérieure à 80% alors la durée maximale d'exposition recommandée avant recouvrement est d'1 mois.

Des durées maximales d'exposition aux agents climatiques supérieures peuvent être annoncées par les producteurs pour des produits fabriqués spécifiquement pour des durées d'exposition plus importantes.

## **4.2 Influence des caractéristiques des matériaux naturels et anthropiques constitutifs ou en contact avec le DEG**

Les matériaux naturels rencontrés dans les DEG sont définis par :

- leur composition,
- leurs caractéristiques dimensionnelles et morphologiques,
- leurs caractéristiques mécaniques.

Au stade de rédaction de ce guide, il n'existe pas d'études reliant les caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux naturels au contact du DEG avec les préconisations de dimensionnement des matériaux ayant la fonction de protection de la géomembrane.

### **4.2.1 Spécificités dans le cas des sols fins**

#### **Etat de surface du sol support**

L'état de surface du sol support est le facteur prépondérant sur le comportement du DEG vis-à-vis des sollicitations de poinçonnement. L'état de surface doit permettre, idéalement, le contact en tout point entre le DEG et le sol support, sans mise en tension de la géomembrane. Pour limiter le risque de poinçonnement par le sol support, il convient d'éviter la présence de défauts (ornières, creux) pluri-centimétriques. La taille des défauts acceptables sera d'autant plus petite que le support est rigide. Sur les talus la tolérance sera plus importante moyennant la démonstration par des essais dédiés, avec des états de surface irréguliers, de l'efficacité de la protection.

Il est recommandé l'absence d'élément saillant de dimension supérieure au centimètre à la surface du support avant mise en place de la structure d'étanchéité, sauf avis contraire donné par le concepteur, le contrôleur, etc. en fonction des enjeux et des détails du projet.

#### **Présence éventuelle d'éléments grossiers**

La présence d'éléments grossiers dans un sol fin, accroît son agressivité vis-à-vis du DEG.

La taille maximale d'un élément grossier inclus dans l'épaisseur d'une couche de matériaux fins, ne doit pas excéder 1/3 de l'épaisseur de la couche, après compactage, pour les raisons suivantes :

- lors de la mise en œuvre cet élément peut constituer un point « rigide » qui empêche l'obtention d'un compactage uniforme et peut générer un poinçonnement à terme ;
- suite à l'absence de compactage uniforme, une fois l'ouvrage en service, autour de ce point rigide il peut se produire des tassements différentiels surtout lors de l'augmentation de la teneur en eau du sol ; dans ce cas, cet élément grossier agira comme un poinçon au contact du DEG et sera à l'origine de l'apparition de tractions localisées importantes dans la géomembrane.

Il pourra être dérogé à cette recommandation moyennant la réalisation d'études spécifiques en amont du projet. Dans le cas d'un sol fin utilisé comme matériau de recouvrement, il est recommandé d'appliquer le même principe et de ne pas accepter la présence d'éléments agressifs, et ce principalement dans le cas où une contrainte s'appliquera à long terme sur le DEG.

### **4.2.2 Spécificités dans le cas des sols grossiers**

Les sols grossiers interviennent sur l'endommagement par leur nature, leur granulométrie, leur altération à long terme et l'angularité des éléments granulaires.

De manière générale, une granulométrie étroite générera une plus grande susceptibilité au poinçonnement qu'une granulométrie étendue. Un matériau grossier, à granulométrie étroite ou étalée comportant des éléments concassés et anguleux, génère des sollicitations ponctuelles de type poinçon sur un DEG.

La nature des éléments grossiers, et donc le risque d'évolution du granulat lors de la mise en œuvre, devra aussi être prise en compte : des granulats roulés soumis à des conditions de mise en œuvre agressives peuvent devenir anguleux par éclatement. Aussi, lors de la circulation d'engins, les matériaux roulés ne s'imbriquent pas, générant un fluage qui empêche le maintien d'une épaisseur uniforme, d'où l'apparition d'ornières, ce qui peut augmenter la susceptibilité au poinçonnement lors de la mise en place de la couche granulaire sur le DEG (Budka et al. 2006).

#### **4.2.3 Déchets et sous-produits industriels**

Les déchets et les sous-produits industriels sont utilisés de plus en plus souvent pour divers travaux et, en conséquence, peuvent se retrouver en contact avec la structure d'étanchéité (mâchefers, laitiers, sous-produits d'activités minières, pneumatiques...). Une évaluation sera à réaliser au cas par cas, sur des critères d'analyse similaires à ceux des matériaux naturels, afin d'évaluer le risque d'endommagement. Par exemple, les éléments anguleux et indéformables sont les plus agressifs (blocs de démolition, pièces métalliques de démolition, métal, verres, déchets industriels...).

Il sera porté une attention particulière à leur chimie et aux interactions qui peuvent se produire entre ces matériaux et la structure d'étanchéité. Le caractère évolutif (dégradabilité, gel, etc.) des matériaux stockés est également à considérer.

#### **4.2.4 Superposition de plusieurs couches**

Si la couche support ou la structure de protection est composée de plusieurs couches de matériaux différents, chacune devra être considérée. Les couches en contact avec le DEG devront respecter les propriétés énoncées précédemment pour les sols fins et grossiers.

Pour la structure de protection, c'est la transmission des contraintes depuis la surface du matériau de recouvrement jusqu'aux géosynthétiques qui devra être examinée.

### ***4.3 Influence des conditions de mise en œuvre de l'ouvrage***

#### **4.3.1 Sollicitations critiques selon le type d'ouvrage**

Le tableau 4 présente l'exposition aux principaux risques d'endommagement par poinçonnement de la géomembrane, en fonction de l'ouvrage, depuis sa construction jusqu'à la fin de son exploitation. Le vandalisme et les animaux fouisseurs, communs à la plupart des ouvrages, ne sont pas rappelés dans ce tableau.

**Tableau 4. Exposition aux principaux risques d'endommagement par poinçonnement du DEG, en fonction de l'ouvrage, depuis sa construction jusqu'à la fin de son exploitation**

	Construction/ mise en œuvre / réalisation	Phase de service / exploitation	Phase d'entretien
Retenue d'altitude	Mise en œuvre de la structure de protection	Effets de la glace : Reptation Rabotage Chute de blocs de glace Blocs rocheux (y/c coulées de boue, neige...),	Circulation de l'engin d'entretien
Fond d'ISD et de confinement de sols pollués	Mise en œuvre de la couche de drainage et des fondations des puits	Mise en œuvre des premières couches de déchets Circulation des engins Poids des matériaux sus jacents en fin de vie	Sans objet
Flanc (talus interne au casier) d'ISD et de confinement de sols pollués		Mise en œuvre et contact avec les déchets Circulation des engins sur les déchets à proximité des talus Poids des matériaux sus jacents en fin de vie	
Couverture (dôme et talus) d'ISD et de confinement de sols pollués	Mise en œuvre de la structure de protection et des équipements annexes (réseau de biogaz)		Circulation des engins d'entretien
Bassin de rétention (stockage) de fluides	Mise en œuvre d'une structure de protection, d'une rampe pour faciliter l'accès au fond et d'une dalle pour le	Remplissage	Curage
Canaux	Mise en œuvre de la structure de protection	Chute d'ancre ou de marchandises (conteneurs), Effet charrue (reptation d'une ancre dans le fond) Objets flottants (dont blocs de glace) Jets d'hélice Batillage Eclusées	Curage
Bioterre	Mise en œuvre de l'éventuelle couche de drainage	Mise en œuvre des premières couches de terres	Retournement des andains le cas échéant

### 4.3.2 Influence des conditions de mise en œuvre

#### Mise en œuvre de la structure d'étanchéité

Parmi les éléments pouvant provoquer un endommagement du DEG figurent :

- le type et l'utilisation inappropriés des engins de chantier, du matériel de soudure ;
- les manipulations incorrectes des géosynthétiques.

#### Mise en œuvre de la structure de protection (si elle est présente)

La contrainte exercée sur la structure d'étanchéité, à la mise en œuvre de la structure de protection, dépend de la nature de cette couche, des modalités de mise en place de celle-ci et de son compactage, le cas échéant. La mise en œuvre de la structure de protection doit être effectuée avec soin pour éviter des endommagements de tout ou partie du DEG.

La circulation d'engins évoluant sur la structure de protection en cours de mise en œuvre (démarrage, freinage, virages) peut également entraîner d'importants dégâts. De manière générale, on prendra les dispositions nécessaires à la conception pour limiter ce type de sollicitations. Cependant, si la construction de l'ouvrage requiert de telles manœuvres, la réalisation de planches d'essais sera indispensable.

Dans ce cas, les paramètres à considérer sont : l'épaisseur et la nature de la structure de protection, le poids des engins et la contrainte exercée, le type de pneumatiques ou de chenilles, le type de manœuvres envisagées.

Lorsqu'il y a compactage, les principaux paramètres à considérer sont : l'épaisseur de la couche compactée et l'énergie de compactage appliquée (classe de compacteur, nombre de passes et vitesse). Dans ce cas, le niveau élevé de sollicitation associé à la présence d'éléments anguleux ou de gros éléments du matériau de recouvrement ou du matériau support peut générer des endommagements sévères du DEG.

Dans le cas de la mise en place de béton de protection, celui-ci pourra être, soit préfabriqué, soit coulé en place à l'aide d'une pompe à béton. L'approvisionnement s'effectuera depuis l'extérieur de l'ouvrage. Des recommandations de manutention, spécifiques aux conditions de réalisation de chaque ouvrage, doivent être prévues dans les cahiers des charges, pour limiter les risques d'endommagement du DEG.

Il est à noter que, dans le cas du béton armé, le risque d'endommagement du DEG lors de la réalisation de l'armature est relativement élevé. La mise en place d'un géotextile de protection sur la géomembrane est indispensable.

### **4.3.3 Influence des conditions d'exploitation**

#### **Reptation de la glace**

L'endommagement de la géomembrane des retenues d'altitude est essentiellement causé par la glace dans le cas où la géomembrane est, soit exposée, soit partiellement recouverte. Les sollicitations exercées par la glace sur la géomembrane sont très importantes. Les blocs de glace, qui glissent sur la géomembrane, lorsque le niveau d'eau est bas, engendrent des phénomènes de traction et des sollicitations de poinçonnement d'autant plus importantes que le support sous le DEG est agressif. Ce phénomène est accentué lorsque les géomembranes se rigidifient à basse température, devenant alors plus sensibles au poinçonnement (Peyras et Mériaux, 2009). Des chutes de blocs de glace, dans lesquels des granulats sont souvent enchâssés, peuvent également se produire notamment dans le cas de la présence d'une risberme, avec couverture en partie haute du talus, uniquement.

#### **Mise en place de pompe ou crépine, pompage**

Les ouvrages de pompage ne doivent pas générer d'endommagement du DEG. Il convient d'installer les pompes sur des dalles afin qu'elles ne soient pas en contact direct avec le DEG. Les dalles assurent également la reprise des vibrations lors du fonctionnement des pompes.

#### **Mise en œuvre et compactage des déchets**

Dans le cas des installations de stockage de déchets, en fond des casiers, la mise en œuvre des premières couches de déchets peut engendrer un endommagement du DEG compte-tenu du poids important des engins de compactage utilisés et de la nature des déchets stockés. Le risque de poinçonnement existe en talus sur toute la hauteur lorsque l'engin de compactage se rapproche à moins de 2 m de la périphérie.

### **Entretien de la végétation sur la structure ou aux abords**

L'entretien courant comprend le fauchage et le faucardage. Le fauchage consiste à réaliser une fauche aux abords des ouvrages afin de garantir en permanence l'accessibilité des installations et de limiter le développement racinaire au-dessus de la structure d'étanchéité. D'une manière générale cette opération est réalisée avec des engins qui sont plus légers que ceux utilisés pour les travaux et donc les risques de poinçonnement sont moindres. Le faucardage ne concerne que les ouvrages en eau dans lesquels peut se développer une végétation plus ou moins dense. Il consiste à opérer une coupe des végétaux aquatiques au-dessus du niveau d'eau.

### **Autres contraintes mécaniques**

Dans le cas des canaux ou des aménagements côtiers, les chutes d'ancres, les vagues, les courants le long de navires, les jets d'hélice, le batillage, le marnage, sont autant de contraintes à prendre en compte dans le dimensionnement de la protection contre l'endommagement.

#### **4.3.4 Végétation**

La végétation pourrait engendrer un percement du DEG. Toute disposition nécessaire doit être prise en compte pour limiter ce phénomène, par ordre de priorité :

Pour la couche support : décapage de toutes les matières organiques de la couche support, dessouchage, enlèvement des racines, etc.

Pour la structure de protection :

- choix d'une végétation de type prairial ou dimensionnement spécifique, notamment de l'épaisseur de la couche,
- épaisseur de matériau adaptée aux conditions climatiques locales pour favoriser le bon développement de la végétation.

Pour certaines applications nécessitant le recours à une végétation générant le développement de rhizomes, on pourra compléter les dispositions précédentes par le recours à des géosynthétiques spécifiques limitant l'intrusion.

#### **4.3.5 Faune et activité humaine**

La faune, tout comme les activités humaines pourrait engendrer des endommagements du DEG. Toute disposition nécessaire sera prise en compte pour limiter les intrusions :

- limite de l'attrait du site,
- mise en sécurité par clôture,
- mise en œuvre de matériau grossier pour limiter l'intrusion des animaux.

## **5 Dimensionnement de la protection**

### ***5.1 Cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD***

#### **5.1.1 Introduction**

Le dimensionnement d'un DEG vis-à-vis du risque de poinçonnement de sa géomembrane nécessite plusieurs éléments :

- La nature de l'ensemble des matériaux constituant le DEG, ainsi que leurs caractéristiques physiques et mécaniques ;
- Les conditions physiques ainsi que les conditions aux limites incluant notamment la température, l'intensité de la contrainte mécanique ou la pression d'eau de service, la durée de service du DEG, etc.
- Une équation qui relie la déformation maximale admissible par la géomembrane, aux caractéristiques physiques et mécaniques de celles-ci et des matériaux à son contact ;
- Une valeur de déformation maximale admissible par la géomembrane fonction de sa nature, de ses caractéristiques physiques et mécaniques et de la classe de conséquence de l'ouvrage.

Aujourd'hui, en l'état actuel des connaissances, il n'existe pas d'équation telle que décrite ci-dessus pour dimensionner. De plus, il n'existe pas non plus de critère de déformation maximale admissible pour chaque type de géomembrane et classe de conséquence de l'ouvrage.

Dans la bibliographie, Koerner (2005) a proposé une équation empirique pour dimensionner un géotextile de protection non-tissé aiguilleté protégeant une géomembrane PEHD 1,5 mm dans la configuration particulière du fond d'ISD. De façon simplifiée, cette équation permet de déterminer une masse surfacique minimale du géotextile de protection en fonction de la contrainte appliquée sur le DEG, d'une hauteur d'élément (aussi appelé protubérance) entraînant l'endommagement (hypothèse à estimer par le prescripteur) et enfin de divers coefficients majorateurs et réducteurs. L'analyse de cette équation amène aux conclusions suivantes :

- la seule masse surfacique d'un géotextile non-tissé aiguilleté est une caractéristique physique non représentative, du moins de façon exclusive, de la fonction mécanique de protection. En d'autres termes, selon la structure et la nature des fibres, deux géotextiles non tissés de même masse surfacique peuvent apporter des niveaux de protection différents.
- l'utilisation de cette équation aboutit à l'emploi de géotextiles sous-dimensionnés en regard du retour d'expérience en France.

Ainsi, l'utilisation de la méthode de dimensionnement proposée dans Koerner (2005) n'est pas recommandée dans le présent guide.

Dans la bibliographie, notamment en lien avec la réglementation du BAM en Allemagne, pour le cas particulier d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD, il existe également une méthode de dimensionnement d'un géotextile de protection protégeant une géomembrane PEHD 2,5 mm surmontée par une couche granulaire dont la taille des particules est typiquement comprise entre 16 et 32 mm. Cette méthode se base uniquement sur l'essai de performance selon la norme NF EN 13719 :2016 (annexe B). L'efficacité de protection du géotextile est considérée comme suffisante si la mesure issue de l'essai de performance (en termes de déformation d'arche) est inférieure à 0,25%. L'analyse de cette méthodologie amène aux conclusions suivantes :

- Le critère de 0,25% est discutable car, notamment, fixé arbitrairement ;
- Une méthode de dimensionnement basée sur un seul essai de performance est difficilement applicable dans la pratique ; en effet, dans la plupart des cas, les matériaux à mettre en œuvre par les entreprises d'étanchéité et celles de terrassement ne sont connus qu'à la réalisation du chantier ;

- La présente méthode, se basant uniquement sur le critère de déformation d'arche de 0,25%, peut aboutir à l'emploi de géotextiles de protection considérés comme surdimensionnés au regard de la pratique en France.

Cependant, la garantie d'une étanchéité pérenne liée à la barrière active du fond d'ISD est importante pour la profession car l'ouvrage est considéré en classe de conséquence 3. Ainsi, afin de donner une base de dimensionnement, dans le cas d'un DEG de fond d'ISD, le groupe de travail a réalisé une étude sur la base d'une campagne d'essais en laboratoire. L'objectif de cette étude était de :

- déterminer un critère de déformation maximale admissible, simple et représentatif, pour une géomembrane PEHD d'une barrière active d'une ISD typique en France,
- relier la performance d'un géosynthétique de protection (mesuré par un essai de performance) à une ou des caractéristiques index,
- élaborer une méthode empirique pour dimensionner un géotextile de protection à partir de ses caractéristiques index.

Les résultats de l'étude menée par le groupe de travail seront disponibles dans Stoltz et Heili (2022). Le paragraphe suivant précise la déformation maximale admissible qui a été retenue pour la géomembrane PEHD, qui a ensuite permis de déterminer l'équation de dimensionnement spécifiée dans le § 5.1.6.

### 5.1.2 Critère de déformation admissible (géomembrane PEHD en fond d'ISD)

Dans le cas d'une géomembrane en PEHD incluse dans un DEG de fond d'ISD, il est considéré que la **réduction d'épaisseur de la géomembrane au niveau d'un endommagement par poinçonnement** est une donnée représentative de l'amplitude de cet endommagement. Plusieurs raisons en attestent :

- L'épaisseur d'une géomembrane est une caractéristique dimensionnelle du produit, bien maîtrisée lors de sa production. Pour illustrer ce constat, il peut être cité la certification Asqual des géomembranes dans laquelle le référentiel technique impose une tolérance maximale de 5% (tolérance inférieure) sur la mesure des valeurs individuelles, par rapport à valeur nominale de l'épaisseur (tolérance de -0/+5% sur la valeur moyenne) ;
- La réduction d'épaisseur, localisée sur un endommagement par poinçonnement, est issue des trois efforts élémentaires, compression, cisaillement, traction, ce qui en fait une caractéristique représentative du niveau d'endommagement ;
- La mesure de la réduction d'épaisseur d'une géomembrane PEHD, localisée sur un endommagement par poinçonnement, est une mesure répétable et reproductible.

La définition d'une grandeur caractéristique et représentative d'un endommagement par poinçonnement s'accompagne nécessairement d'une valeur seuil (critère dimensionnant) qui va distinguer les endommagements préjudiciables pour l'ouvrage, de ceux qui sont non préjudiciables. Le niveau d'endommagement par poinçonnement d'une géomembrane est complexe à caractériser car il s'agit d'évaluer, par une unique valeur, des endommagements de différentes amplitudes répartis sur une surface. Pour se représenter cette difficulté, il peut être cité comme exemple la situation dans laquelle une géomembrane PEHD en fond d'ISD présenterait sur toute sa surface un très grand nombre d'impacts insignifiants mais une



perforation (par poinçonnement) en comparaison de la situation dans laquelle la même géomembrane présenterait sur toute sa surface un très grand nombre d'impacts significatifs, sans aucune perforation. Ces deux situations entraînent une difficulté au concepteur pour choisir celle qui sera la plus « acceptable » pour l'ouvrage.

Ainsi, la caractérisation du niveau d'endommagement d'une géomembrane fait intervenir un calcul de moyenne d'endommagements les plus significatifs. Dans la réglementation allemande, comprenant la méthode basée sur l'essai de performance selon la norme NF EN 13719 :2016 (annexe B), l'efficacité de protection d'un géotextile est considérée à partir d'une moyenne des trois impacts « les plus significatifs » sur une éprouvette d'un diamètre compris entre 25 et 45 cm, ce qui représente une moyenne d'environ 40 endommagements « les plus significatifs » par mètre carré. Pour établir l'équation de dimensionnement spécifiée dans le § 5.1.6, le groupe de travail s'est basé sur la même répartition que celle spécifiée ci-dessus.

### **5.1.3 Critère de déformation admissible (géomembrane PEHD en fond d'ISD)**

Enoncé du critère : l'étanchéité d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD est garantie à long terme si les endommagements les plus significatifs, considérés à raison de 40 endommagements par mètre carré, n'entraînent pas une réduction d'épaisseur de la géomembrane de plus de 5% (moyenne des réductions d'épaisseur localisées au niveau des 40 endommagements par m<sup>2</sup>), par rapport à l'épaisseur initiale moyenne du produit. Ce critère ne concerne que le cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD. Pour une géomembrane de nature différente et /ou dans une autre configuration d'ouvrage, ce critère ne s'applique pas en l'état. Des études complémentaires seraient nécessaires pour justifier son utilisation.

### **5.1.4 Détermination d'une relation entre une valeur issue d'un essai de performance et deux valeurs issues d'essais index**

Pour dimensionner des géosynthétiques dans des conditions réelles d'emploi, l'utilisation de valeurs issues d'essais de performance est plus adaptée que l'utilisation de valeurs issues d'essais index (issues de modes opératoires simples et reproductibles, mais pas forcément en rapport direct avec des conditions réelles d'emploi). Ce constat théorique est généralement difficilement applicable dans la pratique, car les produits géosynthétiques et matériaux ne sont pas nécessairement connus à l'étape du dimensionnement et, lors de la phase travaux, les délais de réalisation d'essais de performance en laboratoire sont généralement incompatibles avec les délais de réalisation des travaux. Ainsi, le groupe de travail a réalisé une étude pour établir une relation entre le critère de déformation admissible énoncé ci-dessus, et deux valeurs issues des essais index selon :

- la norme NF EN 13719 :2016 concernant l'efficacité de protection d'un géotextile,
- la norme NF G 38-019 :1988 Essais des géotextiles - Détermination de la résistance au poinçonnement.

Ces deux normes d'essais index ont été jugées les plus représentatives de la fonction protection car :

- la norme NF EN 13719 :2016 représente le mieux l'application d'un endommagement de poinçonnement par effort de compression ;
- la norme NF G38-019 :1988 représente le mieux l'application d'un endommagement de poinçonnement par effort de cisaillement/traction.

### 5.1.5 Détermination d'une recommandation vis-à-vis de la protection dans le cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD

A partir des relations décrites ci-dessus, une recommandation vis-à-vis de la protection dans le cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD a été déterminée à partir de deux valeurs issues d'essais index.

Pour établir cette recommandation, il a été supposé que le critère de déformation admissible d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD, énoncé au paragraphe 8.3, pouvait être vérifié sur la base d'un essai de performance :

- comprenant 3 éprouvettes circulaires de géomembranes PEHD de 50 cm de diamètre, ce qui, en d'autres termes, revient à considérer que ces 3 éprouvettes circulaires sont suffisamment représentatives pour évaluer les endommagements par poinçonnement sur une surface infinie,
- appliquant sur le DEG testé une contrainte normale de 300 kPa, correspondant à une hauteur moyenne de 30 m de déchet (de densité moyenne considérée égale à 1), sans considérer de coefficient de sécurité sur la contrainte normale ;
- de 100 h, ce qui, en d'autres termes, revient à considérer qu'une durée de 100 h est suffisante pour mesurer les endommagements par poinçonnement se produisant sur le très long terme, ou, encore dit autrement, l'influence du fluage sur le long terme est négligeable et ne nécessite donc pas l'application de coefficient de sécurité ;
- à 20°C correspondant à la température des lixiviats généralement observée en sortie de casier (réhausse exclue) d'ISD ;
- dans lequel le retour élastique immédiat de la réduction d'épaisseur, au niveau des endommagements sur la géomembrane, n'est pas mesuré.

A la différence de l'essai de performance selon la norme NF EN 13719 :2016 (dans l'annexe B), pour l'essai de performance qui a permis d'établir la relation entre des caractéristiques index et des valeurs de performance, il n'a pas été pris de coefficient de sécurité sur la contrainte normale, le temps d'application de la charge et la température de l'essai.

### 5.1.6 Recommandations vis-à-vis de la protection dans le cas d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD

Pour dimensionner un géosynthétique de protection positionné entre une géomembrane PEHD et une couche de drainage granulaire, il est nécessaire de considérer deux valeurs index du géosynthétique de protection :

- la déformation  $\varepsilon_{\max(13719)}$  (%) correspondant à la valeur issue de l'essai selon la norme NF EN 13719 :2016,
- la force  $F_{\min(38019)}$  (kN) correspondant à la valeur issue de l'essai selon la norme NF G 38019 :1988.

Les deux équations à respecter simultanément sont :

$$\varepsilon_{\max(13719)} \leq \frac{\varepsilon_{\max 95\%}}{FP_G \times FP_\sigma \times FP_T}$$
$$F_{\min(38019)} \geq \frac{F_{\min 95\%}}{FP_G \times FP_\sigma \times FP_T}$$

Avec :

- $\epsilon_{\max(13719)}$  une déformation maximale admissible ;
- $F_{\min(38019)}$  une force minimale ;
- $F_{PG}$  un coefficient partiel lié aux granulats de la couche granulaire surmontant le géotextile ;
- $F_{P\sigma}$  un coefficient partiel lié à la contrainte de confinement surmontant le DEG ;
- $F_{PT}$  un coefficient partiel lié à la température.

Dans une configuration classique du fond, représentative de la majorité des casiers en France d'ISD (cas d'une rehausse d'ISD nécessite une étude spécifique), l'étude (Stoltz et Heili, 2022) a déterminé les valeurs  $\epsilon_{\max(13719)}$  et  $F_{\min(38019)}$  pour une couche granulaire de granulats (basalte) concassés de granulométrie 20 – 40 mm, une contrainte normale de 300 kPa et une température de 20°C. Pour cette configuration de base, il est considéré que les coefficients partiels  $F_{PG}$ ,  $F_{P\sigma}$  et  $F_{PT}$  sont égaux à 1, soit  $F_{PG} = 1$ ,  $F_{P\sigma} = 1$  et  $F_{PT} = 1$ .

Ainsi, un géosynthétique de protection apporte une protection suffisante pour :

$$\epsilon_{\max(13719)} \leq 0,85\%$$

$$F_{\min(38019)} \geq 4 \text{ kN}$$

Remarque : les deux valeurs  $\epsilon_{\max(13719)}$  et  $F_{\min(38019)}$  sont données comme, respectivement, des valeurs maximales et minimales (non nominales comme ce peut être le cas dans des fiches techniques et/ou certification). Un exemple de lecture des valeurs des fiches techniques est proposé dans le Tableau 5 suivant. Cet exemple permet de bien mettre en évidence que la lecture des fiches techniques doit se faire non seulement sur la valeur nominale mais aussi sur la tolérance associée, qui influence les valeurs maximales et minimales à comparer avec les exigences de ce guide.

**Tableau 5. Exemple de lecture de valeurs nominales affichées dans des fiches techniques ou des certificats pour déduire les valeurs maximales et minimales à considérer pour le dimensionnement de la protection (cas du fond d'ISD).**

Valeurs prescrites par le guide	Valeur nominale annoncée par le producteur	Tolérance annoncée par le producteur	Valeur maximale ( $\epsilon_{\max 95\%}$ ) et minimale ( $F_{\min 95\%}$ ) à considérer	Valeur nominale annoncée par le producteur	Tolérance annoncée par le producteur	Valeur maximale ( $\epsilon_{\max 95\%}$ ) et minimale ( $F_{\min 95\%}$ ) à considérer
Déformation $\epsilon_{\max(13719)} \leq 0,85\%$	0,75%	+10%	0,83%	0,75%	+20%	0,90%
Force $F_{\min(38019)} \geq 4 \text{ kN}$	5,8 kN	-30%	4,1 kN	5,8 kN	-50%	2,9 kN
Protection suffisante	-	-	Oui	-	-	Non

## 5.2 Cas des ouvrages hydrauliques

Actuellement, il existe peu d'études dans la bibliographie concernant le dimensionnement d'un dispositif de protection pour les ouvrages hydrauliques, dont la classe de conséquence va de 1 (comme les bassins de rétention d'eaux propres ou de rétention des eaux pluviales potentiellement polluées en milieu peu sensible) à 3 (comme les retenues d'altitude ou les

ouvrages de grande hauteur). Les résultats obtenus dans le cadre de l'étude expérimentale menée par le groupe de travail (Stoltz et Heili, 2022) ne sont pas applicables aux ouvrages hydrauliques pour plusieurs raisons : géomembranes de nature diverses pour les ouvrages hydrauliques, poinçonnement pouvant provenir des couches sous et sus-jacente à la géomembrane, phénomène de possible éclatement par pression hydrostatique dans le cas où la géomembrane est au-dessus d'une petite cavité, etc.).

Dans l'état actuel des connaissances, le lecteur pourra se référer au guide SETRA & LCPC, (2000) dont l'objet porte sur les ouvrages pour les eaux de ruissellement routier.

Dans le cas d'un autre ouvrage, en l'absence de méthodologie analytique comme proposée pour le cas du fond des installations de stockage de déchets, le concepteur pourra baser son dimensionnement sur la base d'essais de performance et/ou des planches d'essais, dont quelques indications sont données dans le paragraphe ci-dessous.

### **5.3 Dimensionnement sur la base d'essais de performance et/ou de planches d'essais**

Les préconisations données ci-dessus ne concernent qu'une application spécifique (protection d'une géomembrane PEHD en fond d'ISD, et ne couvrent pas toutes les configurations. Pour d'autres configurations, un dimensionnement peut se faire sur la base d'essais de performances, dont le principe est de simuler le DEG dans les conditions proches de la réalité. La définition des conditions représentatives d'un essai de performance spécifique reste à la charge du prescripteur. L'évaluation d'une protection suffisante ou non suffisante pourra alors se baser sur le critère défini au § 5.3. Des planches d'essais, selon le guide CFG (2001) peuvent également être menées.

## **6 Prescriptions relatives à la mise en œuvre**

### **6.1 Généralités (planification)**

Il est important de veiller à approvisionner les matériaux de protection en temps et en heure pour que la protection soit réalisée avec les matériaux prévus.

### **6.2 Végétation**

Le fond de forme doit être dégagé de toute végétation et terre végétale et purgé d'éventuels dépôts superficiels de matières organiques. On évite ainsi le contact direct des souches et des racines avec le DEG et la décomposition des matières organiques qui entraînerait des tassements différentiels et le dégagement de gaz.

Sur couverture, En cas de fauchage et de faucardage, il convient :

- de prendre des précautions pour ne pas endommager la géomembrane,
- d'éliminer la végétation arbustive pouvant endommager la géomembrane,
- d'observer les éventuels glissements de couches de protection sur les talus et la continuité de leur épaisseur en fond et en talus.

### **6.3 Structure support**

Une portance homogène de la couche support est recherchée.

Il convient d'éviter les zones humides qui ne permettront pas de respecter les caractéristiques de portance et de déformabilité décrites précédemment.

La surface en contact avec le DEG doit être fermée (sable, grave, matériau lié, géosynthétiques, etc.) et. Il est nécessaire :

- d'adapter la granulométrie du matériau d'apport ;
- de veiller à ne pas créer de ségrégation du matériau d'apport lors de son transport et de sa mise en œuvre ; dans le cas contraire le matériau devra être homogénéisé ;
- de contrôler, après compactage, l'état de surface et de retirer tout élément agressif.

Le support doit être exempt de flaque d'eau lors de la mise en œuvre de la géomembrane. Après compactage, les caractéristiques (humidité, portance, ...) de la couche support doivent être préservées en l'état avant mise en place du DEG.

#### **6.4 Mise en œuvre du DEG**

La méthode de pose sera soumise à approbation du maître d'œuvre ou du contrôle extérieur avant la réalisation des travaux, à moins qu'elle ne soit précisée dans le CCTP. On proscrit la circulation d'engins directement sur le DEG.

Le groupe électrogène et tout matériel nécessaire à la réalisation des soudures (à l'exception des machines de soudage) doivent être positionnés à l'extérieur du DEG ou sur une protection appropriée.

Les chutes d'outils éventuelles doivent être signalées.

Un contrôle de la géomembrane doit être réalisé avant la mise en place de la structure de confinement et de protection.

#### **6.5 Structure de protection**

##### **6.5.1 Recommandations générales relatives à la structure de confinement et de protection**

Les matériaux fournis pour la couche de confinement et de protection (couche drainante, lestage, protection, etc...) doivent satisfaire aux prescriptions techniques du maître d'œuvre, en particulier en ce qui concerne leur nature, granulométrie, homogénéité et propreté. La conception de cette couche devra tenir compte des conditions de mise en œuvre, d'exploitation et d'usage ultérieur de l'ouvrage.

Une attention toute particulière est accordée aux prescriptions de mise en œuvre de la structure de protection sur le DEG, afin d'éviter la détérioration de ce dernier.

Le matériau de recouvrement sera mis en place après l'installation de la géomembrane et du/des géosynthétiques de protection, dans les meilleurs délais après la levée du point d'arrêt relatif au contrôle de la géomembrane.

On veillera à indiquer la présence d'un DEG par tout dispositif d'avertissement adapté (grillage avertisseur, matériaux colorés, ...) là où un entretien ou une reprise ultérieure des matériaux de recouvrement est nécessaire.

## 6.5.2 Dispositions constructives

La structure de protection doit être renforcée dans les zones de circulation (pendant la réalisation et l'exploitation de l'ouvrage).

Selon la configuration de l'ouvrage, la création d'une rampe d'accès pourra être nécessaire. Si la structure de protection a également une fonction de drainage, la rampe sera conçue de manière à éviter les risques de colmatage du drainage : utilisation de matériaux adaptés, mise en place de filtrations, etc.

On veillera à ne pas détériorer les géosynthétiques de la digue ou du talus, sur lesquels est posée la rampe, avec les mêmes dispositions constructives qu'en fond d'ouvrage (épaisseur minimale de circulation d'1 d'un mètre).

Au-delà de la rampe, la mise en œuvre de matériaux de recouvrement sur une surface plane et étendue consiste à créer des andains d'épaisseur minimale de 1m en forme d'arête de poisson afin de distribuer le matériau dans toutes les zones de la surface à couvrir. Ces « antennes » ou « arêtes » sont ensuite mises en œuvre à la cote nécessaire par répartition progressive à l'aide d'une pelle et non par poussage (Sauf dans certains cas de couverture sur talus, où la mise en place en poussant les matériaux de haut vers le bas permet de mettre en traction l'éventuel dispositif de rétention des terres).

Les camions d'approvisionnement ne peuvent décharger que sur une partie déjà recouverte pour éviter le poinçonnement dynamique. Ils ne doivent effectuer que des manœuvres rectilignes en marche arrière pour accéder à la zone de déchargement et en marche avant pour le retour à vide. Les camions évolueront sur une épaisseur minimale de 1m de matériaux

La pelle ne pourra évoluer que sur une épaisseur de matériaux de recouvrement supérieure ou égale à 0,5m. Une épaisseur moindre pourra être acceptée sous réserve de la réalisation d'une planche d'essai représentative des conditions de réalisation.

Le matériau de recouvrement ne devra pas être poussé par un engin de chantier et ceci afin d'éviter la création de plis au niveau des géosynthétiques sous-jacents. Le matériau ne sera déversé sur le D.E.G. que d'une hauteur maximale de 1m afin de limiter le risque de poinçonnement dynamique.

Toute manœuvre brutale ou de nature à altérer les matériaux déjà en place est proscrite. Notamment, seront interdits : le blocage des chenilles et le demi-tour. Une attention particulière sera également portée à la vitesse d'évolution des engins, qui, si elle est excessive, engendrera la formation de plis dans les géosynthétiques sous-jacents.

Le sens de mise en place du matériau de recouvrement doit être conforme au sens de recouvrement des lés du géotextile de protection.

Afin d'éviter la transformation d'une ondulation en une pliure franche de la géomembrane, pour celles présentant un fort coefficient de dilatation thermique (PE, PP-F), la mise en œuvre du matériau de recouvrement aura lieu de préférence lorsque la température de la géomembrane sera inférieure à 30°C. Il est donc préférable de remblayer tôt le matin ou par temps couvert pendant la période estivale.

Il est vivement recommandé de valider la technique de déchargement et de mise en place des matériaux de recouvrement en fond avant la réalisation des travaux. Cette technique de mise en œuvre, détaillée habituellement dans le mémoire technique de l'entreprise de travaux ou prescrite dans le CCTP, doit recevoir l'agrément du Maître d'œuvre et/ou du contrôle extérieur.

### 6.5.3 Spécificités par ouvrage

#### 6.5.3.1 Bassins

Lorsque les bassins sont recouverts, l'utilisation d'un géotextile de protection, entre la couche de recouvrement et la géomembrane, est fortement recommandée.

Dans le cas d'un recouvrement de la géomembrane par des matériaux préfabriqués, des précautions doivent être prises pour éviter, lors de leur pose, des poinçonnements de la géomembrane. Cette technique nécessite une très bonne planéité du support.

Lorsque le recouvrement est constitué par une couche d'enrochements, celle-ci repose sur une couche intermédiaire de sable et/ou de gravier, placée sur un géotextile de protection.

Des spécificités des bassins peuvent être rencontrées, notamment concernant la mise en œuvre de la structure de protection en enrochement. Ainsi, en talus de bassin, elle s'effectue quasi-exclusivement à la pelle mécanique à long bras.

#### 6.5.3.2 Retenues d'altitude

Le retour d'expérience a montré que la présence d'une risberme avec couverture en partie haute du talus uniquement (en petits enrochements) est généralement un facteur aggravant l'endommagement de la géomembrane : la glace qui se forme au niveau de la risberme et de la couverture supérieure reste accrochée et des décrochements brutaux de blocs de glace ou de pierre sont ensuite susceptibles de se produire et de déchirer la géomembrane en partie inférieure du parement non couvert et en fond de retenue lorsque celle-ci est vide.

#### 6.5.3.3 ISD

Au-dessus de la couche granulaire drainante réglementaire, on veillera à mettre en place des déchets non agressifs et déformables, dans le premier mètre en contact avec la couche drainante et avec les talus.

Les matériaux naturels (sols fins, terres polluées en ISD,...), ou des sous-produits industriels peuvent constituer une protection supplémentaire du DEG en talus.

Dans le cas d'une couverture d'ISD, si des géosynthétiques sont placés sous et/ou sur la géomembrane (drainage, renforcement, etc.), il conviendra de s'assurer qu'ils ne sont pas agressifs pour la géomembrane dans les conditions d'installation et de service.

Les éléments de couverture ne doivent pas non plus entraîner une traction au sein de la géomembrane ; Une note géotechnique visant à vérifier les conditions de stabilité des matériaux vis-à-vis du glissement sera nécessaire.

## 7 Prescriptions relatives à l'exploitation de l'ouvrage

### 7.1 Circulation sur géomembrane recouverte / entretien

La circulation sur géomembrane recouverte pour le curage de l'ouvrage par exemple impose une rampe d'accès et une structure de protection sur cette rampe, sur le fond de l'ouvrage et le bas du talus ; il convient de ne pas altérer cette couche de protection (cas d'une couche granulaire) au cours de ces opérations, mais au contraire il faut vérifier l'intégrité et la constance (maintien) de son épaisseur (SETRA & LCPC, 2000).

L'utilisation d'engins adaptés (pneus basse pression, faible poids, ...) est requise. La végétation est à adapter pour limiter, voire éviter l'entretien. Il faudra éviter de réaliser l'entretien lorsque les conditions météo ne sont pas adaptées (sol meuble).

## **7.2 Circulation sur géomembrane non recouverte / entretien**

Dans le cas de géomembrane non protégée, aucune circulation d'engins n'est admise et les travaux manuels doivent être réalisés avec la plus grande prudence car certaines géomembranes présentent des plis qui peuvent être masqués par les dépôts et sont de ce fait très vulnérables (SETRA & LCPC, 2000).

## **7.3 Recommandations spécifiques par ouvrage**

### **7.3.1 ISD**

Le déversement des déchets ne doit pas s'effectuer directement sur le talus mais via une piste d'accès aménagée, ou un quai de déchargement. Le passage des engins à proximité des talus doit être limité.

### **7.3.2 Retenues d'altitude**

Dans les retenues d'altitude, un système de bullage, mis en place dans les fonds de cuvettes, revêt une importance particulière pour l'exploitation future de la retenue pour diminuer la prise en glace de la surface de la retenue. Cette solution est surtout efficace en partie centrale de la retenue. Son efficacité peut être améliorée en mettant en œuvre une couronne de bullage supplémentaire sur la risberme, de manière à limiter la prise de glace sur les bords du plan d'eau (Peyras et Meriaux, 2009).



## 8 Références

- AFNOR (2019) XP P84-700 Géosynthétiques bentonitiques - Généralités – Définitions.
- AFNOR (2018) NF EN 13361 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des réservoirs et des barrages.
- AFNOR (2018) NF EN 13362 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des canaux.
- AFNOR (2018) NF EN 13492 Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des sites d'évacuation de résidus liquides, des stations de transfert ou enceintes de confinement secondaire.
- AFNOR (2018) NF EN 13493 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des ouvrages de stockage et d'enfouissement de déchets solides.
- AFNOR (2018) NF EN 15382 Géomembranes et géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les infrastructures de transport.
- AFNOR (2017) NF EN 13249 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de routes et autres zones de circulation (à l'exclusion des voies ferrées et des couches de roulement).
- AFNOR (2017) NF EN 13251 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour les travaux de terrassement, les fondations et les structures de soutènement.
- AFNOR (2017) NF EN 13254 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de réservoirs et de barrages.
- AFNOR (2017) NF EN 13255 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de canaux.
- AFNOR (2017) NF EN 13257 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les ouvrages d'enfouissement des déchets solides.
- AFNOR (2017) NF EN 13265 Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les projets de confinement de déchets liquides.
- AFNOR (2016) NF EN 13719 Géosynthétiques - Détermination de l'efficacité de protection à long terme des géosynthétiques en contact avec les géomembranes.
- AFNOR (2015) NF EN ISO 10318-1/2 Géosynthétiques - Termes et définitions
- AFNOR (2013) NF P84-500 Géomembranes - Dictionnaire des termes relatifs aux géomembranes.
- AFNOR (2013) NF G38-060. Géotextiles et produits apparentés. Recommandations pour l'emploi de géotextiles et produits apparentés. Mise en œuvre – spécifications – contrôle des géotextiles et produits apparentés.
- AFNOR (2003) NF EN 1990 Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures.
- AFNOR (2002) NF EN 12224 Géotextiles et produits apparentés - Détermination de la résistance au vieillissement dû aux conditions climatiques.
- AFNOR (1988) NF G38-019 Textiles – Articles à usages industriels – Essais des géotextiles : détermination de la résistance au poinçonnement.
- Budka, A. et al. (2006) Performances de différents géotextiles de protection de la géomembrane dans les installations de stockage de déchets, Rencontres géosynthétiques 2006, 29-36.
- CFG (2017) Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes, 81 p. Téléchargeable sur <https://www.cfg.asso.fr/publications/guides-de-recommandations/n10-recommandations-generales-realisation-etancheite-par-geomembranes>.
- CFG (1995) Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets, 53 p. Téléchargeable sur <https://www.cfg.asso.fr/publications/guides-de-recommandations/n11-recommandations-utilisation-geosynthetiques-centres-stockage-dechets>.
- CFG (2001) Guide pour la réalisation de planches d'essais d'endommagement, 25p. Téléchargeable sur <https://www.cfg.asso.fr/publications/guides-de-recommandations/guide-pour-la-realisation-de-planches-dessais-dendommagement>.
- Koerner (2005) Design with geosynthetics, Publisher : Pearson College Div, 5ème édition, 796 pages.
- Peyras, L., Mériaux, P. (2009) Retenues d'altitude, guide de recommandations. Editions Quae.
- SETRA LCPC (2000) Etanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier.
- Stoltz et Heili (2022) Evaluation de l'efficacité des géosynthétiques de protection contre l'endommagement des géomembranes. Rencontres géosynthétiques. A paraître.