



# Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes

ÉDITION DE 2017

# Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes

ÉDITION DE 2017

1.	Présentation du fascicule .....	7
1.1.	Objectifs du fascicule .....	7
1.2.	Avertissement sur le cadre d'utilisation de ce fascicule .....	7
1.3.	Domaines d'application visés .....	7
1.4.	Organisation du fascicule .....	8
2.	Présentation des dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG) .....	9
2.1.	Généralités .....	9
2.2.	Définitions concernant les dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG) .....	9
2.3.	Structure support .....	11
2.3.1.	Fonctions .....	11
2.3.2.	Matériaux de la couche de forme .....	11
2.3.3.	Matériaux de la couche support .....	11
2.3.4.	Dispositifs de drainage .....	12
2.4.	Structure d'étanchéité : la (ou les) géomembrane(s) .....	13
2.4.1.	Géomembranes : définition .....	13
2.4.2.	Fonction des géomembranes au sein d'un ouvrage .....	14
2.4.3.	Grandes familles de matériaux .....	14
2.4.4.	Grandes filières de production des géomembranes .....	15
2.4.5.	Caractéristiques et comportement des géomembranes .....	15
2.5.	Structure de protection supérieure .....	16
2.5.1.	Fonctions .....	16
2.5.2.	Matériaux .....	16
2.6.	Exemples de quelques configurations possibles du D.E.G. .....	17
3.	Conception .....	18
3.1.	Généralités .....	18
3.2.	Paramètres à prendre en compte dans le cadre de la conception de l'ouvrage .....	19
3.2.1.	Classe de conséquences .....	19
3.2.2.	Considérations géométriques .....	19
3.2.3.	Considérations climatiques .....	21
3.2.4.	Impacts des fluides adjacents à l'ouvrage .....	22
3.2.5.	Considérations liées aux agressions diverses .....	22
3.2.6.	Considérations géotechniques .....	23
3.2.7.	Planche d'essai .....	24
3.3.	Paramètres à prendre en compte dans le cadre de l'exploitation de l'ouvrage .....	24

3.3.1.	Considérations liées à la sécurité et à l'entretien.....	24
3.3.2.	Considérations liées à la durabilité.....	24
3.3.3.	Considérations liées aux agressions diverses.....	25
3.3.4.	Considérations Hydrauliques.....	26
3.3.5.	Considérations liées aux exigences particulières de l'ouvrage.....	27
3.4.	Pièces techniques et réglementaires concernant les éléments du DEG.....	27
3.4.1.	Notice technique.....	27
3.4.2.	Cahier des charges de pose du fabricant de géomembrane.....	27
3.4.3.	Marquage CE.....	28
3.4.4.	Certification et agréments techniques.....	28
4.	Réalisation de l'ouvrage.....	30
4.1.	Préparation du fond de forme.....	30
4.1.1.	Compactage.....	30
4.1.2.	Enlèvement de la végétation.....	31
4.1.3.	Aménagement en crête de talus.....	31
4.1.4.	Pente du fond de forme.....	31
4.2.	Prescriptions concernant la structure support.....	31
4.2.1.	Couche de forme.....	31
4.2.2.	Drainage de l'eau.....	32
4.2.3.	Drainage des gaz.....	33
4.3.	Exécution de l'étanchéité.....	33
4.3.1.	Dispositions générales.....	33
4.3.2.	Transport et stockage.....	33
4.3.3.	Conditionnement et étiquetage.....	34
4.3.4.	Mise en place des lés.....	34
4.3.5.	Réalisation des assemblages entre lés de géomembranes.....	35
4.3.6.	Ancrages.....	40
4.3.7.	Raccordements aux ouvrages annexes.....	44
4.3.8.	Certifications ou qualifications.....	47
4.4.	Mise en place de la structure de protection.....	48
5.	Contrôles et réception.....	50
5.1.	Domaine des Contrôles.....	50
5.2.	Recommandations générales relatives aux contrôles d'un DEG.....	50
5.2.1.	Contrôles de l'organisation du chantier.....	50
5.2.2.	Contrôles des zones de stockage et de manutention des produits.....	50
5.2.3.	Contrôles de réception des matériaux et matériels sur le chantier.....	51
5.2.4.	Planches d'essais et épreuves de convenance.....	51
5.2.5.	Contrôles associés à la mise en œuvre et réception de la structure support.....	52
5.2.6.	Contrôles du plan de calepinage.....	52
5.2.7.	Contrôles du plan de phasage des travaux.....	52
5.2.8.	Contrôles de la mise en œuvre de l'étanchéité.....	52
5.2.9.	Méthodologie de contrôle.....	54
5.2.10.	Contrôles associés à la mise en œuvre de la structure de protection.....	56
5.2.11.	Contrôles du dossier d'ouvrage exécuté (DOE).....	56
6.	Assurance de la qualité.....	57
6.1.	Terminologie qualité.....	57
6.2.	Organisation des actions qualité.....	58

6.3.	Contenu du Plan d'Assurance Qualité (PAQ) .....	59
7.	Garanties, Assurances, litiges .....	61
7.1.	Rôle des différents intervenants .....	61
7.2.	Garanties .....	62
7.3.	Assurances.....	62
7.4.	Litiges .....	62
	Annexe A : Glossaire .....	64
	Annexe B : Bibliographie et documents normatifs .....	70
	Annexe C : Caractéristiques et performances minimales des géomembranes .....	73
	Géomembranes bitumineuses.....	73
	Géomembranes PEHD .....	74
	Géomembranes PP-F .....	75
	Géomembranes PVC-P.....	76
	Géomembranes EPDM.....	77
	Annexe D : Éléments d'aide à la rédaction d'un Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP).....	78

### **Liste des figures**

- Figure 1 — Constitution d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG)  
Figure 2 — Exemple d'un DEG  
Figure 3 — Exemple de bassin avec protection supérieure végétalisée  
Figure 4 — Autre exemple de bassin avec protection supérieure végétalisée  
Photo 5 — Réalisation d'assemblages en PVC-P – Double soudure, soudure manuelle  
Photo 6 — Réalisation d'assemblages en PEHD – Double soudure, soudure manuelle, extrusion  
Photo 7 — Réalisation de soudure de géomembranes bitumineuses  
Photo 8 — Réalisation d'assemblages en EPDM  
Figure 9 – Recouvrements et assemblages multiples  
Figure 10 – Schéma de principe de réalisation d'une tranchée d'ancrage pour une géomembrane exposée  
Figure 11 – Schéma de principe de réalisation d'une tranchée d'ancrage pour une géomembrane protégée  
Figure 12 – Exemple d'ancrage avec section pesante en remblai  
Figure 13 – Exemple d'ancrage avec bordures béton  
Figure 14 – Exemple de maintien en pied dans le cas d'une digue  
Figure 15 – Coupe d'une fixation mécanique par réglet métallique  
Figure 16 – Exemple de raccordement sur massif béton  
Figure 17 – Exemple de raccordement sur massif béton  
Figure 18 – Exemple de raccordement sur massif béton  
Figure 19 – Exemple de raccordement aux canalisations par manchon

### **Liste des tableaux**

- Tableau 1 — Classes de conséquences  
Tableau 2 — Valeurs minimales des sections pesantes  
Tableau 2 — Normes européennes applicables aux géosynthétiques  
Tableau 3 — Moyens nécessaires aux assemblages  
Tableau 4 — Largeurs de recouvrement et largeurs des assemblages  
Tableau 5 — Organisation des actions qualité

## **Liste des abréviations et sigles utilisés dans le document :**

AFAG	: Association Française des Applicateurs de Géomembranes
APP	: PolyPropylène Atactique
CC	: Classe de Conséquences
CCTP	: Cahier des Clauses Techniques Particulières
CFG	: Comité Français des Géosynthétiques
Cofrac	: Comité français d'accréditation
DEG	: Dispositifs d'Étanchéité par Géomembranes
DOE	: Dossier des Ouvrages Exécutés
DoP	: Déclaration de Performances
EIF	: Enduit d'Imprégnation à Froid
EPDM	: Elastomère éthylène-Propylène Diène terpolymère
FNTF	: Fédération Nationale des Travaux Publics
GSB	: GéoSynthétique Bentonitique
ISD	: Installations de Stockage de Déchets
OPN	: Optimum Proctor Normal
PAE	: Programme d'Aménagement d'Ensemble
PAQ	: Plan d'Assurance Qualité
PEBD	: PolyÉthylène Basse Densité
PEHD	: Polyéthylène Haute Densité
PP-F	: PolyPropylène Flexible
PPSPS	: Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé
PVC-P	: PolyChlorure de Vinyle Plastifié
SBS	: Styène-Butadiène-Styène
SDQ	: Schéma Directeur de la Qualité
SOPAQ	: Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité
Sp	: Sections Pesantes
TPO	: ThermoPlastic Oléfine



## 1. Présentation du fascicule

### *1.1. Objectifs du fascicule*

L'objet de ce fascicule consiste à fournir des informations générales sur les Dispositifs d'Étanchéité par Géomembranes (DEG), et plus particulièrement sur les géomembranes. Ce fascicule a pour objectif de donner aux acteurs de la profession des éléments d'aide à la conception, à la réalisation, au contrôle, à la réception, ainsi qu'au suivi des ouvrages concernés.

### *1.2. Avertissement sur le cadre d'utilisation de ce fascicule*

Ce fascicule n'a pas été soumis à la procédure d'homologation et ne peut être en aucun cas assimilé à une norme française. Son utilisation relève uniquement d'une démarche volontaire.

Ce fascicule est un recueil de définitions, d'informations et de recommandations provenant d'un ensemble de professionnels tels que Maîtres d'Ouvrages, Maîtres d'Œuvre, laboratoires, experts, producteurs de géosynthétiques et entreprises d'application.

Ce fascicule ne concerne ni les géosynthétiques bentonitiques, ni les géofilms d'épaisseurs inférieures à 1 mm, ni les membranes d'une largeur inférieure à 1,5 m qui ne sont pas considérées comme des géomembranes selon la norme NF P84-500 en vigueur.

### *1.3. Domaines d'application visés*

Les domaines d'application visés par ce fascicule sont les suivants :

- Ouvrages hydrauliques (barrages, bassins, canaux, fossés...)
- Ouvrages de confinement de matières solides et liquides
- Plateformes routières et ferroviaires

Ce fascicule ne traite pas des ouvrages suivants :

- ponts ou ouvrages assimilés,
- ouvrages dans l'emprise de bâtiments,
- ouvrages de génie civil enterrés (cuvelages, tunnels, tranchées couvertes...),
- les Installations de Stockage de Déchets (ISD) qui sont traitées par le Fascicule 11 du Comité Français des Géosynthétiques (CFG). Néanmoins et même si la constitution des DEG peut être différente, les éléments liés à la mise en œuvre des géomembranes sont également applicables sur ce type d'ouvrage.

### ***1.4. Organisation du fascicule***

Le fascicule s'organise de la façon suivante :

- Partie 1 : Présentation du Fascicule
- Partie 2 : Présentation des DEG ;
- Partie 3 : Conception ;
- Partie 4 : Réalisation de l'ouvrage ;
- Partie 5 : Contrôles et réception de l'ouvrage ;
- Partie 6 : Assurance de la qualité ;
- Partie 7 : Garanties, assurances, litiges ;

Ces parties sont complétées par les 4 annexes suivantes :

- Annexe A : Glossaire, abréviations
- Annexe B : Bibliographie et documents normatifs
- Annexe C : Caractéristiques et performances minimales des géomembranes
- Annexe D : Eléments d'aide à la rédaction d'un Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)



## **2. Présentation des dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG)**

### ***2.1. Généralités***

Un DEG est un dispositif qui :

- est étanche aux liquides et aux gaz :
  - en partie courante,
  - aux assemblages entre lés,
  - aux raccordements (fixations) aux ouvrages associés (structures en béton ou en métal, canalisations, etc...)
- doit conserver cette étanchéité compte-tenu des contraintes :
  - de mise en œuvre (par exemple : poinçonnement dynamique, ...),
  - de service (par exemple : poinçonnement, tassements différentiels, vieillissement climatique...),
  - d'exploitation (par exemple : agressivité chimique du milieu, contraintes mécaniques liées à l'entretien des ouvrages).

Une géomembrane a comme seule fonction l'étanchéité. Compte-tenu des différentes contraintes précitées et des différents autres critères à prendre en compte, elle doit être intégrée dans un dispositif comportant plusieurs structures ayant chacune une fonction comme défini dans le paragraphe ci-après : le DEG.

### ***2.2. Définitions concernant les dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG)***

Les définitions relatives aux DEG et aux géomembranes sont indiquées dans la norme NF P84-500. Une partie des termes utilisés dans ce guide sont repris en annexe A.

La composition d'un DEG est présentée sur les figures 1 et 2.

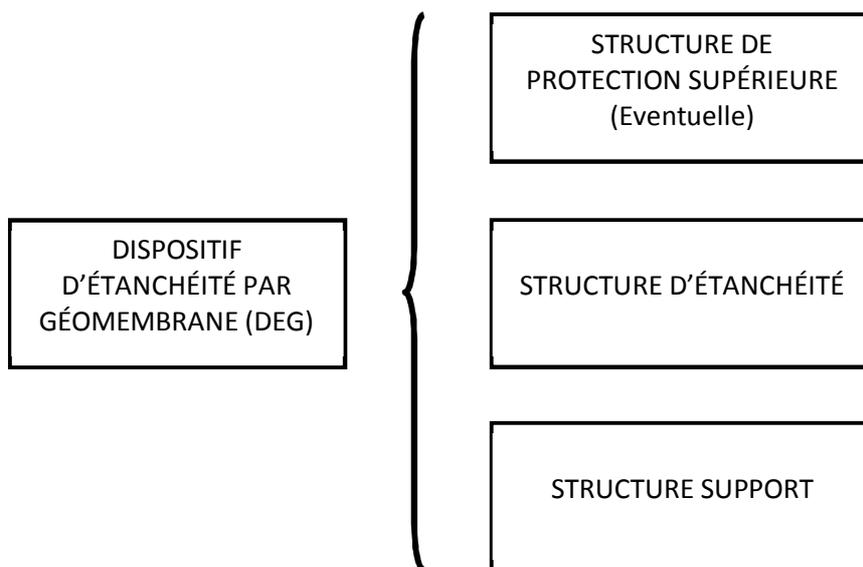


Figure 1 — Constitution d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG)

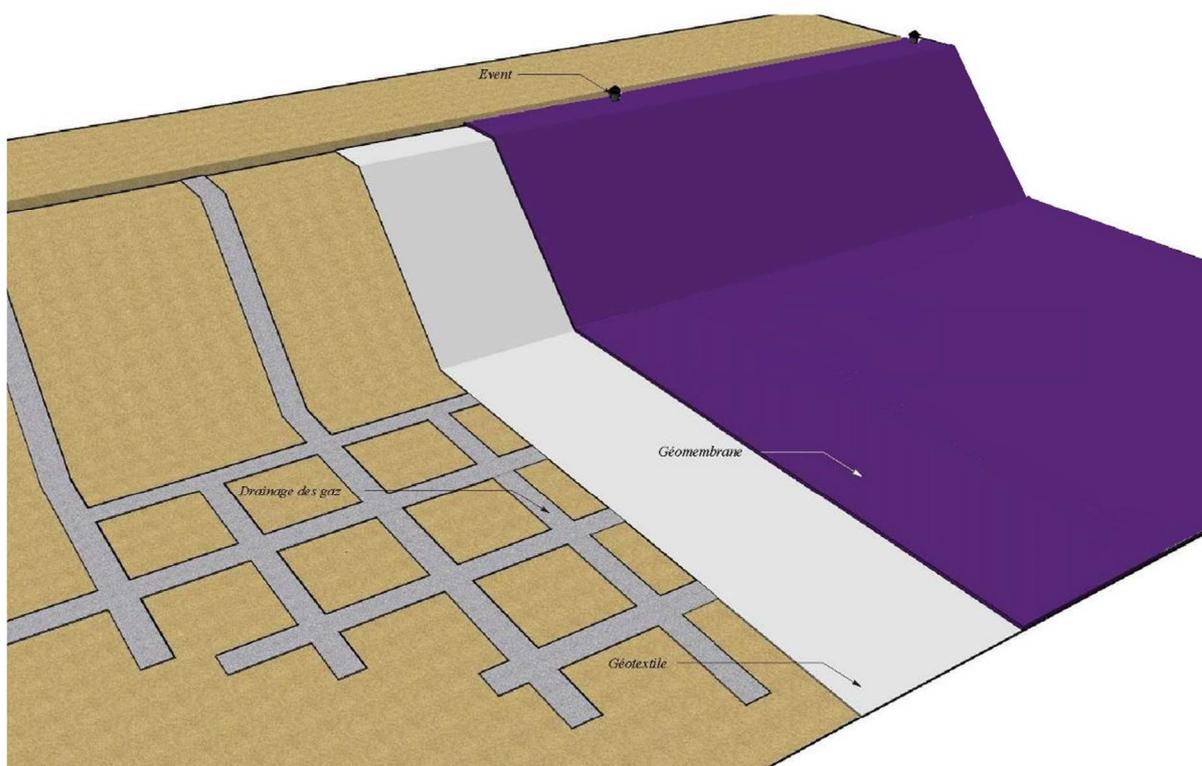


Figure 2 — Exemple d'un DEG

### **2.3. Structure support**

Elle comprend la couche de forme et la couche support de la géomembrane avec les drainages éventuels de l'eau et des gaz et la protection inférieure. Elle est mise en œuvre sur le fond de forme et sous la structure d'étanchéité.

#### **2.3.1. Fonctions**

La structure support a pour fonction de protéger la structure d'étanchéité vis-à-vis des agressions mécaniques. Les matériaux qui la constituent doivent donc être eux-mêmes non-poinçonnants, exempts de végétation et doivent être compatibles chimiquement avec la structure d'étanchéité.

La structure support doit être stable par elle-même, à la fois lors des travaux de réalisation de l'ouvrage et pendant sa durée de service.

Lors des travaux, le rôle de la structure support est de rendre possible ou de faciliter la mise en place de la géomembrane.

Par la suite, durant l'exploitation et le fonctionnement de l'ouvrage concerné, la structure support doit répartir les efforts transmis en ne générant que des déformations acceptables par la géomembrane (les déformations induites ne doivent pas conduire à une baisse des performances d'étanchéité de la géomembrane à court et à long terme).

Lorsqu'un ou plusieurs systèmes de drainage sont intégrés dans la structure support, ces derniers doivent permettre d'annuler les effets des sous-pressions (gaz et eau). Le drainage des eaux peut, dans certains cas, offrir la possibilité de détecter et éventuellement de récupérer les infiltrations accidentelles.

#### **2.3.2. Matériaux de la couche de forme**

La couche de forme, suivant l'ouvrage et le lieu, est composée d'une grande variété de matériaux (argiles, graves, ciment,...). Elle devra être réceptionnée par la Maîtrise d'Œuvre, l'entreprise de terrassement ou de gros œuvre et l'entreprise d'application de géosynthétiques.

#### **2.3.3. Matériaux de la couche support**

La couche support, suivant l'ouvrage et le lieu, est composée d'une grande variété de matériaux ayant pour fonction la protection de la géomembrane (géotextiles ou produits apparentés, sable,...).

Sans justification contraire du concepteur ou du Maître d'Œuvre, un géotextile de protection, constituant la couche support, est nécessairement mis en œuvre entre la couche de forme et la géomembrane.

NOTA : Dans les cas particuliers des projets présentant une couche support argileuse considérée comme une barrière de sécurité passive, la mise en place d'un matériau drainant entre cette couche support et la géomembrane est à éviter. Dans certains cas, la mise en place d'un géotextile fin (ayant uniquement un rôle de propreté) peut s'avérer nécessaire pour la réalisation de la pose et des assemblages de la géomembrane dans de bonnes conditions.

Dans ce cadre, le géotextile doit être dimensionné par le concepteur de l'ouvrage. Ce dernier pourra s'appuyer sur le fascicule du CFG : « Recommandations pour la protection contre l'endommagement des géomembranes » (en cours de rédaction lors de la parution du présent document).

## 2.3.4. Dispositifs de drainage

### 2.3.4.1. Dispositif de drainage des eaux

L'eau susceptible de se trouver sous la structure d'étanchéité peut nuire au bon comportement de l'ouvrage (sous-pressions, thermoosmose, condensation, gel-dégel, érosion, perte de stabilité du support ou des talus, ...).

Sans justification contraire du concepteur ou du Maître d'Œuvre, un dispositif de "drainage eau" doit être envisagé et adapté aux volumes d'eau attendus. Il est réalisé soit par une couche granulaire, soit par un géosynthétique drainant soit par des tranchées drainantes.

NOTA : Dans les cas particulier des projets présentant une couche support argileuse considérée comme une barrière de sécurité passive, la mise en place d'un dispositif de drainage entre une couche support argileuse et la géomembrane est à proscrire.

La couche granulaire présente une perméabilité  $k$  supérieure à  $10^{-5}$  m/s et une épaisseur au moins égale à 10 cm.

Dans certains cas, une couche de sable constituant le dispositif de drainage peut jouer le rôle de couche support.

Les géosynthétiques de drainage ont des capacités de débit dans le plan adaptées. Pour son dimensionnement, on peut s'appuyer sur le guide du CFG « Recommandation pour l'emploi des géosynthétiques de drainage et de filtration ».

Pour éviter l'obstruction du dispositif de drainage et l'entraînement du sol, un filtre doit être prévu entre la couche drainante et les horizons voisins, en respectant les règles des filtres pour les matériaux granulaires et les géotextiles. Les eaux de drainage sont recueillies par des collecteurs placés à la partie basse de l'ouvrage. Si l'importance de ce dernier ou des débits à évacuer le nécessite, un réseau plus dense de collecteurs est réalisé.

Dans le cas souhaitable où le système de drainage doit permettre de déceler et d'évaluer un débit de fuite, il importe de vérifier que le débit recueilli en sortie des réseaux de drainage ne soit pas augmenté par des venues d'eau parasites. Le débit mesuré peut être à l'inverse inférieur au débit de fuite réel par suite d'infiltrations sous le réseau de drainage, sauf dans le cas d'une double étanchéité.

Dans le cas de grands ouvrages, il est recommandé de procéder à un zonage du système de drainage.

Le dimensionnement du réseau de drainage des eaux est fonction :

- du débit des eaux provenant de l'extérieur de l'ouvrage,
- du débit de fuite admissible,
- des sous-pressions maximales admissibles soit en service normal soit en cas de fuite accidentelle,
- de la perméabilité du sol support qui conditionne la vitesse de remontée de la nappe sous l'ouvrage.

En fonction du contexte hydrogéologique, un système de drainage complémentaire, extérieur à l'ouvrage, peut se révéler indispensable.

Pour assurer l'écoulement de l'eau, le dispositif de drainage est associé à un exutoire. L'eau est évacuée soit par gravité soit par pompage.

### 2.3.4.2. Dispositif de drainage des gaz

De même, il est nécessaire de mettre en place un dispositif de drainage adapté permettant de dissiper les sous-pressions gazeuses (remontées rapides de la nappe phréatique dans un sol non saturé, décomposition de matière organique en profondeur, fuites de liquides chargés en matières organiques, sols pollués,...). Sans justification contraire du concepteur, ce dispositif sera mis en place systématiquement et recouvrira une surface minimale de 20% de l'ouvrage.

Le dispositif de drainage doit comprendre :

- un géosynthétique de drainage,
- un système de séparation/filtration limitant le colmatage du système de drainage (géotextile de filtration par exemple).

Si le drainage ne se fait pas sur la totalité de la surface, ce dernier devra être régulièrement réparti en fond et en talus.

Les sorties des drains de gaz sont implantées à l'air libre aux points hauts et doivent être protégées (chapeau et grille) pour empêcher toute obstruction ou pénétration d'eau ou de corps étrangers. Les sorties des drains de gaz et leurs raccordements ne doivent pas permettre l'entrée des eaux de ruissellement. Les événements utilisés devront avoir un diamètre minimum de 75 mm.

Le drainage des gaz ne fonctionne pas s'il est noyé. La réalisation d'un drainage de gaz entraîne donc, sauf support naturellement drainant, celle d'un drainage des eaux.

## 2.4. Structure d'étanchéité : la (ou les) géomembrane(s)

### 2.4.1. Géomembranes : définition

Les géomembranes font l'objet de définitions normalisées, précisées dans la norme NF P84-500.

Les géomembranes sont :

- des produits minces (sont donc exclus les produits étanches constitués de mortier ou de mastics bitumineux d'épaisseurs centimétriques ou décimétriques),
- des membranes dont l'épaisseur fonctionnelle est supérieure ou égale à 1 mm (sont donc exclus les géofilms dont l'épaisseur fonctionnelle est inférieure à 1 mm),
- des produits souples (sont donc exclus une couche de mortier de ciment ou une tôle métallique),
- des produits étanches : le niveau minimum d'étanchéité d'une géomembrane défini dans la norme est de  $10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ ,
- des produits présentant une continuité entre eux par des assemblages étanches et ayant une bonne résistance (sont donc exclus tous les produits ne pouvant être assemblés thermiquement ou chimiquement).

Les géomembranes sont des produits manufacturés et transportés sur le site sous forme de lés de largeurs variables (à partir de 1,5 m) conditionnés en rouleaux ou en nappes (pré-assemblage en usine des lés) dont la surface peut atteindre 1 000 m<sup>2</sup> (ou plus).

Cette utilisation de grande largeur ou de grande surface permet de minimiser les aléas liés à la réalisation des assemblages des lés sur le chantier. La manipulation de ces produits de grande surface (poids des rouleaux allant jusqu'à plusieurs tonnes) nécessite de définir des procédures de manutention et de mise en œuvre adaptées au contexte du chantier (géométrie, accès,...) et d'employer le matériel adéquat.

Les géomembranes peuvent présenter des faces plus ou moins lisses, voire très rugueuses.

Dans ce dernier cas on parle de géomembranes texturées. Les géomembranes peuvent être armées (géomembranes armées) et/ou être associées à un ou plusieurs composants (géomembranes composées).

Un géosynthétique bentonitique (GSB) n'est pas une géomembrane et n'est donc pas concerné par ce fascicule. L'usage de ce produit est décrit dans le Fascicule 12 du CFG : « Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques ».

## **2.4.2. Fonction des géomembranes au sein d'un ouvrage**

Les géomembranes n'ont qu'une seule fonction : assurer l'étanchéité.

## **2.4.3. Grandes familles de matériaux**

Il existe deux grands types et six familles chimiques principales de géomembranes :

- géomembranes bitumineuses :
  - à base de bitume oxydé,
  - à base de bitume modifié par des polymères,
- géomembranes polymériques :
  - PVC-P (polychlorure de vinyle plastifié),
  - PEHD (polyéthylène haute densité),
  - PP-F (polypropylène flexible),
  - EPDM (élastomère éthylène propylène diène terpolymère).

Il existe d'autres types de géomembranes également utilisés sur le marché Français (PEBD polyéthylène basse densité, TPO Thermoplastique oléfine....). Ces dernières ne seront pas décrites dans le présent guide de recommandations car elles ne sont pas clairement définies par la profession. Néanmoins, les principes décrits dans le présent guide s'appliquent à toutes les familles chimiques de géomembranes.

### **Géomembranes bitumineuses**

Les principaux matériaux bitumineux utilisés pour la confection des géomembranes sont :

- les bitumes oxydés ou "soufflés" obtenus par oxydation en raffinerie de bitumes de distillation directe,
- les bitumes modifiés par ajout de polymères (bitumes polymères). Les principaux polymères utilisés sont des élastomères thermoplastiques comme le Styrène-Butadiène-Styrène (SBS) ou des plastomères comme le polypropylène atactique (APP).

Les géomembranes bitumineuses sont armées par des voiles de verre et/ou des non tissés de polyester.

### **Géomembranes polymériques**

Deux grandes familles de polymères sont très utilisées industriellement : les plastomères et les élastomères.

Il n'est pas toujours simple de situer clairement une géomembrane dans une classe précise de polymères car la chimie offre de très nombreuses possibilités de mélanges entre les produits de base.

Cette remarque relativise donc leur classification :

- les plastomères (ou polymères thermoplastiques), susceptibles d'être successivement ramollis par apport de chaleur et durcis par refroidissement pour en assurer l'assemblage.

Les principaux plastomères utilisés pour les géomembranes sont :

- le polychlorure de vinyle plastifié (PVC-P),
  - le polyéthylène haute densité (PEHD),
  - le polypropylène flexible (PP-F).
- les élastomères, polymères retrouvant rapidement leur dimension initiale après cessation des contraintes. Cette caractéristique est obtenue en usine par vulcanisation, opération qui rend en particulier le produit infusible.  
Le principal élastomère utilisé pour les géomembranes est :
    - l'éthylène propylène diène terpolymère (EPDM).

#### **2.4.4. Grandes filières de production des géomembranes**

Les géomembranes bitumineuses sont fabriquées par imprégnation et enduction de voiles de verre et/ou des armatures en non tissés polyester avec des matériaux bitumineux.

Les géomembranes à base de polymères sont dans leur très grande majorité produites dans des installations complexes à grand rendement, par calandrage, extrusion à plat, extrusion soufflage ou enduction.

#### **2.4.5. Caractéristiques et comportement des géomembranes**

##### **Caractéristiques moyennes minimales des différentes familles de géomembranes**

Les caractéristiques principales des différentes géomembranes sont spécifiées par famille et par épaisseur dans l'annexe C.

##### **Comportement des différentes familles de géomembranes**

**Géomembranes bitumineuses** : géomembranes armées – massives – épaisseur importante – soudure au chalumeau – compatible avec des protections en enrobés.

**EPDM** : élasticité et flexibilité importantes – préfabrication de grandes nappes permettant de limiter le nombre de raccords sur site – assemblage par vulcanisation à froid

**PEHD** : résistance chimique élevée – fabriqué en rouleaux de grande largeur permettant de réduire le nombre de soudures dans un ouvrage – soudure par thermofusion (double soudure) ou extrusion

**PP-F** : compromis entre souplesse et résistance chimique - fabriqué en rouleaux de grande largeur permettant de réduire le nombre de soudures dans un ouvrage – soudure par thermofusion (double soudure) ou extrusion

**PVC-P** : souplesse – large choix de couleur – préfabrication possible – soudure par thermofusion (double soudure)

Dans tous les cas, le concepteur devra s'assurer de la compatibilité entre les caractéristiques du projet et le type de géomembrane. Plusieurs géomembranes peuvent être adaptées pour un même projet.

## ***2.5. Structure de protection supérieure***

### **2.5.1. Fonctions**

La nécessité éventuelle au sein du DEG d'une couche de protection supérieure de la structure d'étanchéité dépend de l'aptitude de l'ensemble "structure support - structure d'étanchéité" à réagir, sans perte de ses caractéristiques, aux différentes sollicitations extérieures qui lui sont imposées tant au cours du chantier que par la suite en cours d'exploitation de l'ouvrage.

Les sollicitations à prendre en compte pour décider de la nécessité et de la conception de la structure de protection seront présentées dans le chapitre 3. Conception.

La structure de protection peut également, dans certains cas, jouer un rôle dans l'aspect esthétique ou l'intégration paysagère de l'ouvrage. Le choix des matériaux de recouvrement ne découle plus uniquement de considérations purement techniques.

### **2.5.2. Matériaux**

Des matériaux naturels (terre, sable, graviers, enrochements,...), du béton hydraulique coulé sur place, des éléments préfabriqués en béton (dalles, pavés autobloquants, ...) ou des matériaux bitumineux sont couramment utilisés pour protéger la géomembrane.

La structure de protection supérieure doit être auto-stable afin de ne pas engendrer d'efforts sur la géomembrane. Cependant l'apport de matériaux sur la géomembrane engendre des sollicitations nécessitant de vérifier la stabilité au glissement et en traction des différents composants du DEG. Cette vérification est conduite selon la norme XP G38-067 (en révision prNF G38-067). En fonction du résultat, il peut être nécessaire de mettre en place un dispositif de renforcement et d'accroche terre ainsi que des ancrages appropriés.

Sans justification contraire du concepteur, on interpose une couche de transition (géotextile antipoinçonnant, matériau fin, ...) entre la géomembrane et les matériaux de protection supérieure qui a pour fonction d'assurer la protection mécanique vis à vis des éléments agressifs, en particulier lors de leur mise en œuvre.

## 2.6. Exemples de quelques configurations possibles du D.E.G.

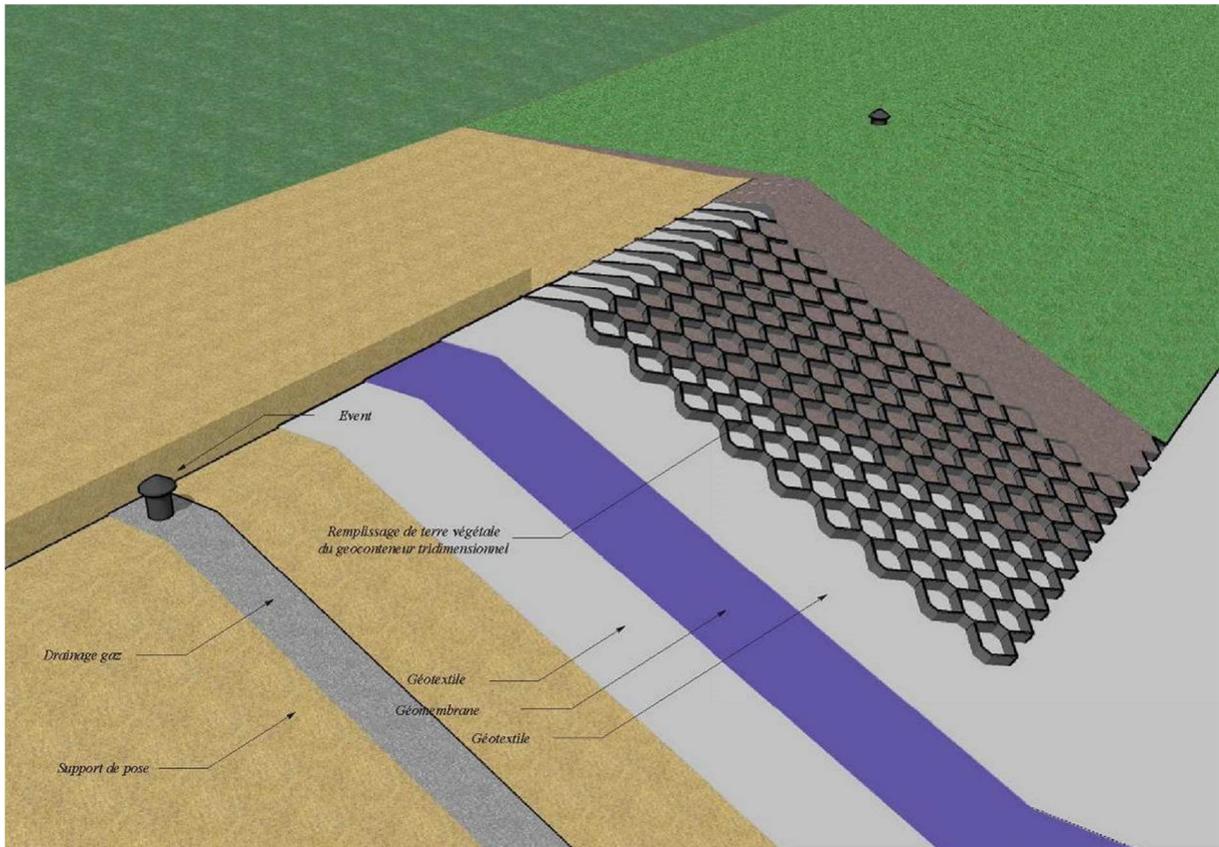


Figure 3 — Exemple de bassin avec protection supérieure végétalisée

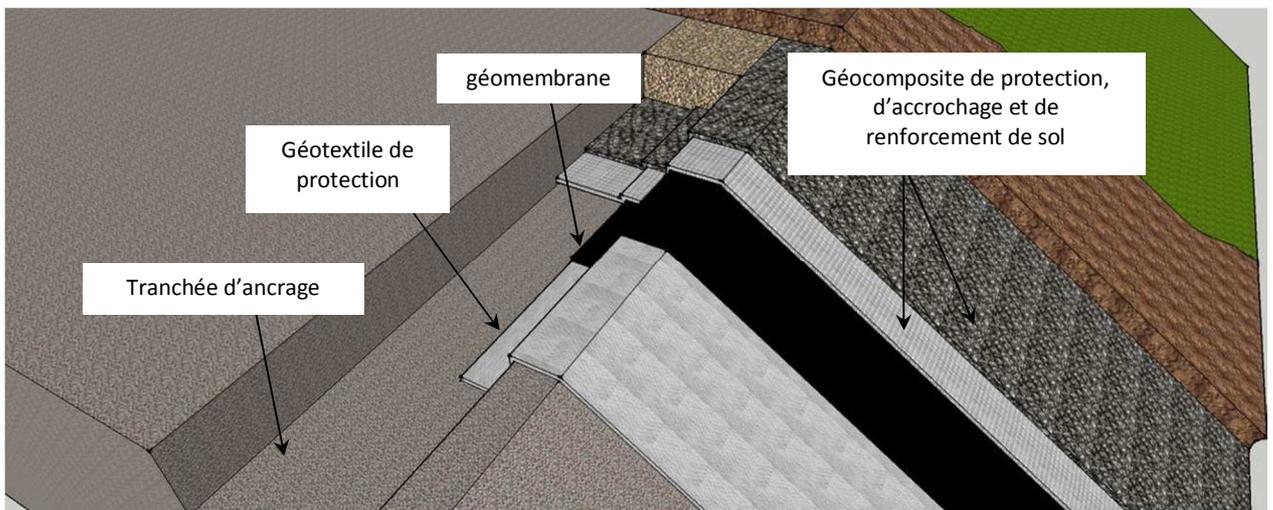
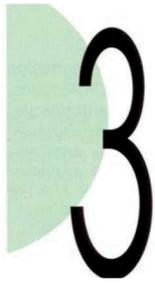


Figure 4 – Autre exemple de bassin avec protection supérieure végétalisée



## 3. Conception

### 3.1. Généralités

Le concepteur est amené à choisir les sollicitations à retenir pour le dimensionnement du DEG en fonction des caractéristiques du site, du rôle de l'ouvrage, de la nature des produits stockés et des conditions de réalisation, d'exploitation et d'entretien, tout en tenant compte des matériaux disponibles localement dans des conditions économiques acceptables.

Les principaux paramètres à prendre en compte dès le début de la phase de conception du DEG sont :

- Classe de conséquences
- Caractéristiques du site :
  - Localisation et environnants,
  - Historique,
  - Exposition et conditions climatiques,
  - Contexte hydrogéologique et géologique,
  - Topographie,
  - Accessibilité,
  - Environnement.
- Rôle de l'ouvrage :
  - Stockage permanent, temporaire, accidentel, saisonnier...
  - Confinement,
  - Ouvrage filtrant.
- Géométrie de l'ouvrage :
  - Volume,
  - Surface, profondeur, pentes, digues, crêtes, risbermes...
- Nature des produits stockés :
  - Etat physique (liquide, solide, gazeux),
  - Composition chimique (pH, concentration, nature des effluents, interaction entre produits...),
  - Température,
  - Temps d'exposition.
- Conditions de réalisation :
  - Géométrie du site,
  - Accessibilité,
  - Délais,
  - Conditions climatiques,
  - Sécurité vis-à-vis des environnants.
- Conditions d'exploitation et d'entretien :
  - Variabilité des niveaux,
  - Environnants (végétation, faune...),
  - Nettoyage et curage,
  - Dangerosité,
  - Possibilité d'évolutions (géométrie et usage),
  - Inspection.

Il n'y a donc pas de solution unique pour la structure du DEG. C'est ainsi que, dans certains cas, on peut se dispenser de la structure de protection à condition d'adapter en conséquence le reste du DEG.

Les méthodes de conception et de dimensionnement du DEG actuellement disponibles reposent sur :

- des calculs mettant en œuvre des formules scientifiques ou empiriques (lestage pour compenser des contre pressions éventuelles, ...),
- des essais de laboratoire (caractéristiques mécaniques, compatibilité chimique, ...),
- l'expérience et le « bon sens » pour des éléments difficilement quantifiables (sécurité des personnes, protection contre le vandalisme, ...),
- les normes en vigueur.

### ***3.2. Paramètres à prendre en compte dans le cadre de la conception de l'ouvrage***

#### **3.2.1. Classe de conséquences**

Les classes de conséquences sont définies dans l'Eurocode 0. Elles sont le résultat d'une analyse préalable des risques en fonction des aléas potentiels et de la fiabilité recherchée pour l'ouvrage compte tenu des conséquences de la ruine éventuelle de la structure.

Ces conséquences doivent être examinées par la Maitrise d'Ouvrage en terme humain, socio-économique et d'impact environnemental.

Les différentes classes de conséquence sont présentées dans le tableau 1.

<b>Classe de conséquences</b>	<b>Description</b>
CC1	Conséquence faible en termes de perte de vie humaine, et conséquences économiques, sociales ou environnementales faibles ou négligeables
CC2a CC2b	Conséquence moyenne en termes de perte de vie humaine, conséquences économiques, sociales ou environnementales considérables
CC3	Conséquence élevée en termes de perte de vie humaine, ou conséquences économiques, sociales ou environnementales très importantes

**Tableau 1 — Classes de conséquences**

#### **3.2.2. Considérations géométriques**

##### **Emprise foncière**

L'emprise foncière devra être suffisante pour que l'ensemble des éléments de l'ouvrage soit réalisable et exploitable dans les règles de l'art (stabilité, pérennité, entretien, sécurité...).

##### **Forme générale**

Dans tous les cas, il est conseillé d'adopter des formes géométriques simples pour l'ouvrage afin de faciliter la mise en œuvre du DEG, limiter les assemblages et éviter la formation de plis. Pour les bassins qui ne nécessitent pas d'intégration dans un environnement particulier (bassins de golf, d'agrément...), on privilégiera les formes prismatiques ou développables.

La forme de l'ouvrage permettra à la géomembrane d'être en contact en tout point avec le support. En particulier, dans les angles, on pourra prévoir un dispositif de transition adapté à la nature de la géomembrane.

##### **Talus (stabilité)**

La géomembrane et plus généralement le DEG ne doivent avoir aucune fonction stabilisatrice vis-à-vis des pentes naturelles ou artificielles (déblais et remblais) sur lesquelles ils sont placés ou viennent se raccorder.

Une étude de mécanique des sols doit être réalisée au préalable par le concepteur ou un bureau d'étude spécialisé, de manière à s'assurer de la stabilité de ces pentes en tenant compte :

- des modifications (hydrauliques et mécaniques) liées à la construction de l'ouvrage et impactant son environnement,
- de l'incidence d'une fuite éventuelle liée à un désordre survenant lors de la réalisation de l'ouvrage ou de son exploitation.

La mise en œuvre de géomembranes est facilitée sur les pentes douces (pente maximale de 2H / 1V pour les ouvrages de faible hauteur). Ces pentes faibles sont destinées à faciliter aussi bien la circulation du personnel et des engins que la réalisation des assemblages sur le site.

La pente retenue doit également tenir compte de la stabilité propre du DEG, par exemple vis-à-vis du glissement relatif de ses différents composants et des matériaux qui le recouvrent éventuellement

La géométrie des pentes (angles, longueur du rampant,...) des talus doit être compatible avec les performances mécaniques et les dimensions disponibles de la géomembrane choisie (par exemple, les soudures transversales sur chantier en talus ne sont pas autorisées).

### **Têtes des talus et risbermes**

Il est conseillé de prévoir des têtes des talus ou des risbermes d'une largeur minimale de 6 m (3 m au-delà de l'emprise de l'ancrage) de façon à faciliter la circulation des engins sur ces parties de l'ouvrage et la réalisation des tranchées d'ancrage en tête de talus.

### **Fond de forme (portance et pente)**

Une pente du fond de forme de l'ordre de 2 à 3% dans le sens longitudinal et 3 à 5 % dans le sens transversal est recommandée pour le drainage des eaux et des gaz sous le DEG.

Le niveau de portance du sol support doit permettre la circulation des engins nécessaires à la pose du DEG sans orniérage. Dans le cas où l'orniérage ne peut être évité, le Maître d'Œuvre ou son représentant doit spécifier par écrit les limites acceptables.

### **Ancrages**

L'ancrage a pour rôle principal d'empêcher le glissement du DEG sur le talus.

Le dimensionnement de l'ancrage est de la responsabilité du concepteur.

Lors de la conception du DEG, les paramètres suivants doivent être pris en compte dans tous les cas de figure :

- nature du sol utilisé pour assurer le cordon de lestage en tête de talus (densité),
- dimensions de l'ouvrage (angles de la pente, hauteur du talus),
- choix du DEG et des angles de frottements aux différentes interfaces (exemple : sol/géotextile, sol/géomembrane, géotextile/géomembrane, géosynthétique/couche de protection...),
- conditions hydrauliques au niveau des interfaces géosynthétiques,
- conditions d'exploitation.

Dans tous les cas, l'ancrage minimum recommandé est assuré par une tranchée d'ancrage de 0,50 m x 0,50 m.

Dans le cas où la géomembrane reste exposée, les efforts à prendre en compte sont ceux liés au poids propre ou aux éventuelles sollicitations des éléments extérieurs (vent, courants, présence de neige,...). On pourra se référer au tableau 2 suivant (basé sur un poids volumique de remblai de 20 kN/m<sup>3</sup>) :

<b>Longueur du rampant (m)</b>	<b>Section pesante (m<sup>2</sup>)</b>
< 15	0,25
De 15 à 40	0,36
> 40	> 0,49

**Tableau 2 — Valeurs minimales des sections pesantes**

Pour le dimensionnement des dispositifs d'ancrage dans le cadre de projets avec protection supérieure (et son drainage), on se reportera à la norme XP G38-067 (en révision prNF G38-067).

La conception de l'ancrage d'un DEG est scindée en 2 étapes :

- le calcul des efforts de traction à reprendre par l'ancrage,
- la conception de l'ancrage proprement dite.

La conception de l'ancrage nécessite le calcul de l'effort de traction à reprendre au préalable. Les sollicitations sont liées non seulement aux matériaux de confinement sur pente mais aussi aux modalités de mise en œuvre prévues. Ainsi, les données d'entrée, à fournir par le Maître d'Ouvrage, pour le calcul des efforts de traction à reprendre sont les suivantes :

- la géométrie du talus qui sera équipé avec le dispositif,
- la composition du dispositif d'étanchéité prévu, comprenant les matériaux, les angles de frottement d'interface entre les matériaux adjacents, et les caractéristiques géotechniques des matériaux surmontant le dispositif,
- les sollicitations prévues (surcharges, neige, mode d'exploitation et mise en œuvre des matériaux, etc...).

### **Cas des géomembranes exposées**

L'ancrage participe également à la résistance de la géomembrane non lestée aux efforts de soulèvement entraînés par la dépression due au vent.

Le calcul des sections pesantes  $S_p$  et des longueurs d'ancrage doit tenir compte des angles de frottement aux différentes interfaces du DEG, mais également de la nature du sol utilisé, afin d'assurer le cordon de lestage.

Sur des talus de développés importants, en zone ventée, en couverture ou pour des ouvrages pouvant être vides (bassins d'irrigation ou de rétention par exemple), un système de lestage pérenne (boudins, papillotes, éléments béton...) est indispensable.

Dans tous les cas où on craint des mouvements importants du sol après mise en œuvre (par exemple mise en eau d'un bassin), il y a tout intérêt à prévoir un ancrage en tête par lestage provisoire permettant le plaquage de la géomembrane sur le support après stabilisation des mouvements. L'ancrage définitif intervient ultérieurement.

### **Cas des géomembranes protégées**

La mise en place d'une protection de la géomembrane permet d'accroître sensiblement sa durabilité. Cette protection peut également permettre l'intégration environnementale de l'ouvrage.

Cependant, l'apport de matériau sur le dispositif d'étanchéité engendre des sollicitations nécessitant de vérifier la stabilité au glissement et en traction des différents composants. Cette vérification sera conduite selon la norme XP G38-067 (en révision prNF G38-067). En fonction du résultat, il peut être nécessaire de mettre en place un dispositif de renforcement et d'accroche terre et des ancrages appropriés.

Dans le cas d'un ouvrage végétalisé, la mise en œuvre de la couche de terre ainsi que sa végétalisation interviendront dans les plus brefs délais. Il sera nécessaire de veiller à la bonne fertilité du support et de programmer les travaux dans des périodes de l'année propices à la germination. Il sera également nécessaire de s'assurer que la terre végétale soit stable dans son épaisseur (voir XP G38-067).

Avant la pousse de la végétation, des pluies importantes peuvent créer une érosion de surface, voire un glissement partiel de la terre. On peut donc prévoir des dispositifs anti-érosion de surface, biodégradables ou non, permettant de disperser l'énergie cinétique de l'eau à l'origine des phénomènes d'érosion (« casser » la goutte d'eau).

### **3.2.3. Considérations climatiques**

Les conditions météorologiques impactent sensiblement l'assemblage, la mise en œuvre et le comportement des géomembranes.

### **Températures extrêmes et variations de température**

L'application des géomembranes est déconseillée en dehors des plages 0°C – 35°C (température ambiante).

Dans le cas où cette recommandation n'est pas suivie, un accord entre le Maître d'Œuvre et l'entreprise d'application doit être écrit et signé concernant la méthodologie d'assemblage proposée.

Les géomembranes et leur soudabilité sont sensibles aux variations de températures dans une même journée. Ce paramètre doit être pris en compte lors de la mise en œuvre de ces matériaux.

### **Hygrométrie et pluviométrie**

Il est interdit d'assembler des lés de géomembranes sous la pluie, sous la neige, sur des supports constitués d'un sol sursaturé (boue,...). Les soudures doivent être réalisées au moins à 3°C au dessus du point de rosée.

## **3.2.4. Impacts des fluides adjacents à l'ouvrage**

Les eaux et gaz accumulés sous la géomembrane exercent sur celle-ci des contre-pressions qui tendent à la soulever et à créer des tensions dans cette dernière.

La battance de la nappe (éventuelle) et son amplitude maximale, ainsi que les débits d'eau et de gaz (air compris) doivent être évalués ou estimés via une étude (hydrogéologie, gaz, géotechnique...) à la charge du concepteur.

Les dispositifs de drainage des eaux et des gaz adaptés à l'ouvrage seront dimensionnés comme présenté au §2.3.4. – Dispositifs de drainage.

### **Lestage :**

Si le niveau de la nappe est amené à atteindre une hauteur supérieure à celle du fond de l'ouvrage, alors il sera possible de mettre en place un lestage réparti sur l'ensemble du fond de l'ouvrage. Le matériau de lestage sera adapté à la géomembrane mise en œuvre.

Le lestage doit impérativement être associé à un dispositif de drainage des eaux et des gaz sous la géomembrane.

### **Autres dispositifs :**

Il existe des dispositifs de la gestion des fluides en fond d'ouvrage qui permet la limitation des sous-pressions : clapets, dispositifs de drainage...

## **3.2.5. Considérations liées aux agressions diverses**

### **Poinçonnement**

Le concepteur de l'ouvrage pourra s'appuyer sur le fascicule du CFG : « Recommandations pour la protection contre l'endommagement des géomembranes » (en cours de rédaction lors de la parution du présent document).

Les géomembranes peuvent être exposées à des sollicitations mécaniques de poinçonnement sévères conduisant à leur endommagement. Ces sollicitations, rencontrées aussi bien à la mise en œuvre qu'en phase d'exploitation, peuvent engendrer des dégâts allant du défaut de surface au percement de la géomembrane, nuisant ainsi à son intégrité et à sa pérennité.

Le DEG doit avant tout être conçu pour limiter l'endommagement par poinçonnement de la géomembrane.

L'endommagement mécanique des géomembranes par poinçonnement résulte de la mise en contact de cailloux, granulats ou tout autre objet ou élément de structure, pointu ou proéminent, avec le complexe géosynthétique du DEG. Cependant, les contraintes générées sur le complexe géosynthétique peuvent être également des contraintes de frottement, avec abrasion, et de poinçonnement localisé. Il peut en

résulter pour la géomembrane des endommagements de surface (marques, griffures), une déformation (rémanente ou non), voire un percement.

Dans la pratique, l'élément endommageant peut aussi bien se trouver sous le complexe géosynthétique qu'au-dessus. En effet, un complexe géosynthétique peut par exemple être posé en fond de bassin sur un sol présentant des éléments grossiers ou bien être recouvert par une couche granulaire.

L'état ultime de l'endommagement est le percement de la géomembrane. Cependant, toute autre forme d'endommagement peut nuire à la pérennité de la géomembrane. En effet, toute déformation ou rayure excessive entraîne une dégradation des caractéristiques physiques et mécaniques des géosynthétiques, risquant d'affecter les propriétés d'étanchéité à long terme. Le défaut peut évoluer en perforation par mise en traction, fluage, fissuration sous contrainte...

Le dimensionnement de la géomembrane et de ses protections, dans un contexte donné, dépend :

- des caractéristiques des géosynthétiques (géomembrane et géotextile(s)) : nature du polymère, type de fabrication, masse surfacique, épaisseur...
- de la qualité des matériaux en contact avec le complexe géosynthétique : granulométrie, angularité, portance...
- des conditions de mise en œuvre de la structure de recouvrement : modalités de mise en place du matériau, énergie de compactage, épaisseur de la couche compactée...
- des conditions d'exploitation et de la classe de conséquence de l'ouvrage,
- de la durée de service prévisible de l'ouvrage.

### **Flore et faune sous le D.E.G**

Flore :

Le support devra être exempt de tous végétaux ou débris de végétaux, afin d'éviter les sous-pressions gazeuses sous le DEG liées à la dégradation de la matière organique.

Par ailleurs, le risque de dégradation du DEG par la végétation (développement racinaire, rhizome,...) devra être pris en compte lors de la conception de l'ouvrage.

Faune :

La protection du DEG contre l'action de la faune (en fonction de l'ouvrage et de son environnement) doit être prise en compte dans la conception de l'ouvrage. Le concepteur doit prendre toutes les dispositions nécessaires (adaptées à l'ouvrage et à son environnement) à la protection du DEG contre l'action de la faune. La faune est en effet susceptible de dégrader le DEG (animaux fouisseurs,...).

Les conséquences de creusement de gros terriers dans le remblai sont potentiellement graves :

- risques d'apparition de percolation dans les galeries de terriers et risque de développement d'un renard hydraulique en cas de défaillance du DEG,
- affaiblissement/irrégularité en crête ou sur les talus.

### **3.2.6. Considérations géotechniques**

Une étude de mécanique des sols, portant sur l'ensemble de l'emprise de l'ouvrage, doit être réalisée au préalable par le concepteur de manière à s'assurer :

- de la portance du sol support,
- de la stabilité des pentes,
- des modifications (hydrauliques et mécaniques) liées à la construction de l'ouvrage et impactant l'environnement,
- des conséquences d'une vidange rapide éventuelle.

Certains types de sols support risquent d'évoluer avec le temps ou en cas de fuite consécutive à une dégradation du DEG (dissolution du gypse, gonflement-retrait des argiles, sols karstiques, remblais de carrières, décharges de déchets de démolition, zones minières, certains sols volcaniques ou morainiques, ...), ce point doit être pris en compte par le concepteur.

La conception des différents raccordements de la géomembrane aux ouvrages rigides tels que massifs de béton, canalisations, ... doit tenir compte des mouvements différentiels dus à ces sols dans la zone des raccordements.

### **3.2.7. Planche d'essai**

Afin de vérifier l'adéquation à la mise en œuvre et lors de l'exploitation de l'ouvrage, entre les éléments constitutifs du DEG et les matériaux granulaires en contact, une planche d'essai pourra être réalisée selon les indications du §5.2.4. – Planches d'essais et épreuves de convenance.

## ***3.3. Paramètres à prendre en compte dans le cadre de l'exploitation de l'ouvrage***

### **3.3.1. Considérations liées à la sécurité et à l'entretien**

#### **Sécurité des personnes**

Il faut prévoir des dispositifs de sécurité conformes à la législation en vigueur et aux règles de sécurité du site (escalier de talus rapportés, échelles imputrescibles et souples, bouée, clôture,...).

#### **Curage, entretien**

Les opérations de curage et d'entretien, ainsi que les moyens permettant de réaliser ces opérations (rampe d'accès,...) qui surviendront au cours de la vie normale de l'ouvrage doivent être appréhendées par le concepteur du DEG. Une structure de protection est parfois indispensable en fonction de la solution retenue.

Les éléments fragiles et/ou saillants (évents, regards de drainage, échelle de corde) doivent être signalés et/ou protégés.

#### **Surveillance et auscultation**

Quelle que soit sa forme juridique (personne physique ou morale privée, collectivité locale, etc...), le propriétaire est pleinement responsable tant au civil qu'au pénal, des dommages qui peuvent être occasionnés aux ouvrages dont il a la garde (art 1382 à 1384 du code civil – responsabilité du propriétaire du fait des choses que l'on a sous sa garde), et en particulier le cas échéant par sa rupture.

En cas de sinistre avec dommage au tiers, le défaut manifeste d'entretien et de surveillance de l'ouvrage serait de nature à aggraver les circonstances.

Au-delà des considérations de responsabilité, l'objectif de maintenir l'ouvrage en bon état de fonctionnement justifie à lui seul la surveillance et l'entretien régulier :

- la surveillance régulière permet de détecter à temps la plupart des désordres à un stade précoce, de suivre des phénomènes évolutifs, et de prendre à temps les mesures d'entretien et de réparation qui s'imposent pour maintenir les fonctions et la sécurité de l'ouvrage,
- l'entretien des ouvrages permet de freiner leur vieillissement et donc d'augmenter leur longévité.

### **3.3.2. Considérations liées à la durabilité**

Le concepteur doit prendre en compte les facteurs environnementaux impactant la pérennité du DEG.

Le vieillissement des géosynthétiques exposés est principalement dû au rayonnement ultra-violet, à la chaleur et à l'oxygène, mais aussi à d'autres facteurs climatiques tels que l'humidité, la pluie,...

Une caractérisation adéquate du sol est par ailleurs essentielle pour une bonne prise en compte de la durabilité des géosynthétiques non exposés : pH, présence d'oxygène, teneur en eau, matière organique, température et micro-organismes, teneur en carbonates du sol et de son eau capillaire (phénomène de calcification à éviter dans la couche drainante).

### **Rayonnement ultra-violet**

Selon leur composition, les géosynthétiques sont plus ou moins sensibles à l'action du rayonnement ultra-violet.

Leur comportement est amélioré par l'adjonction de stabilisants à leur formulation de base.

La mise en place d'une structure de protection supprime ce problème.

La cinétique de dégradation des géosynthétiques liée aux rayonnements ultra-violet dépend également de l'ensoleillement de la localisation géographique de l'ouvrage (altitude, orientation des talus).

### **Oxydation**

Le phénomène d'oxydation dégrade les caractéristiques mécaniques des géosynthétiques.

Ce phénomène est lié à la présence d'agents oxydants au contact du DEG (oxygène, ozone, effluents,...).

Selon leur composition, les géosynthétiques sont plus ou moins sensibles à l'oxydation.

### **Microorganismes**

L'expérience montre que de manière générale les géosynthétiques résistent à l'action des micro-organismes. Cependant certains d'entre eux doivent faire l'objet d'un traitement spécifique.

Dans les cas spécifiques de présence de micro-organismes, le concepteur pourra se rapprocher des producteurs pour vérifier la résistance des produits utilisés.

### **Compatibilité chimique**

Le concepteur doit choisir les géosynthétiques adéquats (ce qui peut parfois nécessiter des essais de compatibilité préliminaire en phase de conception) en fonction de leur bonne compatibilité chimique avec le produit stocké (liquide, solide, gaz).

Les conditions de service de l'ouvrage doivent être définies dès le départ (par exemple : produit stocké, dans le cas d'un bassin). Toute modification de ce produit doit être proscrite sans étude de compatibilité chimique préalable.

La résistance chimique d'un géosynthétique au contact d'un produit donné, dépend des facteurs suivants :

- Nature et concentration du produit stocké (compatibilité en fonction des concentrations moyennes annuelles, des pics de concentrations et des mélanges éventuels),
- Durée de contact,
- Température (compatibilité en fonction des températures moyennes annuelles et pics de températures),
- pH (compatibilité en fonction des pH moyens annuels et pics de pH).

## **3.3.3. Considérations liées aux agressions diverses**

### **Corps flottants**

La présence de corps flottants, y compris la glace, peut provoquer par contact ou frottement des déchirures localisées de la géomembrane. Le concepteur prévoit une structure de protection (système de végétalisation, béton projeté, enrobé, dalle béton, enrochement,...) ou tout moyen visant soit à réduire la présence de ces corps flottants (dégrilleur, cloisons syphoïdes, agitateur, système de bullage, ...) soit à empêcher leur contact avec la géomembrane.

### **Vandalisme**

Le risque de vandalisme est un paramètre qui peut conduire à envisager des dispositifs de protection particuliers (clôture, structure de protection totale ou partielle, vidéo surveillance...).

### **Végétation au-dessus de la géomembrane**

Il est possible de prévoir de la végétation non ligneuse (arbres et arbustes à prescrire) sur un DEG à condition de sélectionner des espèces dont le système racinaire puisse se satisfaire de l'épaisseur de terre rapportée et prévue au projet ; l'expérience montre qu'en règle générale les racines suivent la surface de la géomembrane lorsqu'elles l'atteignent ; la résistance à la pénétration des racines de la

géomembrane doit cependant être vérifiée au préalable.

### **Trafic**

Si l'ouvrage doit supporter un type de trafic déterminé, le DEG doit être dimensionné en conséquence par le concepteur sur un fond de forme adéquat.

Rappel : il est interdit de rouler directement sur les géosynthétiques sans une couche de protection adaptée et d'épaisseur suffisante.

### **Animaux**

Le passage d'animaux peut provoquer des dégradations très importantes sur une géomembrane non protégée. On aura alors recours à une structure de protection périphérique de l'ouvrage (clôture,...). La présence d'un dispositif adapté permet aux animaux de quitter un plan d'eau à la suite d'une chute accidentelle.

Une structure de protection de la géomembrane évite les dommages causés à la géomembrane par l'animal qui se débat.

### **Glace**

Le concepteur devra prendre en compte, pour les ouvrages concernés (principalement les retenues d'altitude), les effets suivants liés à la formation de glace :

- reptation de la glace,
- chute de glace.

Afin de pallier ces phénomènes, un dispositif de protection adapté (protection mécanique, insufflation d'air,...) devra être mis en place.

## **3.3.4. Considérations Hydrauliques**

### **Ecoulement d'un liquide (canal, zone d'alimentation d'un bassin, lagune aérée,...)**

L'écoulement d'un liquide provoque sur les parois de l'ouvrage des contraintes dues au frottement visqueux (effort tangentiel) et aux turbulences. Ces efforts augmentent avec la vitesse de l'écoulement, en particulier au droit des points singuliers ; changement de pente ou de section, courbure prononcée, ...

Une structure de protection formant un lestage ou toute autre fixation doit être systématiquement prévue :

- dans les zones de forte turbulence,
- aux points singuliers,
- dans les sections où la vitesse de l'écoulement est supérieure à 1,5 m/s (valeur indicative).

Dans tous les cas, on s'efforce d'adopter pour la structure support une surface aussi lisse et régulière que possible.

Du fait des frottements ou des chocs de matériaux transportés, l'écoulement d'un liquide chargé peut provoquer abrasion, poinçonnements localisés et déchirures de la géomembrane. Pour limiter ce risque, on peut donc prévoir :

- d'utiliser une géomembrane suffisamment résistante,
- de minimiser la charge transportée (zones de dessablage),
- de prévoir une structure de protection,
- de limiter la vitesse du courant.

### **Vagues et batillage**

Les vagues ou le batillage créés par le passage d'un bateau ou par le vent provoquent sur la berge un ensemble de sollicitations hydrodynamiques alternées. La structure support doit être correctement dimensionnée pour pouvoir résister à ces sollicitations. Suivant l'amplitude du phénomène, la géomembrane sera recouverte par une structure de protection ou fixée localement et le risque de surverse devra être pris en compte.

### **Débit de fuite admissible**

En fonction de l'ouvrage concerné et de l'environnement, l'expérience montre que, même si les produits utilisés sont contrôlés en production et après mise en œuvre selon les règles de l'art, un débit de fuite minimal doit être pris en compte lors de la conception de l'ouvrage.

Les risques potentiels liés aux fuites peuvent être :

- la pollution du sol sous-jacent,
- la déstabilisation de l'ouvrage.

En fonction du débit de fuite acceptable déterminé par le Maître d'Ouvrage et le concepteur et afin de contrôler ce phénomène, selon les cas il pourra être nécessaire de mettre en place :

- un système de détection de fuite,
- une double étanchéité avec drainage intermédiaire.

### **3.3.5. Considérations liées aux exigences particulières de l'ouvrage**

#### **Exigences sanitaires ou environnementales**

On doit veiller à ce que la formulation de la géomembrane respecte les éventuelles exigences sanitaires ou biologiques demandées au vu du liquide transporté ou stocké.

Il existe à ce jour des essais normalisés ou des agréments permettant de vérifier les exigences demandées (Attestation de Conformité Sanitaire, potabilité, alimentarité, etc...).

### ***3.4. Pièces techniques et réglementaires concernant les éléments du DEG***

Le concepteur, afin de réaliser un choix de DEG ou de valider une solution technique devra se procurer auprès des fabricants ou des distributeurs les documents suivants :

- notice technique,
- cahier des charges de pose du fabricant de géomembrane,
- marquage CE,
- certifications et/ou agréments techniques.

#### **3.4.1. Notice technique**

La notice technique doit donner pour chaque géosynthétique les informations relatives :

- aux caractéristiques dimensionnelles (épaisseur, masse surfacique, longueur, largeur),
- aux caractéristiques mécaniques (traction, poinçonnement statique et/ou dynamique suivant le géosynthétique considéré),
- aux caractéristiques hydrauliques (perméabilité aux liquides, ouverture de filtration, capacité de débit normal au plan, capacité de débit dans le plan) du géosynthétique considéré.

Pour chaque caractéristique les valeurs moyennes doivent être associées à des seuils de tolérances définis par le fabricant.

#### **3.4.2. Cahier des charges de pose du fabricant de géomembrane**

Ce document indique les conditions générales d'application des géomembranes et doit apporter à minima au concepteur les informations suivantes :

- le domaine d'application (limites d'emploi),
- les conditions d'exécution de l'étanchéité (soudure en partie courante et points singuliers, condition limite de mise en œuvre),
- les moyens de contrôle de l'étanchéité (contrôle destructif et non destructif).

### 3.4.3. Marquage CE

Le marquage "CE" (abréviation de Conformité Européenne) est un "passeport" obligatoire réglementaire pour les produits industriels qui peuvent circuler et être commercialisés librement sur le marché de l'Espace Economique Européen (états membres de l'Union Européenne ainsi que la Norvège, l'Islande, le Liechtenstein et la Suisse).

Le marquage CE n'est pas une marque ou un "label de qualité" (qui relève d'une démarche volontaire). Il n'a aucun rôle dans les prescriptions contractuelles d'un marché.

La réglementation des produits de construction renvoie à des normes européennes définissant les domaines d'applications et pour chacune d'entre elles, en fonction du géosynthétique considéré, les caractéristiques harmonisées requises. Ces normes sont reprises dans le tableau 3.

Domaine d'application Fonction	Géomembranes	Géotextile et produits apparentés			
	Etanchéité	Filtration	protection	Renforcement	drainage
Réservoirs et barrages	EN 13361	EN 13254			EN 13252
Construction des canaux	EN 13362	EN 13255			EN 13252
Tunnels et ouvrages souterrains	EN 13491	EN 13256			EN 13252
Sites d'évacuation de résidus liquides et enceintes de confinement secondaires	EN 13492	EN 13265			EN 13252
Stockage et enfouissement de déchets solides et de matières solides dangereuses	EN 13493	EN 13257			EN 13252
Infrastructures de transport	EN 15382	EN 13249 et EN 13250			EN 13252

**Tableau 3 — Normes européennes applicables aux géosynthétiques**

Dans le cadre du marquage CE, les producteurs doivent pouvoir transmettre au concepteur les documents suivants pour chaque appellation commerciale :

- certificat de contrôle de la production en usine indiquant que le système qualité du fabricant a été contrôlé par un organisme notifié dans un système dit 2+,
- la déclaration de performances (DoP) du produit indiquant les valeurs des caractéristiques harmonisées relatives aux domaines d'application et/ou aux fonctions visées.

En complément, l'attestation de conformité du fabricant peut être demandée.

Les géosynthétiques validés par le concepteur devront obligatoirement être marqués et étiquetés conformément aux normes indiquées ci-dessus.

### 3.4.4. Certification et agréments techniques

Des organismes proposent des certifications ou des agréments techniques pour les géomembranes et/ou les géotextiles et produits apparentés.

Il peut être demandé à ce que les produits soient certifiés ou aient un agrément technique.

Toutefois, les certifications ne couvrent pas l'ensemble des produits et de leurs applications. Il est donc important de vérifier l'adéquation entre les produits et le projet.

Le CFG participe à la mise en place de certifications avec l'ASQUAL. Dans ce cadre, ont aujourd'hui été développées :

- une certification pour les géomembranes,
- une certification pour les géotextiles et produits apparentés.

L'ensemble des renseignements sur ces certifications sont disponibles sur : [www.asqual.com](http://www.asqual.com)

Pour les géomembranes, la certification ASQUAL consiste à faire vérifier :

- lors d'un audit, le niveau des contrôles mis en œuvre par le producteur sur le lieu de production ainsi que sa maîtrise des processus de fabrication afin de garantir la reproductibilité des caractéristiques certifiées,
- par des laboratoires habilités et indépendants que les valeurs des caractéristiques hydrauliques, dimensionnelles, physico-chimiques (composition) et mécaniques annoncées par le producteur et celles réellement mesurées sur le produit fini prélevé par l'auditeur, se situent dans les plages relatives de variation (PRV) imposées par le référentiel technique.

L'ASQUAL assure le suivi périodique de ces caractéristiques.

Il est à noter que :

- la certification ASQUAL ne comprend pas d'exigence sur l'adéquation entre le produit et sa destination. Cette mission incombe aux concepteurs qui, après dimensionnement de leurs besoins, spécifient les produits adéquats aux chantiers, sur la base de leurs caractéristiques techniques,
- la certification ASQUAL n'évalue pas la durabilité des produits,
- tous les produits du marché ne peuvent pas être certifiés car, même s'ils répondent à des exigences techniques de certains projets, ils ne correspondent pas aux familles ou critères définis dans le périmètre d'application de la certification. Ils peuvent aussi correspondre à des innovations techniques qui ne sont pas encore prises en compte dans la certification.

# 4

## 4. Réalisation de l'ouvrage

Terrasser et étancher sont deux métiers différents ; pour l'obtention d'une qualité optimale, il serait souhaitable de séparer les marchés terrassement et étanchéité.

Préalablement et durant la réalisation des travaux de terrassement et d'étanchéité, l'ouvrage doit être tenu hors d'eau par tout moyen approprié (drainage temporaire, pompage, évacuation gravitaire,...).

### *4.1. Préparation du fond de forme*

La préparation du fond de forme est sous la responsabilité du terrassier.

#### **4.1.1. Compactage**

Les niveaux de compactage et de portance indiqués ci-dessous sont des éléments d'orientation ; ils doivent être précisés dans l'étude géotechnique préalable.

- niveau de compactage selon les règles de l'art :
  - un compactage superficiel est à prévoir en fin de terrassement. La masse volumique apparente doit être supérieure ou égale à celle qui correspond à 95% de l'Optimum Proctor Normal ( $p_d \geq 0,95 p_{dOPN}$ ) dans le cas des sols de classe A, B et C, l'objectif de densification est de q4 sur les 30 premiers centimètres,
  - un soin particulier sera apporté au compactage des talus. Les caractéristiques, de compacité peuvent être mesurées au moyen d'un dispositif de type pénétrodensitographe ou d'un gammadensimètre (si la pente est inférieure à 2H/1V),
- niveau de portance suffisant pour éviter la création d'ornières à la mise en œuvre du DEG et en service. Les conditions à remplir sont les suivantes :
  - Niveau de portance : module de 30 MPa,
  - Contrôles : essais à la dynaplaque ( $E_{dyn} \geq 30$  MPa),
- zones sensibles :
  - certaines zones sont très sensibles pour le comportement du DEG car la préparation du support est difficile ; ceci est le cas, par exemple, lors de la remise en place des terrains autour des ouvrages en béton (débouchés de canalisation dans les talus, ouvrage de sortie des eaux). Des engins de compactage adaptés seront utilisés.

Dans le cas où ce niveau de portance ne peut être atteint, il est de la responsabilité du Maître d'Ouvrage de justifier de la stabilité du fond de forme sous les contraintes effectives imposées par l'ouvrage.

### **4.1.2. Enlèvement de la végétation**

En complément aux indications du §2.3. – Structure support, le fond de forme doit être dégagé de toute végétation et terre végétale et purgé d'éventuels dépôts superficiels de matière organique.

On évite ainsi le contact direct des souches, racines,... avec le DEG et le pourrissement des matières organiques qui entraînerait des tassements différentiels et le dégagement de gaz.

Dans le cas où les dépôts de matières organiques (tourbe par exemple) sont trop épais pour pouvoir être purgés, ou bien sur l'emplacement d'anciens bassins de stockage d'effluents organiques, on adopte les dispositions suivantes:

- estimer les tassements totaux et différentiels afin d'adapter les dispositifs constructifs en conséquence et/ou procéder à une préconsolidation des sols sous-jacents,
- prévoir un pentage du fond de forme et de la structure support suffisant (3 à 6 % suivant les tassements prévisibles),
- adopter un drainage des gaz dimensionné en conséquence.

Dans le cas de traitements herbicides de surface, on vérifiera à la mise en œuvre que le sol après traitement reste chimiquement compatible avec les géosynthétiques.

### **4.1.3. Aménagement en crête de talus**

La crête de talus doit être de largeur supérieure ou égale à 6m (cf. §3.2.2. – Considérations géométriques), afin de recevoir la tranchée d'ancrage et permettre la circulation de chantier. Cet aménagement doit présenter une pente suffisante pour assurer l'écoulement des eaux de pluie vers l'extérieur de l'ouvrage.

### **4.1.4. Pente du fond de forme**

Le terrassier s'assurera d'éviter les contre-pentes. Ces dernières sont proscrites, afin de permettre :

- une vidange et un nettoyage efficace du bassin,
- le drainage efficace des eaux et gaz sous la géomembrane.

## ***4.2. Prescriptions concernant la structure support***

### **4.2.1. Couche de forme**

Sa mise en œuvre doit obéir aux mêmes prescriptions que celles du fond de forme, le terrassier en est responsable.

#### **4.2.1.1. Préparation de la couche de forme**

Sa mise en œuvre doit obéir aux mêmes prescriptions que celles du fond de forme.

#### **4.2.1.2. Préparation de la couche support**

La couche support peut-être composée de :

- matériaux granulaires (géomatériaux) dont la mise en œuvre est de la responsabilité du terrassier. Cette couche associée au système de drainage des eaux fait l'objet d'une réception des travaux de terrassements,
- béton dont la mise en œuvre est de la responsabilité de l'entreprise de gros œuvre,
- géotextiles et/ou de leurs produits apparentés dont la mise en œuvre est de la responsabilité de l'entreprise d'étanchéité. Ce cas est observé lorsque la réception des

travaux de terrassement du fond de forme et de la couche de forme est prononcée. Les géosynthétiques utilisés devront être assemblés et lestés en attendant la mise en place de la géomembrane qui devra survenir dans les délais les plus brefs.

Si la couche support est réalisée avec un matériau d'apport (sable, gravier, grave, matériau lié, ...), il est nécessaire de :

- contrôler l'état de surface et retirer tout élément agressif,
- vérifier sa granulométrie lors de sa mise en œuvre,
- veiller à ne pas créer de ségrégation à la mise en œuvre,
- compacter selon les recommandations définies ci-dessus.

Les matériaux pulvérulents, sensibles au ravinement, à la circulation de chantier et au battillage, peuvent être stabilisés : traitement par différents liants, matériaux d'apport moins sensibles, ... Les caractéristiques chimiques (pH) des matériaux après stabilisation aux liants doivent être compatibles avec les géosynthétiques constitutifs du DEG.

Une fois le support préparé, les engins de chantier ne doivent plus circuler dessus. Dans le cas où ils y sont contraints, ces derniers ne doivent pas entraîner de déformation ou de modification de la texture superficielle (ornière, dégagement de caillou isolé, ...).

Dans le cas où la couche support est un support béton :

- il conviendra de veiller à l'absence d'aspérité,
- les formes arrondies seront privilégiées aux formes angulaires.

Dans le cas où la couche support est constituée par un géotextile de protection, il conviendra de veiller :

- à ne pas arracher des matériaux de la couche de forme,
- à éviter tout pli des nappes de géotextiles,
- au recouvrement et à la liaison des nappes de géotextiles,
- au lestage des nappes de géotextiles,
- au raccordement des ouvrages.

La réception du support doit être réalisée après réalisations des contrôles prévus au paragraphe 5.2.5. – Contrôles associés à la mise en œuvre et réception de la structure support.

#### **4.2.2. Drainage de l'eau**

On utilise pour cela soit une couche de matériaux perméables soit des géosynthétiques de drainage adaptés.

Lors de la mise en œuvre, qui sera réalisée par le terrassier ou l'entreprise d'étanchéité suivant sa nature, on s'assurera de la prise en compte des points suivants :

- le système de drainage devra épouser le support en tout point,
- le filtre du système de drainage devra être au contact avec le support et/ou la structure de protection,
- le système de drainage devra être mis en place sous le géotextile de protection de la géomembrane,
- la continuité des raccordements entre les divers éléments (géosynthétiques, collecteurs,...) devra être assurée,
- en cas d'utilisation d'un géocomposite de drainage, le système de drainage devra être recouvert à l'avancement par le géotextile de protection et la géomembrane,
- la mise en place du réseau de collecte devra se faire avec des pentes suffisantes pour éviter la stagnation d'éventuelles particules et permettre l'évacuation de manière gravitaire,
- le réseau de collecte débouchera en point bas vers des regards visitables et permettant d'assurer leur entretien.

Le système de drainage mis en œuvre ne devra pas aggraver mécaniquement la géomembrane.

Les regards positionnés au bout du réseau de collecte ont aussi un rôle de contrôle sur le bon fonctionnement du drainage mais aussi de l'étanchéité.

### **4.2.3. Drainage des gaz**

On utilise pour cela des matériaux géosynthétiques drainants adaptés.

Lors de la mise en œuvre qui doit être assurée par l'entreprise d'étanchéité, il sera pris en compte les points suivants :

- le système de drainage devra épouser le support en tout point,
- le filtre du système de drainage devra être au contact avec le support,
- le système de drainage devra être mis en place sous le géotextile de protection de la géomembrane,
- la continuité des raccordements entre les divers éléments (géosynthétiques, événements,...),
- l'étanchéité du raccordement entre les événements et la géomembrane,
- le système de drainage doit être recouvert à l'avancement par le géotextile de protection et la géomembrane,
- la mise en œuvre des systèmes de protection et/ou de signalisation des parties saillantes et/ou fragiles (événements).

Le système de drainage mis en œuvre ne devra pas aggraver mécaniquement la géomembrane. Les sorties de dégazage ne devront pas subir de contraintes occasionnelles (chocs...).

## ***4.3. Exécution de l'étanchéité***

### **4.3.1. Dispositions générales**

L'exécution de l'étanchéité doit être réalisée par des entreprises spécialisées et assurées pour ce type d'ouvrage.

### **4.3.2. Transport et stockage**

Lors des opérations de transport, de chargement et de déchargement, il convient de prendre toutes les dispositions destinées à limiter l'endommagement éventuel de chaque rouleau.

Toutes précautions doivent être prises pour ne pas endommager les géosynthétiques constitutifs du DEG lors du stockage sur chantier, à savoir :

- disposer d'une aire plane, propre, sèche, de portance suffisante et maintenue hors d'eau pour permettre la circulation des engins, débarrassée de tous matériaux et outils,
- ne pas superposer les rouleaux de géosynthétiques en porte à faux ou en couches croisées,
- pour des raisons liées à la sécurité, il est interdit de superposer les rouleaux de géosynthétiques sur plus de trois niveaux,
- protéger les géosynthétiques et plus particulièrement les géotextiles et produits apparentés contre l'ensoleillement et les intempéries lors d'un stockage prolongé (15 jours).

### 4.3.3. Conditionnement et étiquetage

Les géosynthétiques sont conditionnés sous forme de rouleaux ou de nappes préfabriqués. Un emballage ou une ou deux spires peuvent servir de protection. Une inspection visuelle de l'état de surface s'impose dans tous les cas avant utilisation du matériau. D'éventuels emballages ou spires sont à évacuer conformément à la législation en vigueur.

L'étiquetage sur chaque rouleau doit comprendre obligatoirement les informations suivantes :

- Les informations relatives au marquage CE dans le cadre de la réglementation en vigueur (logo CE, numéro de certificat de contrôle de la production en usine, les normes d'applications, et les fonctions pour lesquelles chaque produit est marqué CE),
- l'appellation commerciale du produit,
- les informations relatives à la traçabilité (numéro de rouleau, lot de fabrication, date et heure de fabrication, etc...),
- les caractéristiques dimensionnelles (largeur, longueur, épaisseur, poids...),
- les certificats éventuels.

Les géosynthétiques doivent voir leur référence commerciale marquée dans la masse tous les 5 mètres linéaire au minimum.

Dans le cas particulier des géosynthétiques pré-assemblés, chaque nappe devra avoir un étiquetage indiquant :

- un plan de calepinage,
- le nom commercial, la nature chimique et le numéros de traçabilité des rouleaux mères,
- date, lieu et nom de l'entreprise ayant réalisé la préfabrication.

### 4.3.4. Mise en place des lés

#### 4.3.4.1. Manutentions

Selon leur poids, les géomembranes sont manutentionnées à l'aide d'engins mécanisés équipés éventuellement d'un système de levage/déroulage (portique, dérouleur,...).

Le *Vade-mecum A.F.A.G.* reprend les principales recommandations à ce sujet.

Les sangles de levage doivent être utilisées en position « U » et non en « étranglement ». La mauvaise répartition des sangles sur la largeur des rouleaux de géosynthétiques et/ou le ballant provoqué par une piste de roulage inadaptée peut provoquer la rupture des sangles.

Les sangles livrées avec les géosynthétiques sont généralement à usage unique.

Ces opérations de manutention doivent être limitées à leur strict minimum pour éviter, en particulier, la détérioration de l'état de surface de la structure support.

Elles doivent permettre d'optimiser le positionnement des rouleaux ou ballots en vue de l'opération de déroulage ou de dépliage.

#### 4.3.4.2. Déroulage /dépliage

Le déroulage ou le dépliage doivent permettre la bonne exécution des opérations ultérieures d'assemblage et d'ancrage.

On doit veiller en particulier aux points suivants :

- respecter les largeurs minimales de recouvrement et d'ancrage (cf. §4.3.5. Réalisation des assemblages et §4.3.6. Ancrages),
- sur talus, le déroulage et/ou le dépliage des géomembranes se fera de manière à ne pas dégrader le support ou les géosynthétiques sous-jacents,
- sur talus, positionner la ligne d'assemblage suivant la ligne de plus grande pente et proscrire les assemblages horizontaux in situ (ces derniers ne sont tolérés qu'en

préfabrication). Un plan de calepinage est établi par l'entreprise d'application et validé par le Maître d'Œuvre dans le cadre d'un PAQ,

- pratiquer des assemblages "en tuile" si la géomembrane doit subir l'action d'un courant,
- dérouler ou déplier la géomembrane dans le sens du vent pour éviter son soulèvement,
- interdire à tout véhicule de circuler directement sur les éléments du DEG.

Un lestage temporaire ou un ancrage intermédiaire permettent d'éviter l'envol éventuel de la surface posée.

Le déroulage ou le dépliage doivent être suivis de l'assemblage qui nécessite toujours des surfaces propres et sèches.

### **Vent**

L'application par vents violents (vitesse maximale admissible : 35 km/h) est à proscrire pour des raisons liées à la sécurité du personnel et pour des conditions de réalisation de l'ouvrage (les vents forts génèrent des plis et rendent difficile l'application des éléments constitutifs du DEG). Lors de la réalisation de l'ouvrage ou en période d'arrêt, il est recommandé, afin de limiter les risques liés aux vents, d'opter pour une ou plusieurs des mesures suivantes, en fonction de l'état d'avancement des travaux :

- réalisation d'ancrages,
- lestage partiel (sacs de sable, cordons de matériaux non-agressifs, eau,...) en tenant compte éventuellement du poids de la géomembrane,
- protection générale (lestage total).

La mise en place de ces dispositions est de la responsabilité de l'entreprise d'application.

## **4.3.5. Réalisation des assemblages entre lés de géomembranes**

### **4.3.5.1. Dispositions générales**

La qualité d'une géomembrane est en partie fonction de la qualité des assemblages qui pourront être réalisés entre ses différents lés. Les géomembranes doivent pouvoir être assemblées de telle sorte que le joint soit étanche, résistant, fiable et durable. Toutefois, il est important de noter que les caractéristiques mécaniques des joints sont étroitement liées aux caractéristiques mécaniques de la géomembrane elle-même. Il n'y a donc pas lieu de déterminer le choix d'une géomembrane en comparant les valeurs mécaniques des joints entre les différents types de géomembrane.

### **Equipement d'assemblage**

Les moyens nécessaires pour les assemblages sont présentés dans le tableau 4.

		<i>PVC-P</i>	<i>PP-F</i>	<i>PEHD</i>	<i>BITUME</i>	<i>EPDM</i>
<b>APPAREILS DE SOUDAGE</b>	Machine automatique à Double soudure	1 par soudeur + 1 en réserve par chantier	1 par soudeur + 1 en réserve par chantier	1 par soudeur + 1 en réserve par chantier	Sans objet	Sans objet
	Soudeuse manuelle air chaud	1 par équipe	1 par équipe	Sans objet	Sans objet	Sans objet
	Extrudeuse manuelle	Sans objet	1 par chantier + 1 en réserve par chantier	1 par chantier + 1 en réserve par chantier	Sans objet	Sans objet
	Chalumeau à gaz avec accessoires	Sans objet	Sans objet	Sans objet	1 par soudeur + 1 en réserve par chantier	Sans objet
<b>MATERIAUX D'ASSEMBLAGE</b>		/	Fil ou granule pour extrusion	Fil ou granule pour extrusion	/	Primaire et « tape »

**Tableau 4 — Moyens nécessaires aux assemblages**

#### Recouvrement

Les largeurs des recouvrements dépendent des matériaux et du matériel de soudage (pour soudure automatique) utilisés. Les largeurs de recouvrement et les largeurs des assemblages sont précisées dans le tableau 5 en fonction des matériaux et du mode d'assemblage. Des exemples d'assemblages sont présentés sur les photos 5, 6, 7 et 8.

Mode d'assemblage		PVC-P	PP-F	PEHD	Bitume	EPDM
Double soudure automatique	Recouvrement	≥ 10 cm	≥ 15 cm	≥ 15 cm		
	Largeur de soudure	2 fois 12 mm minimum (+ canal central)	2 fois 12 mm minimum (+ canal central)	2 fois 12 mm minimum (+ canal central)		
Soudure manuelle	Recouvrement	≥ 10 cm	≥ 15 cm			
	Largeur de soudure	25 à 50 mm	25 à 50 mm			
Extrusion	Recouvrement		≥ 3 cm	≥ 3 cm		
	Largeur de soudure		Largeur du cordon d'apport	Largeur du cordon d'apport		
Chalumeau	Recouvrement				≥ 20 cm	
	Largeur de soudure				Totalité du recouvrement	
« Tape »	Recouvrement					≥ 10 cm
	Largeur d'assemblage					54 à 71 mm

**Tableau 5 — Largeurs de recouvrement et largeurs des assemblages**



**Photo 5 – Réalisation d'assemblages en PVC-P – Double soudure, soudure manuelle**



**Photo 6 – Réalisation d’assemblages en PEHD – Double soudure, extrusion**



**Photo 7 – Réalisation de soudures sur géomembranes bitumineuses**



**Photo 8 – Réalisation d’assemblages en EPDM**

Il est nécessaire de laisser des bords libres pour la réalisation des éventuels essais destructifs.

Pour les géomembranes assemblées par double soudure, on s’assurera de l’intégrité du canal central de contrôle.

Lors de la réalisation des assemblages, au maximum 3 lés différents seront superposés en un point donné (point triple). Les points quadruples sont interdits.

Les points triples seront traités afin de fermer toute capillarité éventuelle (mise en place de rustine, extrusion complémentaire, soudure manuelle...).

Les coins des rustines seront arrondis avant installation.

### Préfabrication

La préfabrication permet d'assurer un assemblage des lés en s'affranchissant des conditions climatiques extérieures.

Toutes les familles chimiques de géomembranes peuvent être préfabriquées, sauf les PEHD et les bitumineuses.

### Règles communes

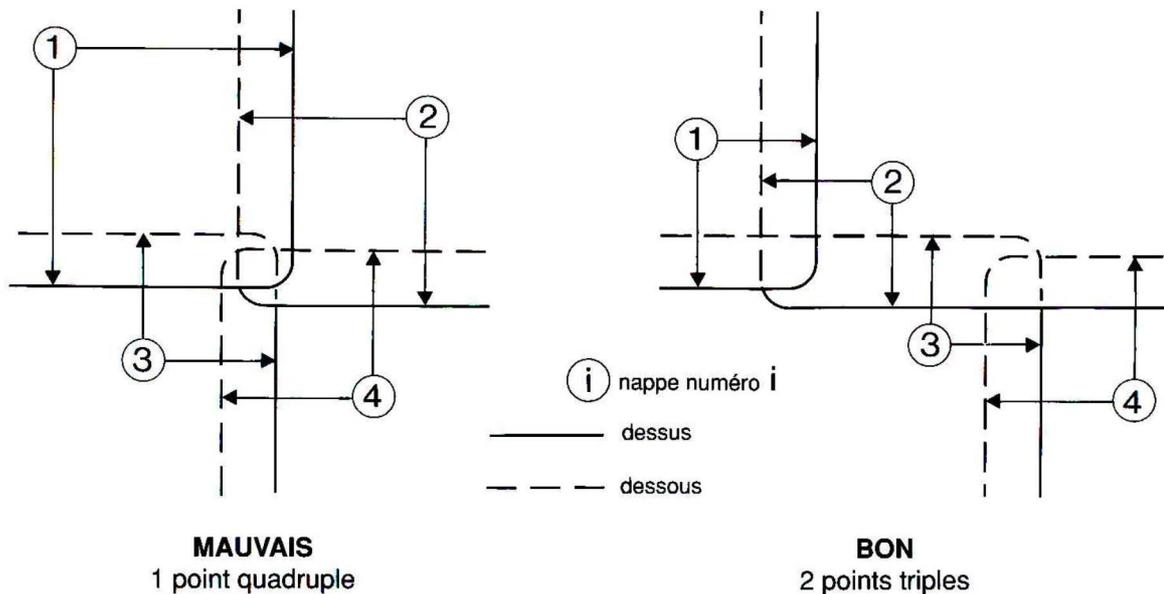
L'opération d'assemblage proprement dite nécessite un recouvrement préalable entre lés. La largeur minimale de recouvrement est fonction de la nature de la géomembrane et de la technique d'assemblage utilisée, elle est supérieure à la largeur effective d'assemblage.

Les assemblages constituent des points délicats. Ils doivent être effectués avec le maximum de soin. Il est interdit de les réaliser :

- sous la pluie ou sous l'eau,
- sous la neige,
- dans la boue,
- par vent violent,
- par températures extrêmes.

Il faut de plus ne pas endommager les géosynthétiques sous-jacents.

Les assemblages multiples nécessitent a fortiori une attention particulière. On n'accepte que la superposition de trois éléments au maximum en un point donné (cf. figure 9). On peut conforter un assemblage par une pièce de renfort/sécurité confortant la soudure au niveau des points triples.



**Figure 9 – Recouvrements et assemblages multiples**

#### **4.3.5.2. Géomembranes bitumineuses**

Les recouvrements entre deux lés de géomembrane bitumineuse ont au minimum 20 cm de largeur et les joints sont effectués par soudure au chalumeau alimenté au gaz propane.

L'assemblage se fait à l'avancement ou après le positionnement complet des lés. Il est immédiatement suivi d'un marouflage. Un matériel spécifique permet la réalisation simultanée de ces deux opérations. Un chanfreinage à chaud de la lèvre du joint peut compléter cette opération.

#### **4.3.5.3. Géomembranes PVC-P**

Les recouvrements entre deux lés de géomembranes PVC-P ont au minimum 10 cm de largeur et les joints sont effectués par soudure thermique (coin chauffant ou air chaud) avec canal central de contrôle.

Les appareils de soudage automatique réalisent des soudures et marouflage simultanément. Les opérations de soudage manuel sont accompagnées d'un marouflage.

#### **4.3.5.4. Géomembranes PEHD**

Les recouvrements entre deux lés de géomembrane PEHD ont au minimum 15 cm de largeur et les joints sont effectués par soudure thermique (coin chauffant ou air chaud) avec canal central de contrôle.

Les appareils de soudage automatique réalisent des soudures et marouflage simultanément. L'extrusion est réalisée après préparation de surface par apport de matière de même qualité que la géomembrane. Ce mode d'assemblage est réservé aux points singuliers.

#### **4.3.5.5. Géomembranes PP-F**

Les recouvrements entre deux lés de géomembrane PP-F ont au minimum 15 cm de largeur et les joints sont effectués par soudure thermique (coin chauffant ou air chaud) avec canal central de contrôle.

Les appareils de soudage automatique réalisent des soudures et marouflage simultanément. Les opérations de soudage manuel sont accompagnées d'un marouflage. L'extrusion est réalisée après préparation de surface par apport de matière de même qualité que la géomembrane. Ce mode d'assemblage est réservé aux points singuliers.

#### **4.3.5.6. Géomembranes EPDM**

Les recouvrements entre deux lés de géomembrane EPDM ont au minimum 10 cm de largeur et les joints sont effectués par vulcanisation à froid via des bandes auto-adhésives et un primaire de contact.

Ces opérations sont immédiatement suivies d'un marouflage.

### **4.3.6. Ancrages**

#### **4.3.6.1. Maintien en tête**

Cet ancrage a un double rôle :

- empêcher le glissement de la géomembrane sur le talus,
- participer à la résistance de la géomembrane non lestée aux efforts de soulèvement entraînés par la dépression due au vent ou d'un courant.

L'expérience montre que la géomembrane doit être maintenue en tête de talus avant la mise en œuvre du matériau d'ancrage. Dans la majorité des cas, on réalise immédiatement un lestage partiel dans la tranchée d'ancrage, des fixations ponctuelles en fond de tranchée (épingles en fer à béton) peuvent aussi être utilisées.

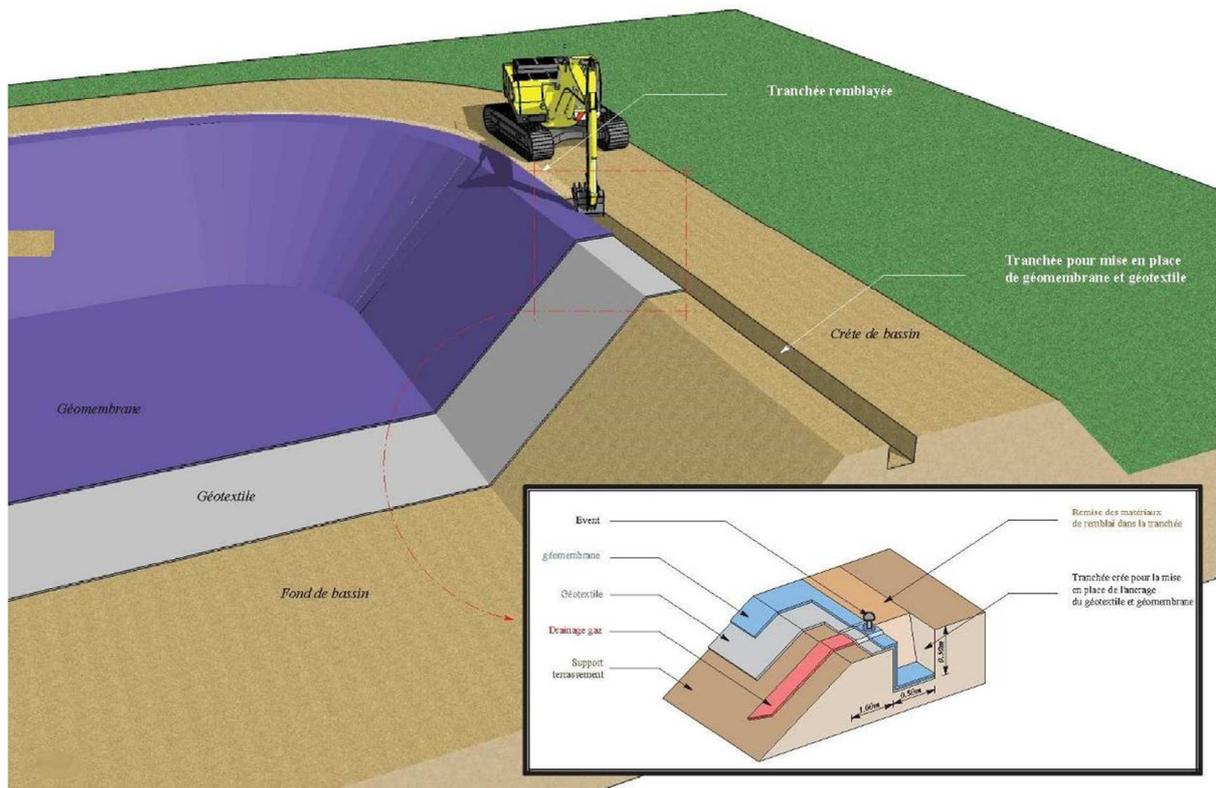
Le maintien en tête peut être réalisé :

- par tranchée d'ancrage,
- par lestage,
- par fixation mécanique sur support rigide.

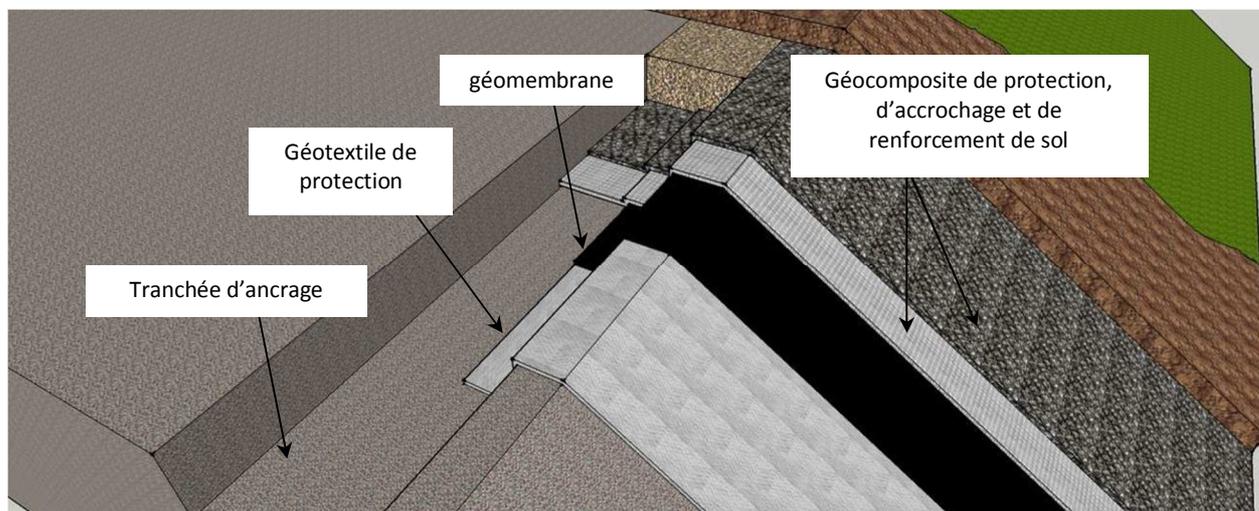
Dans tous les cas, la tranchée d'ancrage est dimensionnée par le concepteur (cf. §3.2.2. Considérations géométriques). Elle aura comme dimension minimale conseillée 0,50 m de profondeur par 0,50 m de largeur. Elle est située, par rapport à la crête de talus à :

- un minimum 0,50 m pour les projets ayant une géomembrane exposée,
- un minimum de 1 m pour les projets ayant une géomembrane protégée.

En pratique, l'ancrage en tête se réalise par enfouissement dans une tranchée selon le schéma de principe des figures 10 et 11.



**Figure 10 – Schéma de principe de réalisation d'une tranchée d'ancrage pour une géomembrane exposée**



**Figure 11 – Schéma de principe de réalisation d'une tranchée d'ancrage pour une géomembrane protégée**

En fond de la tranchée d'ancrage, la géomembrane sera laissée horizontale (sans remonter sur la paroi extérieure).

La crête de talus sera mise en œuvre avec une pente de manière à évacuer les eaux vers un dispositif de collecte les écartant de l'ouvrage (cunette périphérique par exemple).

D'autres solutions par lestage sont également pratiquées, selon les schémas des figures 12 et 13. Ils seront réalisés avec des matériaux non érosifs.

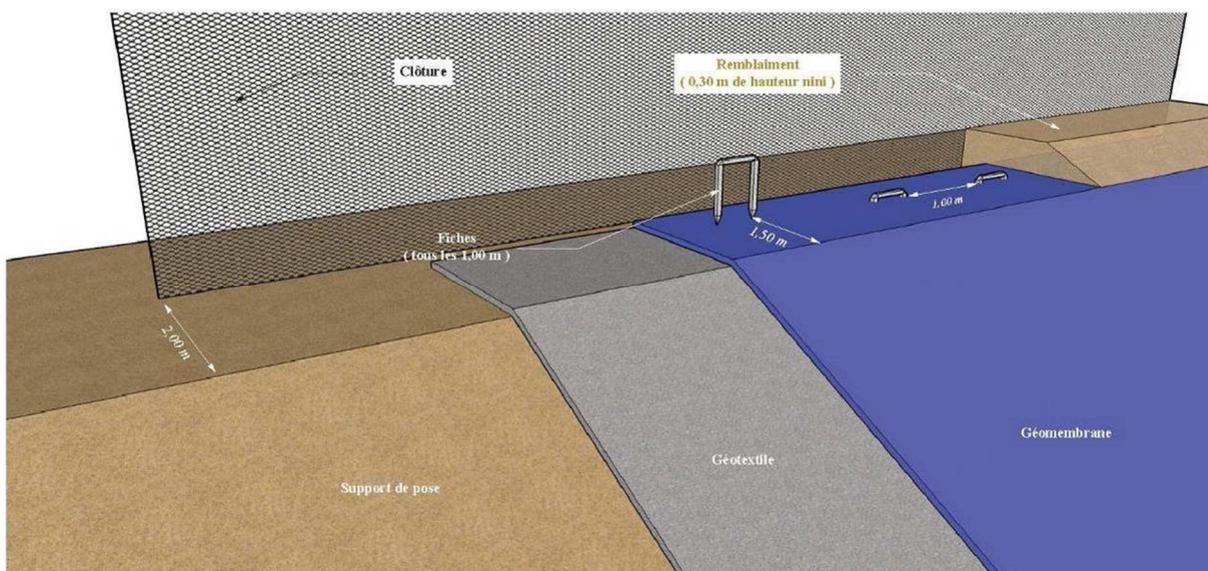


Figure 12 – Exemple d'ancrage avec section pesante en remblai

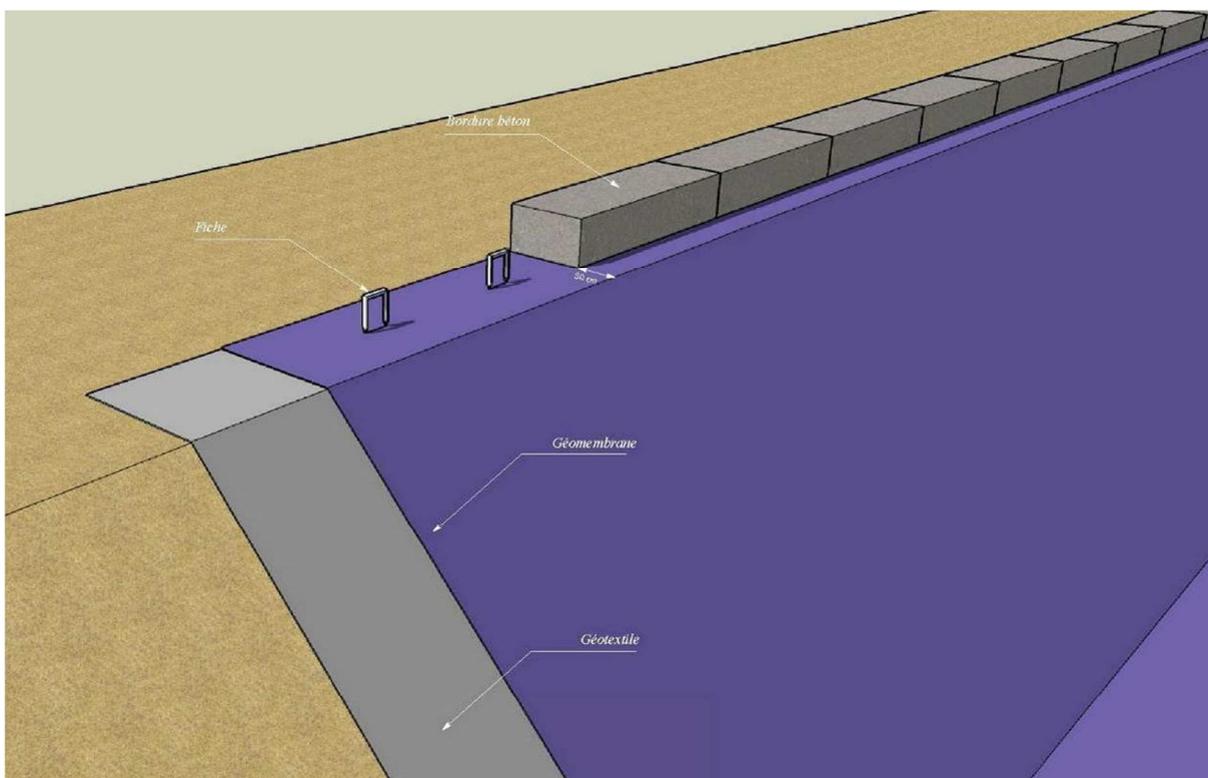


Figure 13 – Exemple d'ancrage avec bordures béton

Le calcul des sections pesantes ( $S_p$ ) et des dimensions d'ancrage doit tenir compte des conditions de frottement relatif (sol/géotextile, sol/géomembrane, géotextile/géomembrane) et des matériaux pesants concernés (nature, granulométrie, poids volumique...).

Dans le cas de fixation en tête (au-dessus du niveau d'eau) sur support rigide (longrine béton, bassin béton,...), les trois solutions suivantes sont proposées :

- fixation par serrage mécanique d'un profilé. Les dimensions du profilé de fixation devront être définies afin d'avoir une pression constante sur la géomembrane,
- soudage sur une tôle colaminée préalablement fixée mécaniquement sur le support,
- soudage sur un profilé synthétique, de même nature que la géomembrane, préalablement ancré dans le béton.

Dans le cas de digue en matériau peu stable, le maintien en tête pourra être déporté sur le pied extérieur de la digue.

Il est rappelé que pour les ouvrages dont la géomembrane est protégée, les dispositifs de maintien en tête devront être justifiés selon la norme XP G38-067 (en révision prNF G38-067).

#### 4.3.6.2. Maintien en pied

L'ancrage en pied est prévu dans le cas de l'étanchéité d'un talus ou de digues (cf. figure 14), afin de garantir la continuité de l'étanchéité entre la géomembrane et l'horizon étanche à rejoindre (couche d'argile en fond d'ouvrage par exemple).

Le maintien en pied peut aussi participer à la stabilité de la géomembrane sous l'action du vent.

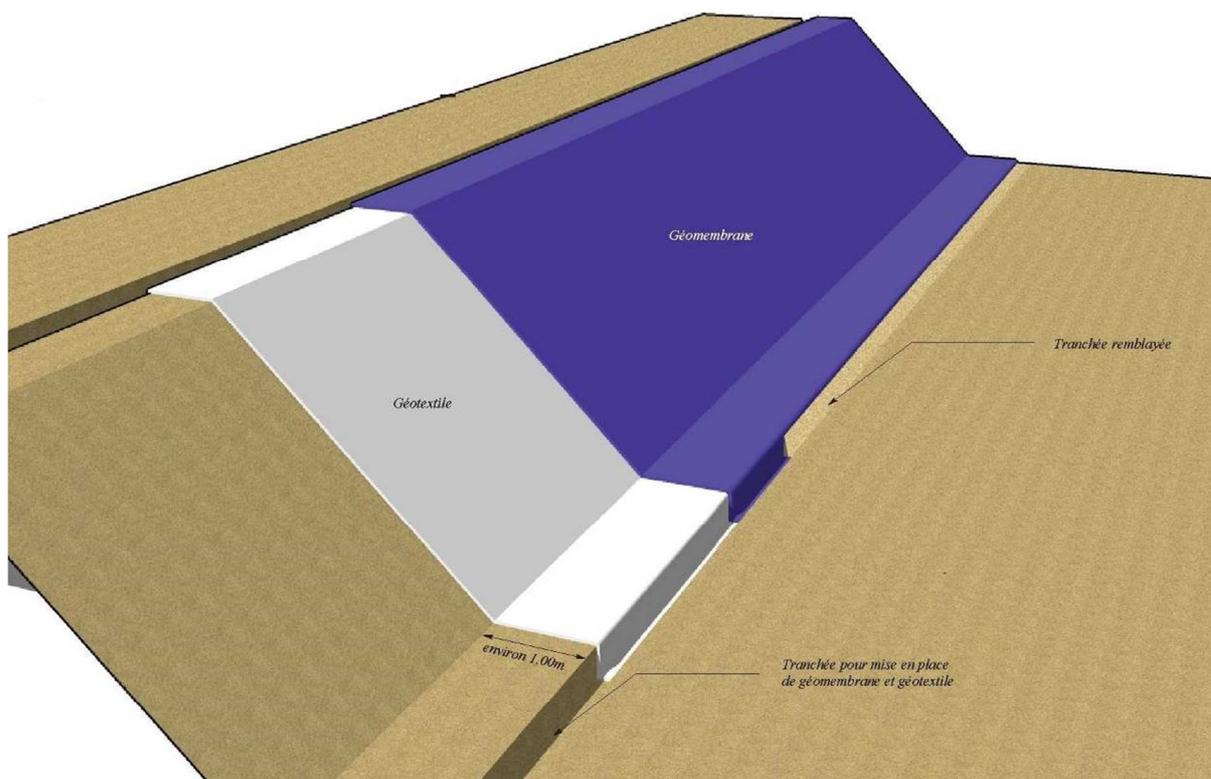


Figure 14 – Exemple de maintien en pied dans le cas d'une digue

### 4.3.6.3. Maintien(s) intermédiaire(s)

Les maintiens intermédiaires sont réalisés sur toutes les risbermes par lestage.

Ces maintiens sont utilisés dans les cas suivants :

- réalisation de rampants de grande longueur,
- phasage d'exploitation/réalisation,
- lutter contre les contre pressions dues à l'action du vent,
- etc..

Le dimensionnement de ces ancrages est réalisé avec les mêmes principes que ceux des ancrages en tête en considérant la partie de la géomembrane se trouvant sous l'ancrage.

Le système de maintien par tranchée d'ancrage est déconseillé sur risbermes car il interrompt la continuité des dispositifs de drainage. De plus, une tranchée est délicate à réaliser et peut se révéler incompatible avec les règles de sécurité.

### 4.3.7. Raccordements aux ouvrages annexes

NOTA : L'efficacité des solutions de raccordement proposées dans les paragraphes ci-dessous sera à prendre en compte dans son choix en fonction de la nature des effluents et du degré de performance requis.

Ces ouvrages (arrivées ou évacuations des eaux, regards, galeries et rives de barrages, ...) sont le plus souvent en béton, parfois en maçonnerie, en métal, ou plastique...

Les ouvrages béton seront aménagés de manière à permettre un raccordement aisé et fiable avec la géomembrane et doivent être dimensionnés de manière adéquate. On attachera une attention particulière à leur géométrie et à la formulation du béton, la planéité, la texture, la résistance mécanique et chimique...

La forme de l'ouvrage doit suivre le plus possible le profil du support afin de permettre le raccordement à plat de la géomembrane sans nécessiter de façonnage en 3 dimensions. Le béton coulé en place permet de respecter cette contrainte, alors que les éléments industrialisés (tête d'aqueducs...) présentent le plus souvent une géométrie complexe non compatible avec une fixation directe de la géomembrane.

Dans les zones de remblai, et en particulier autour des points singuliers, le compactage devra être soigné afin d'éviter les tassements différentiels qui pourraient mettre en tension la géomembrane. Sans justification contraire du concepteur, une pièce de transition sera mise en place systématiquement (talonnette en angle, équerre de renfort,...).

Pour les parties verticales exposées, on prévoira des fixations intermédiaires avec un espacement maximal de 3 m.

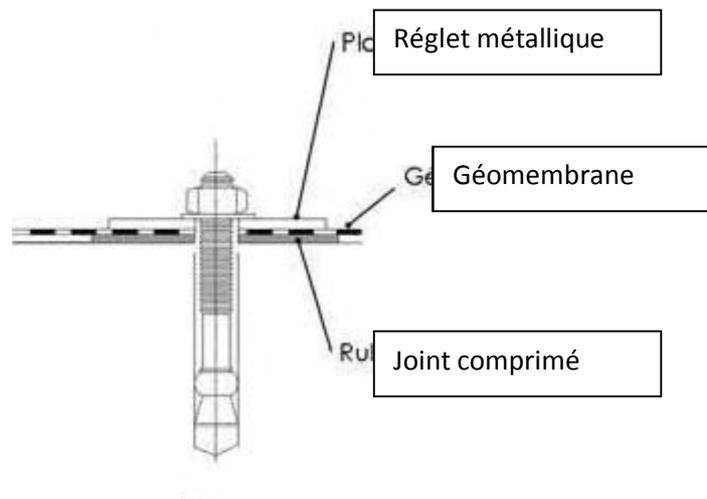
Dans certaines situations, la géomembrane peut être encollée en plein au support.

#### **Principe général de raccordement sur ouvrage hors canalisation**

- pour les géomembranes bitumineuses, l'étanchéité au droit du raccordement est assurée par soudure de la géomembrane sur le support préalablement enduit par un Enduit d'Imprégnation à Froid (EIF). La fixation mécanique au support est obtenue par serrage d'un réglelet métallique inoxydable ou d'un profilé inaltérable (métal ou plastique) chevillé ; cette fixation n'a pour but que de s'opposer à l'arrachement, l'étanchéité étant assurée par la soudure (20 cm de largeur minimale),

- les géomembranes synthétiques sont préférentiellement raccordées aux ouvrages par :
  - pour les parties immergées ou émergées, par fixation mécanique d'un réglet métallique inoxydable ou d'un profilé inaltérable (métal ou plastique). L'étanchéité à cet endroit est assurée par un joint comprimé compatible chimiquement avec l'effluent stocké (cf. figure 15). Les chevilles de fixation des réglets sont en acier inoxydable (par exemple, on prendra un diamètre de 8 mm minimum pour un réglet de 4 cm x 0,4 cm). Elles sont espacées de 15 cm au maximum, espacement variable en fonction de la nature du réglet et qui assurera la bonne compression continue du joint comprimé,
  - uniquement pour les parties non immergées, par des tôles colaminées (cas des géomembranes PVC-P uniquement),
  - des profilés de même nature chimique que la géomembrane et enchâssés dans le béton lors du coulage de ce dernier. La géomembrane est alors soudée sur le profilé.

Un couvre-joint en géomembrane vient éventuellement compléter ces dispositifs.

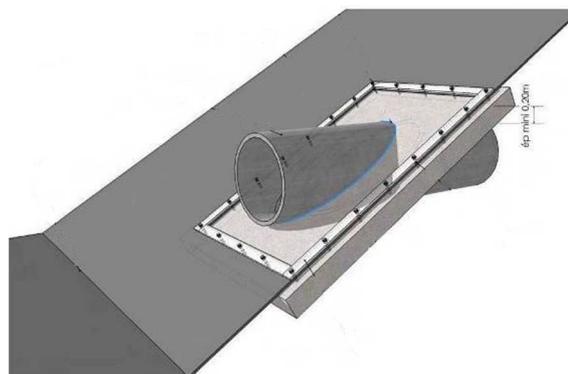


**Figure 15 – Coupe d'une fixation mécanique par réglet métallique**

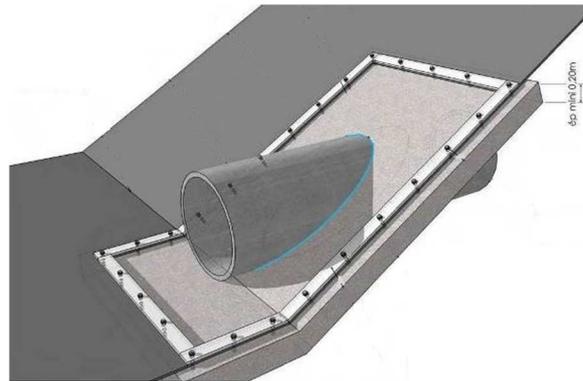
#### **Principe général de raccordement aux canalisations**

Quatre solutions sont couramment retenues :

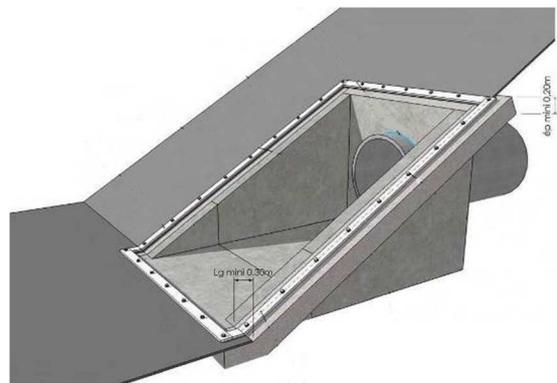
- raccordement de la géomembrane sur massif béton (cf. figures 16, 17 et 18),



**Figure 16 – Exemple de raccordement sur massif béton**

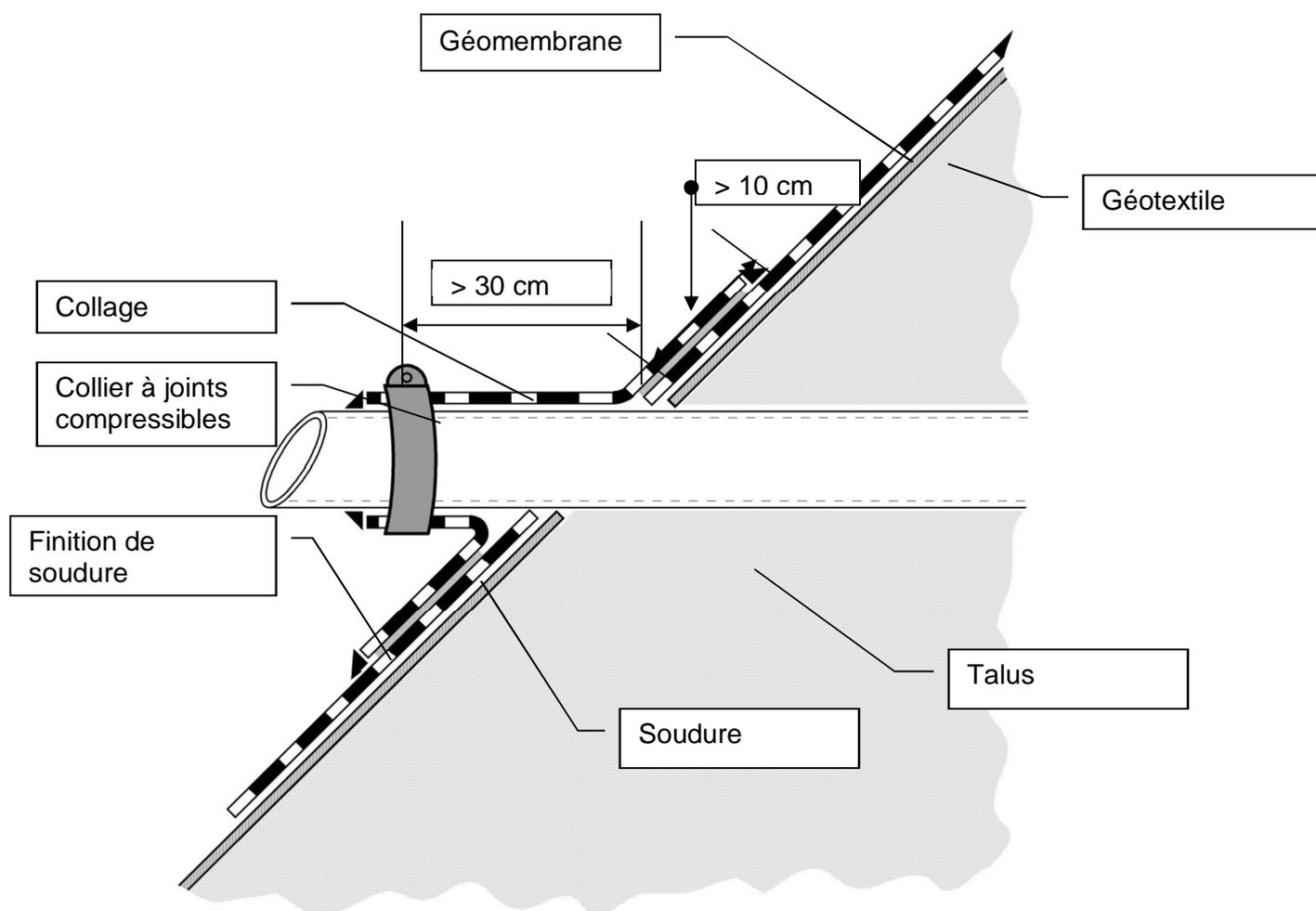


**Figure 17 – Exemple de raccordement sur massif béton**



**Figure 18 – Exemple de raccordement sur massif béton**

- systèmes brides contre-bridés avec joint compatible chimiquement avec l'effluent stocké,
- manchon (éventuellement préfabriqué) en géomembrane habillant l'extrémité de la canalisation et assemblé sur la membrane en partie courante (cf. figure 19),



**Figure 19 – Exemple de raccordement aux canalisations par manchon**

- raccordement sur des pièces chaudronnées préfabriquées de même nature chimique que la géomembrane.

NOTA : le raccordement d'une géomembrane sur une canalisation annelée n'est pas réalisable directement.

#### **4.3.8. Certifications ou qualifications**

Les entreprises d'application peuvent disposer de labels, certifications ou qualifications.

La certification donne une assurance écrite (certificat de conformité) qu'un service satisfait aux exigences spécifiées d'un référentiel de certification.

La qualification atteste de la compétence, du professionnalisme de l'entreprise et de la présomption de sa capacité à réaliser une prestation technique dans une activité donnée.

Le CFG participe à la mise en place de certifications et de qualifications avec l'ASQUAL. Dans ce cadre, ont aujourd'hui été développées :

- une certification de service pour l'activité de soudage de l'entreprise, habilitant des soudeurs à assurer des soudures étanches et résistantes en fonction des matériaux des géomembranes utilisés,

- une certification de service pour l'activité de responsabilité de chantier où des responsables de chantiers sont habilités à délivrer le service attendu,
- une qualification d'entreprises.

L'ensemble des renseignements sur ces certifications et qualifications sont disponibles sur : [www.asqual.com](http://www.asqual.com)

La certification ASQUAL Service – Soudage consiste à faire vérifier pour chaque soudeur :

- au travers d'un questionnaire, ses connaissances des conditions de soudage et des matériaux de la géomembrane concernée à souder,
- au travers de la réalisation d'assemblages (automatiques ou manuels) sa compétence pratique, sa maîtrise des équipements et ses techniques d'autocontrôle,
- au travers d'essais en laboratoire indépendant, la qualité des assemblages réalisés.

La certification ASQUAL Service – Responsabilité de chantier consiste à faire vérifier pour chaque individu :

- au travers d'un questionnaire, ses connaissances sur toutes les familles de géomembranes qui sont certifiées ASQUAL, sur l'organisation de chantier de pose de géomembranes (encadrement d'une ou de plusieurs équipes), sur l'hygiène et la sécurité,
- au travers d'un examen de dossier d'ouvrages exécutés, sa capacité de suivi du chantier (prise de décision(s) relative(s) au(x) chantier(s) géré(s), représentation de l'entreprise, gestion du contrôle interne de la qualité du (des) chantier(s) : matériel, moyens de contrôle, enregistrement et traçabilité du suivi de la mise en œuvre et de l'assemblage des géomembranes).

La qualification d'entreprise ASQUAL consiste à faire vérifier pour chaque entreprise volontaire la conformité entre le système qualité de l'entreprise et les critères techniques, organisationnels et administratifs du référentiel ASQUAL. Les certifications de service "Application de géomembranes" -Soudage et Responsabilité de chantier sont pré-requises à la qualification.

Une enquête de satisfaction est réalisée auprès des donneurs d'ordre et des utilisateurs, clients de la prestation de l'entreprise.

L'ASQUAL assure le suivi périodique de la conformité des entreprises certifiées et qualifiées.

Il est à noter que :

- les certifications ASQUAL sont réalisées dans des conditions définies (sous abri, au sec, propre...) qui ne reflètent pas toujours les conditions pouvant être rencontrées sur le site du chantier (conditions climatiques, géométrie de l'ouvrage, raccordements aux ouvrages annexes...),
- la présence de soudeurs et de chefs de chantier habilités à délivrer les services certifiés ASQUAL ne se substitue pas à la nécessité d'un contrôle extérieur diligenté par le Maître d'Ouvrage et qui relève de sa responsabilité.

#### ***4.4. Mise en place de la structure de protection***

Lors de la mise en place de l'éventuelle structure de protection (au-dessus de l'étanchéité par géomembrane), on s'attachera à vérifier que les dispositions prises pour sa mise en œuvre n'entraînent pas de dégradation de l'étanchéité. Bien souvent cette phase n'est pas réalisée par l'entreprise d'étanchéité mais par le mandataire ou un de ses sous-traitants qui n'ont pas nécessairement conscience de la fragilité de l'étanchéité. A ce titre, il faut rappeler que toute dégradation de l'étanchéité réalisée à ce moment doit être signalée afin que l'étancheur puisse, dans la mesure du possible, procéder aux réparations. Il est judicieux qu'une équipe de l'entreprise d'étanchéité soit présente lors de cette phase pour pouvoir réparer le plus

rapidement possible des dégradations.

Afin d'assurer la stabilité de la structure de protection (terre végétale, sable, grave, enrochements...), elle est réalisée du bas vers le haut du talus

Les dégradations sont souvent causées par les manipulations d'engins ou d'éléments (dalles préfabriquées, éléments de coffrage, ...) ou par des négligences (éléments de coffrage agressifs portant directement sur la géomembrane). En conséquence, lors de la mise en œuvre des matériaux de recouvrement, la circulation éventuelle des engins ne peut se faire que sur des couches de protection adaptée et d'épaisseur suffisante (épaisseur éventuellement validée par une planche d'essais). Des pistes de circulation seront dimensionnées pour éviter la compression de la couche de protection sur le complexe géosynthétique et le ripage, le déplacement et le compactage éventuels des granulats.

De même il faut aussi vérifier que la présence du DEG n'interfère pas avec une bonne réalisation de la couche de protection (plis du DEG trop hauts / épaisseur de la couche de protection).

On pourra s'appuyer sur les recommandations du fascicule du CFG : « Recommandations pour la protection contre l'endommagement des géomembranes » (en cours de rédaction lors de la parution du présent document).

# 5

## 5. Contrôles et réception

### *5.1. Domaine des Contrôles*

Les contrôles s'appliquent aux composants du DEG et aux dispositions prises pour leur mise en œuvre.

Dans ce chapitre, la distinction n'est pas faite entre ce qui relève des contrôles interne, externe ou extérieur mais sont énumérées un certain nombre de tâches à réaliser (domaines d'application des contrôles). La liste des contrôles à réaliser ainsi que leur répartition est précisée dans le CCTP.

Les contrôles sont de plusieurs types et peuvent être réalisés à divers moments.

- les contrôles documentaires débutent avant la réalisation du chantier par le contrôle des documents tels que le PAQ, les demandes d'agrément de matériaux, le PPSPS, le PAE, les plans de l'ouvrage et les méthodologies de pose. Ce type de contrôle sera poursuivi tout au long du chantier en consultant le journal de chantier, les fiches de contrôles, ....
- le contrôle de la mise en œuvre du DEG lui même sera effectué sur chantier et comprendra des contrôles non destructifs et la réalisation de prélèvements pour les essais destructifs réalisés en laboratoire.

### *5.2. Recommandations générales relatives aux contrôles d'un DEG*

#### **5.2.1. Contrôles de l'organisation du chantier**

L'organisation du chantier est traitée dans le PAQ de l'entreprise mandataire ainsi que dans celui de l'entreprise d'étanchéité si elle est sous-traitante. Il faut vérifier que les personnels et matériels prévus dans ces documents sont bien présents. On vérifiera par exemple la présence de soudeurs et de chefs de chantier certifiés où ces certifications sont requises.

#### **5.2.2. Contrôles des zones de stockage et de manutention des produits**

Les zones de stockage et de manutention doivent avoir des dimensions et une portance suffisantes pour que les matériaux soient stockés suivant les prescriptions du fournisseur.

Les matériaux seront entreposés conformément à ce qui est décrit en 4.3.2. Tous les éléments de protection mis en place par le fournisseur sur les différents conditionnements seront conservés le plus longtemps possible. Ils ne seront enlevés qu'au dernier moment. Ceci permet de maintenir les matériaux dans de bonnes conditions et de visualiser d'éventuelles détériorations mécaniques.

Le stockage des composants du DEG devra être réalisé conformément aux prescriptions des fabricants (hauteur maximale, nombre de rouleaux empilés, structure porteuse éventuelle...).

En fonction des conditions météorologiques du chantier (ensoleillement très important, température élevée ou alors très basse), il sera peut être nécessaire de mettre en place une protection complémentaire ou d'abriter certains matériaux. Dans ce cas, l'abri sera de type et de dimension adaptée (*Contre exemple : stockage en container pour protéger de la chaleur*).

### **5.2.3. Contrôles de réception des matériaux et matériels sur le chantier**

Le contrôle des matériaux livrés consiste d'abord en un contrôle documentaire :

- Vérification de l'étiquetage des rouleaux et panneaux :
  - dénomination commerciale ;
  - caractéristiques (nature chimique, épaisseur, masse surfacique, ...) ;
  - marquage CE suivant la norme prescrite pour l'ouvrage ou l'utilisation qui doit être faite du matériau;
  - numéro d'identification du rouleau ;
  - certifications éventuelles
- vérification des documents d'accompagnement (contrôles d'usine).

Cette vérification sera faite à la livraison et peut être réalisée à posteriori par toute personne habilitée sur le chantier (encadrement de l'Entreprise, Maître d'Œuvre, Contrôle Extérieur, ...) Elle pourra être complétée par des essais d'identification (de réception) réalisés sur des échantillons prélevés sur stock afin de vérifier la conformité des produits livrés aux documents agréés (prescriptions du CCTP, certificats éventuels, fiches techniques). Ces essais sont habituellement réalisés par le Contrôle Extérieur ou dans un laboratoire accrédité Cofrac pour les essais prévus au CCTP.

Le programme d'essai d'identification ainsi que la répartition entre les différents contrôles seront prescrits au CCTP.

Les matériels mis en œuvre pour la réalisation de l'étanchéité par DEG pourront aussi être contrôlés. On s'assurera de leur bon état général et de leur bon fonctionnement. Pour certains matériels qui peuvent être étalonnés (tensiomètre de chantier...) on vérifiera que les certificats sont toujours valables.

### **5.2.4. Planches d'essais et épreuves de convenance**

Dans certains cas particuliers, il pourra être procédé à la réalisation de planches d'essais et/ou de zones de convenance.

Une planche d'essais est une zone qui peut être située hors chantier et sur laquelle plusieurs dispositifs peuvent être testés afin de pouvoir choisir celui qui sera le plus adapté à une situation particulière du chantier. Une fois le dispositif choisi, les dispositifs non retenus seront éliminés. Pour la réalisation des planches d'essais, on pourra se référer au « guide pour la conception et l'exploitation de planches d'essais sur DEG » du CFG et du fascicule du CFG : « Recommandations pour la protection contre l'endommagement des géomembranes » (en cours de rédaction lors de la parution du présent document).

Une zone de convenance est une zone habituellement située sur le chantier, ou avec des caractéristiques les plus proches possibles d'une zone de chantier, sur laquelle le procédé choisi pour le reste du chantier est mis en œuvre avec les moyens humains et matériels prévus dans le PAQ. Elle sert à s'assurer de la maîtrise des procédures et matériels par les

intervenants. On pourra qualifier la réalisation par des contrôles destructifs ou non. Selon les résultats, la zone de convenance pourra être laissée en place ou éliminée.

Avant le démarrage de la pose du DEG, des épreuves de convenance peuvent être réalisées afin de vérifier que les moyens humains et matériels affectés à une tâche permettent d'obtenir les résultats demandés.

Dans ces épreuves, on peut inclure les essais d'identification des éléments du DEG afin de vérifier que les matériaux livrés ont bien les caractéristiques prescrites au CCTP et dans les fiches techniques ou certificats.

### **5.2.5. Contrôles associés à la mise en œuvre et réception de la structure support**

Les contrôles du compactage et de la portance sont réalisés par le terrassier, son contrôle interne ou le contrôle extérieur sous contrôle de la maîtrise d'Ouvrage et font l'objet d'une réception.

Ensuite, lors d'une réception tripartite (Entreprise de terrassement, Entreprise d'étanchéité et Maître d'Ouvrage), les contrôles de la structure support consistent en une vérification visuelle :

- de l'état général de la structure support (homogénéité, absence d'éléments saillants ou potentiellement poinçonnant, présence de boue...),
- de la planéité,
- de la géométrie (respect des pentes, du traitement des angles, ...),
- des tranchées d'ancrage (dimensions cf. §4.3.6. Ancrages, traitement et pose du DEG),
- du traitement de venues d'eau (ruissellements, suintements, ...).

Les contrôles peuvent être réalisés par zones en fonction des nécessités de l'avancement du projet ou des changements de conditions climatiques.

### **5.2.6. Contrôles du plan de calepinage**

Le contrôle du plan de calepinage a pour objectif de détecter d'éventuelles non conformités telles que points quadruples, soudures horizontales en talus, ...

### **5.2.7. Contrôles du plan de phasage des travaux**

Le contrôle du phasage des travaux a pour but de détecter des incompatibilités de tâches telles que la mise en place des pénétrations après la pose du DEG, travaux ultérieurs nécessitant une circulation directe sur la géomembrane...

### **5.2.8. Contrôles de la mise en œuvre de l'étanchéité**

On distingue dans le présent guide trois niveaux de contrôles, dont les spécificités sont décrites dans les paragraphes suivants :

- contrôle interne,
- contrôle externe,
- contrôle extérieur.

La réalisation de ces contrôles et leur fréquence dépend de la nature des projets, de la classe de conséquence de l'ouvrage, de sa dimension, de sa destination, de l'utilisation de produits et d'applicateurs (soudeurs, chefs de chantiers, entreprises) certifiés.

### **5.2.8.1. Contrôles internes**

Les contrôles internes sont réalisés par du personnel de l'entreprise d'application qui participe à la mise en œuvre du DEG. Il est réalisé par le soudeur (contrôle des paramètres de soudage, contrôle visuel, ...) et/ou par le chef de chantier (contrôle à réception des matériaux et contrôle des assemblages).

Ces contrôles concernent la totalité des assemblages et nécessitent la présence sur chantier de matériel adapté et en état de marche (cloche à vide, tensiomètre de chantier, aiguilles de mise en pression avec manomètre...).

Ils comprennent, entre autre, le contrôle :

- des étiquetages,
- des matériels,
- du respect du plan de calepinage,
- visuel de la partie courante des composants du DEG et des assemblages,
- la vérification des paramètres de machine,
- de la qualité et de la conformité de l'intégralité des assemblages,
- ...

Les résultats des différents contrôles sont formalisés sur des fiches de contrôle consultables sur site par le contrôle extérieur lors de sa revue documentaire.

Lorsque demandé, des échantillons ainsi que les éprouvettes réalisées au titre du calibrage des machines à chaque reprise de travail seront conservés à l'abri sur le chantier jusqu'à la fin de ce dernier. Cela permettra, le cas échéant, de réaliser des essais a posteriori sur ces échantillons conservatoires.

Le plan de contrôle interne sera décrit dans le plan de contrôle du chantier et dans le PAQ de l'entreprise en s'appuyant sur les documents techniques correspondant au type d'ouvrage.

### **5.2.8.2. Contrôles externes**

Le contrôle externe, réalisé pour le compte de l'entreprise, par une personne ne participant pas à la mise en œuvre du DEG (contrôle qualité de l'entreprise, prestataire externe) est un contrôle par sondage qui permet de valider le contrôle interne. Il ne peut être réalisé que dans les zones déjà contrôlée en interne.

Sa fréquence est définie au CCTP et concernera un minimum de 30% des assemblages.

Ce contrôle pourra comprendre des prélèvements pour la réalisation d'essais destructifs sur les matériaux aux fins d'identification ou sur leurs assemblages.

Le plan de contrôle externe sera décrit dans le plan de contrôle du chantier en s'appuyant sur les documents techniques correspondant au type d'ouvrage.

### **5.2.8.3. Contrôles extérieurs**

Le contrôle extérieur réalisé par le Maître d' Œuvre ou, préférentiellement, par un prestataire externe compétent pour le compte du Maître d'Ouvrage est un contrôle par sondage qui permet de valider les dispositions prises par l'entreprise pour assurer son contrôle qualité. Il ne peut donc être réalisé que si les autres phases de contrôle l'ont déjà été.

Le contrôleur extérieur doit être en possession de son propre matériel de contrôle.

Il consiste en une revue documentaire, des contrôles non destructifs et des prélèvements pour la réalisation d'essais en laboratoire sous accréditation Cofrac.

Le plan de contrôle extérieur sera décrit dans les CCTP (travaux d'étanchéité et de contrôle extérieur) en s'appuyant sur les documents techniques correspondant au type d'ouvrage. Il concernera un minimum de 30% des assemblages.

## **5.2.9. Méthodologie de contrôle**

### **5.2.9.1. Contrôles non destructifs**

La méthodologie de réalisation de ces différents contrôles figure dans le guide CFG « Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes ».

#### **Contrôle visuel**

Il doit être réalisé à tout moment et à tous les niveaux de contrôle. Il concerne toutes les parties d'ouvrages et tous les composants du DEG et leurs assemblages.

#### **Contrôle à air sous pression**

Ce contrôle concerne les doubles soudures automatiques avec canal de contrôle. Il permet de vérifier la continuité et l'étanchéité du canal de contrôle et donc des joints qui le bordent.

Nota : Il ne s'agit pas d'un essai mécanique, une soudure peut être étanche tout en ayant des résistances mécaniques faibles et inférieures aux prescriptions du marché.

#### **Contrôle par liquide coloré sous pression**

Ce contrôle concerne les doubles soudures automatiques avec canal de contrôle. Il permet de vérifier la continuité et l'étanchéité du canal de contrôle et donc des joints qui le bordent. Il permettra de visualiser les éventuels défauts en surface de la géomembrane.

Il pourra être complété par un contrôle par caméra thermique qui permettra, grâce à l'usage d'un liquide en température et d'une caméra thermique, la visualisation de défauts en sous-face.

#### **Contrôle par cloche à vide**

Ce contrôle concerne les soudures manuelles, l'extrusion et les points singuliers. Il permet de vérifier la continuité d'une soudure manuelle.

Il sera complété par un contrôle à la pointe (sauf pour l'EPDM).

Nota : Il ne s'agit pas d'un essai mécanique. Ce contrôle n'est pas toujours réalisable (support irrégulier, assemblage inaccessible...).

#### **Contrôle à la pointe**

Ce contrôle concerne les assemblages manuels et extrusions de géomembranes (hors EPDM) et complète les méthodes citées ci-dessus. Il permet de vérifier la continuité et, dans une certaine mesure, la bonne adhérence des soudures manuelles et des extrusions.

#### **Contrôle diélectrique**

Ce contrôle, qui existe sous différentes formes, concerne l'ensemble de la surface du DEG. Il permet de détecter et de repérer les défauts traversant ponctuels ou à l'échelle de l'ouvrage. Il peut être réalisé durant la phase de travaux et à la réception de l'étanchéité y compris, pour certaines méthodes, après mise en place du confinement.

### **Contrôle par ultrasons**

A ce jour, cette méthode est appliquée aux géomembranes bitumineuses pour le contrôle des assemblages. Elle permet de détecter et de repérer des défauts de soudure. Elle se limite aux parties d'ouvrage planes.

### **Contrôle par lance à air**

Ce contrôle consiste à injecter de l'air sous-pression sur le bord des joints. L'équipement d'essai d'étanchéité à la lance à air est composé d'une source d'air comprimé capable de débiter, à travers une buse de 4,8 mm (3/16") de diamètre, un air porté à une pression minimale de sortie de 345 kPa (50 psi). La buse doit être orientée vers le bord supérieur du joint et maintenue à une distance maximale de 51 mm (2 in.) par rapport au joint. Ce système de contrôle est destiné à vérifier la continuité des assemblages (hors extrusions). Cet essai est réalisé suivant la norme ASTM D 4437.

### **Contrôle par mise en eau**

Ce contrôle peut être réalisé à la fin de la mise en œuvre de la géomembrane. Il consiste au remplissage de l'ouvrage dans son intégralité ou partiellement afin de vérifier son étanchéité en charge. On mesurera les variations du niveau de l'eau dans l'ouvrage et des débits éventuels du système de drainage des eaux. L'analyse des résultats devra prendre en compte les variations dues aux conditions atmosphériques (précipitations, évaporation...) durant la durée de l'essai (durée qui dépend de la dimension de l'ouvrage).

## **5.2.9.2. Contrôles destructifs**

Les contrôles destructifs sont réalisés afin de vérifier que les échantillons testés respectent les spécifications données au CCTP et dans les référentiels cités dans ce dernier.

Ces essais peuvent concerner les matériaux pour la réalisation des essais d'identification, ou les assemblages.

Dans le cas des essais d'identification sur matériaux, la liste des essais ainsi que leur fréquence et la répartition de ces essais entre les différents contrôles sera fixée aux CCTP (travaux et contrôle extérieur le cas échéant) et dans le plan de contrôle.

En ce qui concerne les assemblages, des essais de détermination des caractéristiques mécaniques peuvent être réalisés en fonction de la nature chimique de la géomembrane et du type d'ouvrage à réaliser. Les prélèvements seront réalisés en dehors des zones sensibles et de préférence vers l'extrémité des soudures (pour assurer les performances d'étanchéité de la zone courante). Ces essais sont :

### **Traction pelage**

Cet essai permet de caractériser la résistance mécanique et le mode de rupture d'un assemblage lors d'une sollicitation des bords du joint à 180°.

### **Traction cisaillement**

Cet essai permet de caractériser la résistance mécanique et le mode de rupture d'un assemblage lors d'une sollicitation dans le plan du joint.

Lors des essais de pelage et de cisaillement, les caractéristiques observées sont d'une part la résistance du joint et d'autre part le mode de rupture de l'assemblage.

Le facteur de soudage est le rapport entre la résistance d'un joint obtenu suivant l'un des deux essais précédents et la résistance en traction du matériau de base. Il s'exprime en %. Cette

caractéristique n'est appliquée qu'aux assemblages de géomembranes PEHD et Bitumineuses élastomères.

Les spécifications (critères) sur chacune de ces caractéristiques sont fixées au CCTP. Des valeurs minimales sont proposées en annexe C.

#### **5.2.10. Contrôles associés à la mise en œuvre de la structure de protection**

Il consiste en la vérification du respect des prescriptions de la mise en œuvre de la structure de protection (nature, épaisseur, procédure de réalisation,...) mais aussi de la bonne prise en compte des dispositions décrites dans le §4.4. Mise en place de la structure de protection.

#### **5.2.11. Contrôles du dossier d'ouvrage exécuté (DOE)**

Le contrôle du dossier de fin de chantier ne peut être fait que par une personne ayant suivi le chantier (Maître d' Œuvre, contrôle extérieur). Cette tâche à elle seule ne peut suffire pour statuer sur la bonne réalisation du chantier car les éléments du dossier doivent être comparés à ce que l'on a pu constater tout au long de la réalisation du chantier.

La vérification de ce dossier et notamment du plan de récolement permet au Maître d'Ouvrage de connaître l'état de son ouvrage à la fin de la réalisation des travaux d'étanchéité.

Ce contrôle permettra de vérifier la présence des pièces constitutives du DOE qui sont à minima :

- le PAQ,
- moyens humains (liste nominative) et matériels,
- plan de récolement (avec identification des assemblages),
- des photos,
- le journal de chantier,
- fiche de réception support et matériaux,
- fiches de contrôle des soudures visées par le responsable,
- fiches d'identification des non conformités et leur traitement,
- dossier des interventions ultérieures sur ouvrages.

# 6

## 6. Assurance de la qualité

Le Maître d’Ouvrage définit la fonction attendue de l’ouvrage en termes de qualité d’usage. Le Maître d’Œuvre traduit les besoins en termes de qualité requise sous forme d’exigences contractuelles (performance, délais, coût). La qualité de l’ouvrage correspond à la satisfaction du besoin. L’obtention de la qualité sur un ouvrage doit prendre en compte :

- la conformité des matériaux,
- l’exécution correcte des tâches,
- l’ordonnancement correct des tâches,
- les aléas possibles.

Il est courant que le coût des contrôles et du plan assurance qualité représente de l’ordre de 10 à 20% du montant total du marché. Pour une bonne compréhension de ce chapitre, il est rappelé ci-après la terminologie utilisée.

### 6.1. Terminologie qualité

Les termes suivants sont définis dans la norme NF EN ISO 9000 ou le code des marchés publics.

**Anomalie** : déviation par rapport à ce qui est attendu.

*Commentaire* : le traitement des anomalies doit être défini dans les documents qualité du chantier (PAQ et SDQ).

**Contrôle intérieur** : contrôle réalisé par l’entreprise pour s’assurer de la qualité de sa production ou prestation. Il comprend :

- le contrôle interne réalisé par les exécutants eux-mêmes,
- le contrôle externe réalisé par un service de l’entreprise indépendant du responsable du chantier ou par un organisme extérieur mandaté par l’entreprise.

**Contrôle extérieur** : contrôle exercé par le Maître d’Œuvre ou un organisme mandaté par le Maître d’Ouvrage.

*Commentaire* : ce contrôle peut consister en un audit du système qualité de l’entreprise sur le chantier, la vérification des contrôles réalisés et la réalisation d’essais pour valider les résultats du contrôle interne.

*Recommandation* : il est souhaitable de dissocier l’organisme de contrôle extérieur de l’organisme de Maîtrise d’Œuvre.

**Défaut** : non satisfaction aux exigences de l’utilisation prévue.

**Non-conformité** : non satisfaction aux exigences spécifiées.

**Plan d’Assurance de la Qualité (PAQ)** : document explicitant pour l’ouvrage considéré, l’ensemble des dispositions prises par une entreprise pour l’obtention de la qualité requise.

*Commentaire : par exemple les moyens de mise en œuvre et de contrôle.*

**Point d'arrêt** : point au-delà duquel le chantier ne doit pas se poursuivre sans l'aval du contrôle extérieur.

*Commentaire : par exemple la réception du support avant mise en œuvre du DEG.*

**Qualité** : Ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude des besoins exprimés ou implicites.

**Qualité d'usage** : aptitude à remplir les fonctions définies par le donneur d'ordre (Maître d'Ouvrage).

**Qualité requise** : traduction de la qualité d'usage sous forme d'exigence contractuelle ou que se fixe l'intervenant exprimé, en exigences de résultats ou de moyens.

*Commentaire : par exemple définitions et spécifications du Dispositif d'Étanchéité – Drainage par Géosynthétiques.*

**Schéma Directeur de la Qualité (SDQ)** : document établi sur la base des plans d'assurance de la qualité par le Maître d'Œuvre en concertation avec les entreprises titulaires du marché ;

*Commentaire : il définit l'ensemble des actions pour l'obtention de la qualité par exemple l'interaction entre le terrassier et l'étancheur.*

**Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité (SOPAQ)** : le schéma d'organisation prévisionnel du plan de l'assurance qualité établi par l'entreprise est joint au dossier de remise d'offre.

*Commentaire : il permet de juger l'aptitude de l'entreprise à l'obtention de la qualité requise.*

## ***6.2. Organisation des actions qualité***

L'organisation pour l'obtention de la qualité dans l'aménagement d'un ouvrage nécessite l'intervention des différents partenaires depuis la conception jusqu'à l'exploitation.

Le tableau 6 précise le rôle et les documents à produire pour chacun des intervenants dans ce but.

Intervenants Phase	Maître d'Ouvrage Exploitant	Maître d'Œuvre	Entreprise
Définition du besoin	Qualité d'usage Définition des conditions d'exploitation		
Conception		Qualité requise (Constitution des D.E.G, spécification, document d'exécution...) Visa de contrôle agréments	
Dossier de consultation des entreprises		Exigences minimales pour la qualité relative aux moyens et contrôles	
Offres			Mémoire technique incluant le SOPAQ.
Préparation chantier		Rédaction du SDQ qui réunit les PAQ des différents intervenants	Rédaction du PAQ Définition des moyens mis en œuvre pour l'obtention de la qualité requise.
Travaux	Contrôle extérieur (mandate un organisme)	Suivi, levée des points d'arrêt et contrôle extérieur (si mandaté)	Exécution des travaux en conformité avec le PAQ Récolement.
Exploitation	Application du PAQ pour l'exploitation.		

**Tableau 6 — Organisation des actions qualité**

### ***6.3. Contenu du Plan d'Assurance Qualité (PAQ)***

Le présent paragraphe ne traite que du plan d'assurance qualité de l'entreprise adjudicataire du marché de travaux (et ses sous-traitants) et doit contenir au minimum les informations suivantes :

- identification et consistance des travaux,
- organisation de l'entreprise :
  - organigramme nominatif,
  - description des fonctions du personnel,
  - schéma décisionnel,
  - organisation contrôle intérieur,
- moyens :
  - qualification du personnel (certification de service...),
  - moyens d'exécution et de contrôle :
    - descriptifs des appareils d'assemblage,
    - descriptifs des moyens d'autocontrôle (avec leur étalonnage),
    - descriptifs des moyens de levage et de déroulage,
    - moyens électriques,

- matériaux / géosynthétiques :
  - fiches techniques des matériaux mis en œuvre,
  - moyens garantissant la traçabilité du produit et de sa mise en œuvre,
- exécution des travaux :
  - méthode de mise en œuvre,
  - dispositifs de sécurité adaptés à la mise en œuvre de géosynthétiques,
  - description et fréquence des contrôles,
  - document de suivi,
  - traitement des non conformités,
- réception des travaux :
  - métrés contradictoires,
  - procédures de réceptions,
- archivage des documents.



## 7. Garanties, Assurances, litiges

### *7.1. Rôle des différents intervenants*

Les intervenants :

- le Maître d’Ouvrage,
- le contrôle extérieur,
- le Maître d’Œuvre,
- l’entreprise (avec les fournisseurs et les sous-traitants éventuels).

Le Maître d’Ouvrage n’est pas sachant. Il s’appuie sur le Maître d’Œuvre pour la conception et la réalisation de l’ouvrage. Il mandate un contrôle extérieur (voir § 5.2.8.3. Contrôles extérieurs) pour s’assurer de la qualité de la réalisation. Il est néanmoins responsable de la bonne utilisation de l’ouvrage réalisé, de sa surveillance et de son entretien.

Le Maître d’Œuvre a la compétence technique pour concevoir et faire construire l’ouvrage (direction des travaux et réception) ou s’entoure de spécialistes avertis dans le domaine des DEG et les procédés de pose associés.

NOTA : Il est recommandé de confier la pose de l’ensemble des géosynthétiques du DEG à une entreprise unique.

L’entreprise assure la fourniture des matériaux constitutifs et la réalisation de l’ouvrage, y compris la pose du DEG. Elle doit donc gérer les fournisseurs ou fabricants et s’assurer des points suivants :

- l’adéquation entre les caractéristiques principales du produit et le CCTP,
- la mise à disposition des notices techniques des produits et les moyens d’indentification,
- la fourniture du PAQ,
- la fourniture des fiches de contrôle de fabrication des géosynthétiques,
- la fourniture de l’attestation de la police de responsabilité civile (entreprise),
- le respect des délais de livraison, du conditionnement, de manutention et de stockage.

Elle doit également justifier de sa compétence à réaliser l’ouvrage et notamment la pose du DEG, ou, si cela est autorisé, avoir recours à un sous-traitant qualifié et fournir les éléments suivants (pour elle-même ou son sous-traitant éventuel) :

- les références pertinentes de chantiers similaires,
- les qualifications du personnel spécialisé (ASQUAL par exemple),
- la disponibilité du matériel nécessaire à la pose, la manutention et les contrôles internes,
- le PAQ avec les procédures de contrôle interne,
- l’attestation de la police d’assurance de responsabilité civile,
- le cas échéant, l’attestation de la garantie particulière.

## ***7.2. Garanties***

La garantie à fournir au Maître d'Ouvrage pour le DEG est constituée de l'ensemble des garanties fournies par l'entreprise responsable de l'ensemble du DEG ou par les entreprises qui ont participé séparément à la construction des différentes structures.

Ces garanties partielles correspondent aux différentes réceptions successives. Elles concernent plus particulièrement les qualités essentielles exigées de l'ouvrage et du DEG, soit :

- pour la durée d'application de la garantie du DEG : une garantie du bon comportement au vieillissement des géomembranes, des géotextiles et des couches de protection,
- pour l'étanchéité : une garantie sur l'intégrité de la géomembrane et de ses assemblages justifiée par les résultats des contrôles qualité des produits et des travaux exécutés. Ces garanties conduisent à un engagement sur un débit de fuite maximal convenu,
- pour la surveillance de l'ouvrage : une garantie sur le fonctionnement du système de filtration et de drainage.

Les garanties sont modulables selon l'ouvrage et sont à moduler en fonction de la formule retenue pour le DEG.

Les garanties relatives aux performances de l'ouvrage en service sont soumises à l'existence d'un système d'auscultation et de surveillance.

Des procédures de mesure et d'interprétation contractuelle seront établies.

Celles relatives aux performances des produits nécessitent une définition préalable des normes ou des modes opératoires à utiliser.

## ***7.3. Assurances***

Les domaines d'application concernés par le présent fascicule (voir paragraphe 1.3) sont cités dans l'article L.243-1-1 du Code de Assurances et ne sont pas soumis à l'assurance obligatoire de responsabilité décennale et de dommages-ouvrages.

Le Maître d'Ouvrage peut exiger une assurance, mais il s'agit alors d'une garantie particulière à préciser contractuellement. Cette disposition n'est ni obligatoire, ni systématique.

Elle ne doit pas être confondue avec la responsabilité civile (obligatoire pour le Maître d'Œuvre, le contrôle extérieur et l'entreprise) qui couvre les désordres causés aux tiers (mais pas ceux causés à l'ouvrage).

Si le marché ou les conditions particulières le prévoient, l'entrepreneur sera tenu de souscrire, une police d'assurance en répartition pour garantir en cas de dommages affectant la solidité ou l'impropriété à destination de l'ouvrage, les conséquences pécuniaires de la responsabilité décennale qu'il encourt en application des principes dont s'inspirent les dispositions de l'article 1792 du code civil.

## ***7.4. Litiges***

Les cas traités ici n'entrent pas dans la procédure d'expertise amiable puisque ils ne sont pas concernés par la garantie décennale obligatoire.

Le litige peut cependant être réglé à l'amiable directement entre le Maître d'Ouvrage, le Maître d'Œuvre et l'entreprise, notamment par la médiation ou l'arbitrage.

Les différends soumis à l'arbitrage le seront conformément au règlement de médiation et

d'arbitrage de la FNTF par un arbitre unique (ou par trois arbitres selon le choix des parties) conformément à ce règlement.

S'il n'y a pas règlement à l'amiable, la démarche d'une assignation judiciaire débute par une requête en référé pour obtenir la désignation d'un expert.

L'expert est désigné par le Tribunal de Grande Instance ou le Tribunal Administratif (si le Maître d'Ouvrage est une collectivité).

L'expert dépose un pré-rapport et un rapport qui identifient :

- les désordres,
- leurs origines,
- les solutions réparatoires,
- leur coût et leur durée.

L'expert propose au juge les éléments pour déterminer les responsabilités.

Le travail de l'expert s'arrête au dépôt du dossier d'expertise. Après le dépôt du dossier de l'expert, le juge détermine les responsabilités et la participation de chacun à la remise en conformité de l'ouvrage.

Les différentes parties se mettent ensuite d'accord, sur les bases du rapport de l'expert pour prendre en charge les réparations.

S'il n'y a pas d'accord, une des parties (par exemple le Maître d'Ouvrage) peut effectuer une requête au fond et il y a alors procès.

## Annexe A : Glossaire

### TERMES GENERAUX

#### Géomembrane<sup>1</sup>

(Extrait de la norme NF P84-500) Produit manufacturé adapté au génie civil, d'une largeur de 1,50 m (- 0,05 m) minimale, mince, souple, continu, étanche aux fluides à la sortie de la chaîne de fabrication, d'épaisseur effective<sup>2</sup> de 1,00 mm minimum sur toute la surface du lé et soudable en continu, quelles que soient les faces des lés en contact, par soudure thermique, par vulcanisation ou par bandes adhésives autocollantes selon la nature du produit.

#### Dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG)

Ensemble de composants constitué par :

1. une structure support ;
- 2 la structure d'étanchéité ;
3. une structure de protection supérieure, si nécessaire.

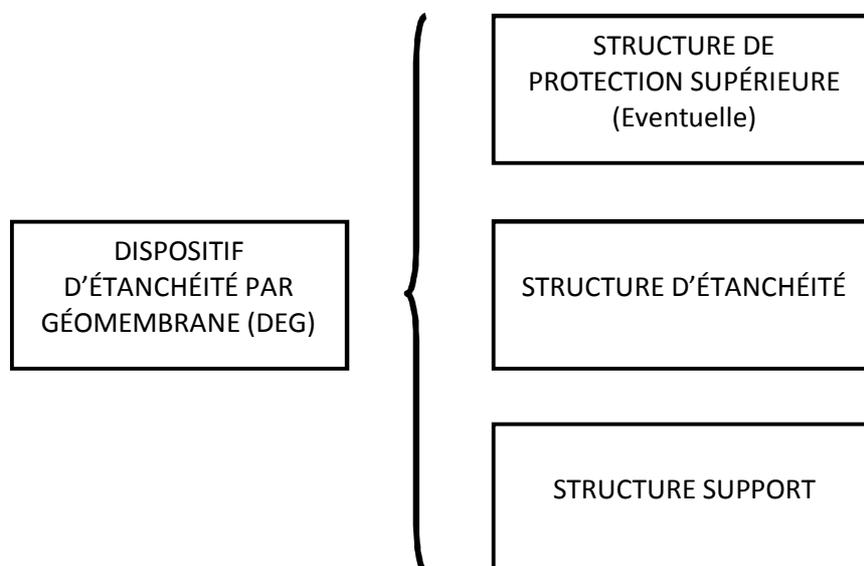


Figure — Dispositif d'étanchéité par géomembrane

#### Structure d'étanchéité

Structure constituée d'une géomembrane seule ou éventuellement de deux géomembranes séparées par un ou plusieurs des éléments suivants : dispositif drainant, couche de sol, éléments de protection.

#### Structure support

Structure placée entre le fond de forme et la structure d'étanchéité.

Elle peut être constituée par :

- la couche de forme,
- la couche support,
- des dispositifs de drainage (eau et gaz).

<sup>1</sup> Dans l'état actuel des techniques les produits de faible épaisseur fonctionnelle (inférieure à 1 mm), les produits manufacturés d'une largeur inférieure à 1,5 m (- 0,05m), les produits dont l'étanchéité est assurée essentiellement par un matériau argileux, ne sont pas des géomembranes.

<sup>2</sup> Appelée également épaisseur fonctionnelle

**Couche de forme**

Couche de la structure support reposant sur le fond de forme.

**Couche support**

Couche de la structure support sur laquelle repose la structure d'étanchéité.

**Fond de forme**

Surface, sur laquelle repose le dispositif d'étanchéité par géomembrane.

**Structure de protection (éventuelle)**

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

**TERMES RELATIFS A LA STRUCTURE DE LA GEOMEMBRANE****Géomembrane composée**

Produit manufacturé formé par superposition et assemblage de plusieurs composants dont au moins une géomembrane. Les composants autres que la géomembrane sont dénommés matériaux associés. Ils sont indissociables de la géomembrane sans altération de celle-ci.

**Matériau associé**

Couche de matière synthétique ou minérale, adhérente à une ou aux deux faces de la géomembrane, dans une géomembrane composée.

**Géomembrane armée**

Géomembrane comportant une armature constituée d'une structure ou d'éléments de renforcement.

**Pli**

Feuille ou film étanche manufacturé, de composition chimique homogène, constituant l'élément de base pour la fabrication en usine d'une géomembrane.

**Géomembrane monopli**

Géomembrane constituée d'un seul pli.

**Géomembrane multipli**

Géomembrane constituée de plusieurs plis indissociables.

**Délaminage d'une géomembrane**

Séparation des couches de matière d'une géomembrane ; par exemple séparation des plis d'une géomembrane multipli ou des matériaux associés d'une géomembrane composée.

**Masse surfacique**

Masse de l'unité de surface (exprimée en gramme ou kilogramme par m<sup>2</sup>).

**Épaisseur totale**

Épaisseur de la géomembrane, y compris l'armature, les motifs et profil de surface ainsi que les matériaux associés éventuels, dans le cas d'une géomembrane composée.

**Épaisseur effective**

Épaisseur minimale (participant à l'étanchéité) d'une membrane non lisse ou armée. Se reporter aux normes homologuées NF EN 1849-1 et 2.

**Motif de surface**

Relief à la surface de la géomembrane, généralement obtenu par soufflage ou projection, calandrage ou gaufrage, en vue d'améliorer les caractéristiques de frottement.

**Étanchéité à l'eau**

On considère une géomembrane comme étanche si le flux d'eau la traversant en partie courante (hors joint) dans les conditions de mesure de la norme NF EN 14150 (pendant 7 jours sous une différence de pression de 100 kPa) est inférieur à 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>.j<sup>-1</sup>.

## **TERMES RELATIFS A LA FABRICATION DE LA GEOMEMBRANE**

### **Géomembrane fabriquée en place**

Géomembrane réalisée sur le site même de service Elle peut être réalisée en une seule couche (monocouche) ou en plusieurs couches (multicouches).

### **Géomembrane manufacturée**

Géomembrane réalisée en usine La géomembrane est fabriquée sous forme de lés conditionnés en rouleaux.

### **Lé**

Largeur de production d'une géomembrane. Usuellement, bande de géomembrane.

### **Spire**

Chacun des tours de rouleau de géosynthétique

### **Nappe (ou panneau)**

Ensemble des lés assemblés de manière définitive en usine ou dans un atelier proche du site de service.

### **Calandrage\***

Procédé consistant à faire passer une matière entre des cylindres.

### **Enduction\***

Procédé consistant à rapporter une mince couche de matière à l'état liquide ou pâteux sur un support généralement textile.

### **Imprégnation\***

Procédé consistant à faire pénétrer, à cœur, un matériau sous forme liquide dans un support généralement textile.

### **Extrusion\***

Procédé consistant à forcer une matière, chauffée ou non, à travers une filière de section appropriée.

### **Sens de production = sens machine**

Direction d'avancement d'une géomembrane manufacturée, pendant sa fabrication.

### **Sens travers**

Direction perpendiculaire au sens de production.

\* Ces définitions sont restreintes au seul domaine des géomembranes.

## **TERMES RELATIFS AUX ASSEMBLAGES DES GEOMEMBRANES**

### **Assemblage**

Nappes (ou panneaux) L'assemblage se fait généralement par soudure thermique avec ou sans apport de matière, ou par soudure par solvant, ou par collage, ou par vulcanisation avec ou sans apport de matière.

### **Joint**

Zone de liaison entre lés, nappes (ou panneaux), par extension désigne aussi le résultat de l'opération d'assemblage.

### **Soudure**

Mode d'assemblage des surfaces, amollies, soit par solvant, soit plus généralement par la chaleur. Simultanément, une pression est appliquée sur les faces extérieures de l'assemblage.

### **Double soudure**

Modalité d'assemblage comportant la réalisation simultanée de deux joints parallèles, effectués en soudure automatique et séparés par une zone non soudée. Ce canal central sert généralement à faire des tests d'étanchéité du joint, sous pression.

#### **Soudure par solvant**

Mode d'assemblage avec pression, de produits thermoplastiques, pour lesquels les surfaces sont amollies à l'aide d'un solvant : celui-ci s'élimine généralement par absorption, évaporation.

Note : les termes soudure à froid ou collage homogène sont à éviter.

#### **Soudure thermique**

Mode d'assemblage avec pression, dans lequel les surfaces sont amollies par la chaleur. Celle-ci génère sur les deux surfaces à souder une température élevée provoquant une fusion partielle des matériaux à souder. Cette chaleur peut être apportée par une lame métallique, par un jet d'air, des ultrasons ou un champ électrique haute fréquence. La soudure peut dans certains cas s'effectuer avec apport de matière amollie par la chaleur.

#### **Soudure automatique**

Soudure effectuée au moyen d'un dispositif permettant de régler et de maintenir constants les principaux paramètres conditionnant la qualité de la soudure : pression, température, vitesse.

#### **Soudure par extrusion**

Assemblage par ajout de matière amollie.

#### **Vulcanisation à froid**

Méthode d'assemblage utilisée pour les géomembranes EPDM. Il s'agit d'un procédé chimique.

#### **Soudage par bande d'apport**

Collage consistant à intercaler entre les surfaces à solidariser un film auto-adhésif généralement réactivé.

#### **Collage**

Mode d'assemblage de deux surfaces au moyen d'un matériau adhésif, liquide ou pâteux ou sous forme de film, froid ou chaud.

#### **Couvre-joint**

Bande de géomembrane ; mise en place par collage ou soudage sur un joint, et destinée à renforcer la solidité et/ou l'étanchéité.

#### **Marouflage**

Action d'exercer une pression sur une face d'une géomembrane pendant ou immédiatement après sa soudure ou son collage, généralement à l'aide d'un rouleau.

## **TERMES RELATIFS AUX MATERIAUX DE BASE ET AU COMPORTEMENT PHYSICO-MECANIQUE DES GEOMEMBRANES**

### **Polymère**

Produit constitué de molécules de grandes masses moléculaires dont la structure est essentiellement caractérisée par la répétition d'un ou plusieurs types de motifs monomères pour former une chaîne ou un réseau macromoléculaire.

### **Thermoplastique (substantif)**

Polymère fusible, susceptible d'être de manière répétée et réversible, ramolli à la chaleur et durci par refroidissement, dans un intervalle de température caractéristique du matériau considéré et ceci sans transformation chimique.

### **Thermodurci**

Polymère qui est transformé en un produit réticulé infusible, lorsqu'il a été traité par la chaleur ou par d'autres moyens chimiques ou physiques ; il peut être souple (caoutchouc) ou rigide. Il est généralement insoluble dans la plupart des solvants bien que susceptible de gonfler à leur contact.

### **Elastomère**

Polymère ayant un comportement quasi élastique ; l'élasticité peut être totale ou partielle

selon le produit concerné ou l'intensité de la force appliquée.

#### **Plastomère**

Polymère présentant de la plasticité à température ambiante, et ayant des propriétés thermoplastiques.

#### **Bitume polymère**

Bitume modifié par addition de polymère(s) dont la composition chimique et les conditions de fabrication ont été étudiées de telle sorte que le comportement du mélange soit celui du polymère.

#### **Bitume plastomère**

Bitume modifié par addition de polymère(s) dont la composition chimique et les conditions de fabrication ont été étudiées de telle sorte que le comportement du mélange soit celui du polymère.

#### **Caoutchouc ou élastomère caoutchouc**

Élastomère qui est déjà (cas des réticulés) ou peut être amené (cas des réticulables) à un état tel qu'il soit essentiellement infusible, et insoluble dans tout solvant, bien que susceptible de gonfler plus ou moins fortement dans certains solvants. Dans leur état réticulé ils présentent un comportement élastique ou quasi élastique.

NOTE Un élastomère caoutchouc, dans son état modifié, ne peut aisément être remoulé par chauffage et pression modérés ; Lorsqu'il ne contient pas de diluant, il revient en 1 min, à mois de 1,5 fois de sa longueur initiale après avoir été étiré à température normale (18°C à 29°C) pendant 1 min au double de sa longueur initiale.

#### **Elastomère thermoplastique**

Polymère à réaction essentiellement élastique dans le domaine des basses températures (fonctionnement) mais à réaction plastomère dans le domaine des hautes températures (transformation).

#### **Elasticité**

Propriété qu'ont certains corps de reprendre leur forme et leurs dimensions initiales quand la force qui les déformait a cessé d'agir.

#### **Limite élastique**

Contrainte mécanique la plus grande qu'une matière puisse supporter sans qu'une déformation relative permanente subsiste, après la suppression totale de la contrainte.

#### **Viscoélasticité**

Comportement très général d'un matériau, intermédiaire entre un état purement élastique et un état purement visqueux ; ce comportement est fonction de la température, de la charge elle-même, de sa vitesse et de sa durée d'application.

#### **Plasticité**

Tendance d'une matière à rester déformée après réduction de la contrainte déformante à une valeur inférieure ou égale à celle de son seuil d'écoulement.

#### **Seuil d'écoulement - pseudo seuil d'écoulement**

Premier point de la courbe contrainte-déformation pour lequel se produit une augmentation de la déformation sans augmentation de la contrainte.

#### **Emulsion**

Système hétérogène constitué par la dispersion de fins globules d'un liquide (phase discontinue) dans un autre liquide formant la phase continue.

#### **Plastifiant**

Substance de volatilité faible ou négligeable incorporée à un plastique, destinée à abaisser son intervalle de ramollissement, faciliter sa mise en œuvre et augmenter sa flexibilité ou son extensibilité.

### **DESIGNATION CHIMIQUE**

#### **Bitume oxydé**

Aussi appelés bitumes soufflés, ils sont obtenus à partir de bitumes de pénétration, par adjonction d'huiles et insufflage d'air à haute pression. Ils entrent dans la fabrication de

membranes pouvant servir de sous-couche aux membranes bitumineuses d'étanchéité, et servent au collage à chaud.

#### **Bitume modifié par des polymères**

Liant bitumineux dont les propriétés ont été modifiées par l'emploi d'un agent chimique, qui, introduit dans le bitume de base, en modifie la structure chimique et les propriétés physiques et mécaniques.

#### **Polyoléfine**

Famille de polymères produits à partir d'oléfines pures (polyéthylène, polypropylène) ou à partir de leurs mélanges avec d'autres monomères (copolymères) ; le (les) monomère(s) oléfinique(s) constitue(nt) la principale partie en masse.

#### **Polyéthylène**

Polymère de l'éthylène. C'est un polymère constitué uniquement de carbone et d'hydrogène, de structure globalement linéaire, saturé, et sans substitution.

#### **Polyéthylène haute densité (PEHD)**

Les géomembranes PEHD sont des géomembranes thermoplastiques avec une masse volumique typique de 940 kg/m<sup>3</sup>. Cette masse volumique est relative à tout le composé étanche (PEMD et tous les additifs, y compris le noir de carbone). Le PEMD utilisé dans les géomembranes PEHD a une masse volumique de l'ordre de 926 à 939 kg/m<sup>3</sup>. Par conséquent, la présence de noir de carbone augmente la densité de la géomembrane.

Exemple : 2% de noir de carbone augmente la masse volumique d'une géomembrane PEHD de 9 kg/m<sup>3</sup>. Ainsi, un polymère PEMD avec une masse volumique de 932 kg/m<sup>3</sup> et 2% de noir de carbone donne une géomembrane PEHD avec une masse volumique de 941 kg/m<sup>3</sup>.

#### **Polypropylène flexible (PP-F)**

Polymère du propylène, uniquement constitué de carbone et d'hydrogène, de structure linéaire, saturée, comportant un radical méthyle sur un carbone sur deux de la chaîne. Le polypropylène flexible se différencie du polypropylène par l'adjonction d'élastomère éthylène-propylène qui lui confère sa grande flexibilité.

#### **Éthylène – Propylène – Diène – Terpolymère (EPDM)**

Terpolymère à base d'éthylène, de propylène et de diène ; la chaîne de polymère comportant des sites insaturés permet une vulcanisation éventuelle.

#### **Copolymère styrène, butadiène, styrène (SBS)**

Copolymère fabriqué à partir de styrène et de butadiène : c'est un élastomère thermoplastique du fait de l'agencement particulier, par séquences, des monomères styrènes et butadiènes dans la chaîne (polymère bloc) ; il est très utilisé pour la fabrication de bitumes élastomères.

#### **Polychlorure de vinyle (PVC)**

Polymère du chlorure de vinyle ; il est très utilisé pour la fabrication de géomembranes sous sa forme plastifiée (PVC-P).

#### **Copolymère d'isobutylène et d'isoprène (caoutchouc butyle)**

Copolymère obtenu à partir de 98 % d'isobutylène et 2 % d'isoprène ; la chaîne de polymère comporte des sites insaturés (isoprène) ce qui permet sa vulcanisation.

## Annexe B : Bibliographie et documents normatifs

### Bibliographie :

Géomembranes, Guide de choix, ROLLIN, A. ; PIERSON, P. ; LAMBERT, St., 2002, Presses internationales POLYTECHNIQUE, Montréal, 274 p.

Descriptions recommandées des Géosynthétiques, Fonctions, Terminologie des Géosynthétiques, Symboles Mathématiques et Graphiques, Version Française réalisée par N. Touze-Foltz et C. Barral, I.G.S., 2011, 32 p.

### Publications du CFG, Comité Français des Géosynthétiques :

N° 9 - Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans le renforcement des ouvrages en terre, CFG, 1990, 54 p

AVIS D'EXPERT du CFG, Le contrôle et ses enjeux dans les ouvrages impliquant la mise en place de matériaux géosynthétiques, 7 p.

Géosynthétiques et érosion, CFG, 2003, 128 p

Guide pour la réalisation de planches d'essais d'endommagement, CFG, 2001, 24 p

Recommandations pour l'emploi des Géosynthétiques dans les systèmes de Drainage et de Filtration, CFG, 54 p

Définition, mise en œuvre et dimensionnement des géosynthétiques, Le Moniteur, n° 5811, 2015, 40 p.

### Publications du CEREMA, Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement :

Étanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier, Guide technique, 2000, SETRA-LCPC, 95 p.

Étanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier, Guide complémentaire, 2000, SETRA-LCPC, 71 p.

### Publications de l'AFAG, Association Française des Appicateurs de Géomembranes :

VADE—MECUM de l'AFAG, 2008, 102 p.

### Publications de l'Irstea, Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture :

Géosynthétiques, un monde durable, SET Irstea n°8, 2012

Géosynthétiques, Petit histoire d'un transfert réussi, SET Irstea n°18, 2016

### Documents normatifs :

XP G38-067 juillet 2010 Géotextiles et produits apparentés, Stabilisation d'une couche de sol mince sur pente (en révision prNF G38-067)

NF P84-500 avril 2013 Géomembranes, Dictionnaire des termes relatifs aux géomembranes

NF P84-507 septembre 1996 Géomembranes, Détermination de la résistance au poinçonnement statique des géomembranes et des dispositifs d'étanchéité par géomembranes - Cas du poinçon cylindrique sans support.

NF EN 1109 juillet 2013 Feuilles souples d'étanchéité, Feuilles d'étanchéité de toiture

bitumineuses - Détermination de la souplesse à basse température

NF EN 1849-1 décembre 1999 Feuilles souples d'étanchéité, Détermination de l'épaisseur et de la masse surfacique - Partie 1 : feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses

NF EN 1849-2 mars 2010 Feuilles souples d'étanchéité, Détermination de l'épaisseur et de la masse surfacique - Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères

NF EN 12311-1 décembre 1999 Feuilles souples d'étanchéité, Partie 1 : feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses - Détermination des propriétés en traction

NF EN 12311-2 août 2013 Feuilles souples d'étanchéité, Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères - Détermination des propriétés en traction

NF EN 13249 + A1 juin 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des routes et autres zones de circulation (à l'exclusion des voies ferrées et des couches de roulement)

NF EN 13250 + A1 juin 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des voies ferrées

NF EN 13251 + A1 juillet 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les travaux de terrassement, fondations et structures de soutènement

NF EN 13252 + A1 mai 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les systèmes de drainage

NF EN 13253 + A1 juillet 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les ouvrages de lutte contre l'érosion (protection côtière et revêtement de berge)

NF EN 13254 + A 1 juillet 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de réservoirs et de barrages

NF EN 13255 + A1 mai 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de canaux

NF EN 13256 + A1 mai 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de tunnels et de structures souterraines

NF EN 13257 + A1 juin 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les ouvrages d'enfouissement des déchets solides

NF EN 13265 + A1 juillet 2015 Géotextiles et produits apparentés, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les projets de confinement de déchets liquides

NF EN 13361 novembre 2013 Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des réservoirs et des barrages

NF EN 13362 novembre 2013 Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des canaux

NF EN 13491 novembre 2013 Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des tunnels et ouvrages souterrains

NF EN 13492 novembre 2013 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 novembre 2013 Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des ouvrages de stockage et d'enfouissement de déchets solide

NF EN 15382	novembre 2013	Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques, Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les infrastructures de transport
NF EN 14150	octobre 2006	Géomembranes, Détermination de la perméabilité aux liquides
NF EN ISO 10318-1	mai 2015	Géosynthétiques, Partie 1 : Termes et définitions
NF EN ISO 10318-2	mai 2015	Géosynthétiques, Partie 2 : Symboles et pictogrammes
NF EN 1990	mars 2003	Eurocode 0, Bases de calcul des structures
NF EN 1997-1	juin 2005	Eurocode 7, Calcul géotechnique - Partie 1 : règles générales
NF EN 1997-2	septembre 2007	Eurocode 7, Calcul géotechnique - Partie 2 : reconnaissance des terrains et essais
ASTM D 4437	janvier 2001	Standard Practice for Non-destructive Testing (NDT) for Determining the Integrity of Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes / Note: Approved 2013

## Annexe C : Caractéristiques et performances minimales des géomembranes

Les caractéristiques indiquées ci-dessous sont des valeurs indicatives minimales (hors tolérance). L'adéquation entre ces caractéristiques et le projet restent à vérifier par le concepteur. Ces valeurs doivent être considérées comme des valeurs minimales en sortie de ligne de production (hors tolérance).

En ce qui concerne les assemblages, les valeurs indiquées sont les valeurs indicatives sur chantier et mesurées en laboratoire.

### *Géomembranes bitumineuses*

Caractéristiques moyennes minimales		Normes	Unités	Géomembranes bitumineuses			
Epaisseur		EN 1849-1	mm	3 à 3,79	3,8 à 4,49	4,5 à 5,19	5,2 et Plus
Poinçonnement statique (résistance à la force maximale)		NF P 84 507	N	300	440	500	530
Résistance en traction à la force maximale	SP*	EN 12311-1	kN/m	17	22	25	28
	ST**			11	19	22	24
Pliage à froid		EN 1109	°C	Bitume oxydé		0	
				Bitume modifié		-15	
Perméabilité		EN 14150	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /j	< 1.10 <sup>-5</sup>			
Soudage (Traction cisaillement) Résistance Facteur de soudage Mode de rupture		NF P84 502.1 NF P84 501	kN/m	13 0.8 Hors joint	16 0.8 Hors joint	18 0.8 Hors joint	20 0.8 Hors joint

\*SP : sens production

\*\*ST : sens travers

## *Géomembranes PEHD*

Caractéristiques moyennes minimales		Normes	Unités	Géomembranes en polyéthylène haute densité (PEHD)		
<b>Epaisseur</b>		EN 1849-2	mm	1,5 à 1,99	2,0 à 2,9	≥ 2,5
<b>Poinçonnement statique (résistance à la force maximale)</b>		NF P 84 507	N	470	600	800
<b>Résistance en traction au seuil d'écoulement</b>	<b>SP*</b>	EN 12311-2	kN/m	23	30	38
	<b>ST**</b>			23	30	38
<b>Perméabilité</b>		EN 14150	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /j	< 1.10 <sup>-5</sup>		
<b>Soudabilité (Traction pelage)</b>						
Soudure auto – Facteur de soudage		NF P84 501		0,7	0,7	0,7
Extrusion – Facteur de soudage		NF P84 501		0,6	0,6	0,6
Mode de rupture				Hors joint	Hors joint	Hors joint

\*SP : sens production

\*\*ST : sens travers

## *Géomembranes PP-F*

Caractéristiques moyennes minimales		Normes	Unités	Géomembranes en polypropylène flexible (PP-F)				
Epaisseur		EN 1849-2	mm	1 à 1,19	1,2 à 1.49	1,5 à 1.79	1,8 à 1.99	≥ 2
Poinçonnement statique (résistance au seuil)		NF P 84 507	N	125	150	175	210	240
Poinçonnement statique (déplacement au seuil)			mm	11				
Résistance en traction à 250 % de déformation	SP*	EN 12311-2	kN/m	6,0	7,0	8,5	10,0	11,0
	ST**			5,4	6,25	7,5	8,75	9,6
Perméabilité		EN 14150	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /j	< 1.10 <sup>-5</sup>				
<b>Soudabilité (traction pelage)</b>								
Soudure auto – Résistance		NF P84502-2 NF P84502-2		7	8	9	10	11
Soudure auto – Valeur mini individuelle				3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Soudure auto – Mode de rupture			Hors joint	Hors joint	Hors joint	Hors joint	Hors joint	Hors joint
Soudure manuelle – Résistance		NF P84502-2 NF P84502-2		5	6	7	8	9
Soudure manuelle – Valeur mini individuelle				3	4	5	6	7
Soudure manuelle – Mode de rupture			Pelage seul non autorisé	Pelage seul non autorisé	Pelage seul non autorisé	Pelage seul non autorisé	Pelage seul non autorisé	Pelage seul non autorisé

\*SP : sens production

\*\*ST : sens travers

## *Géomembranes PVC-P*

Caractéristiques moyennes minimales		Normes	Unités	Géomembranes en polychlorure de vinyle plastifié (PVC-P) – résistantes ou non aux UVs				
Epaisseur		EN 1849-2	mm	1,0 à 1,19	1,2 à 1,49	1,5 à 1,79	1,8 à 1,99	≥ 2
Poinçonnement statique (résistance à la force maximale)		NF P 84 507	N	220	264	330	396	440
Résistance en traction à 250 % de déformation	SP*	EN 12311-2	kN/m	13,0	15,6	19,50	23,4	26,0
	ST**			12,5	15,0	18,75	22,5	25,0
Perméabilité		EN 14150	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /j	< 1.10 <sup>-5</sup>				
<b>Soudabilité (traction pelage)</b> Soudure auto – Résistance Soudure auto – Valeur mini individuelle Soudure auto – Mode de rupture Soudure manuelle – Résistance Soudure manuelle – Valeur mini individuelle Soudure manuelle – Mode de rupture		NF P84502-2 NF P84502-2  NF P84502-2 NF P84502-2		6 4 Hors joint 4 3 Mode adhésif seul non autorisé	7 5 Hors joint 4 3 Mode adhésif seul non autorisé	8 6 Hors joint 5 4 Mode adhésif seul non autorisé	9 7 Hors joint 5 4 Mode adhésif seul non autorisé	10 8 Hors joint 6 5 Mode adhésif seul non autorisé

\*SP : sens production

\*\*ST : sens travers

## *Géomembranes EPDM*

Caractéristiques moyennes minimales		Normes	Unités	Géomembranes en Ethylène propylène terpolymère (EPDM)		
<b>Epaisseur</b>		EN 1849-2	mm	1,10 à 1,19	1,2 à 1,49	≥ 1,5
<b>Poinçonnement statique (résistance à la force maximale)</b>		NF P 84 507	N	115	130	150
<b>Résistance en traction à 250 % de déformation</b>	<b>SP*</b>	EN 12311-2	kN/m	5	6	6,5
	<b>ST**</b>			5	6	6,5
<b>Perméabilité</b>		EN 14150	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /j	< 1.10 <sup>-5</sup>		
<b>Assemblage (Traction cisaillement)</b>						
Résistance à 21 j		NF EN 12317-2	kN/m	4	4	4
Résistance à 48 h		NF EN 12317-2	kN/m	3,2	3,2	3,2

\*SP : sens production

\*\*ST : sens travers

## **Annexe D : Eléments d'aide à la rédaction d'un Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)**

**Pour plus de facilité, le document est téléchargeable directement sur le site du CFG : [www.cfg.asso](http://www.cfg.asso)**





[www.cfg.asso.fr](http://www.cfg.asso.fr)