



Ministère
de l'Équipement,
des Transports
et du Logement



ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANES DES OUVRAGES POUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT ROUTIER

GUIDE TECHNIQUE



Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Page laissée blanche intentionnellement

ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANES DES OUVRAGES POUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT ROUTIER



GUIDE TECHNIQUE

Novembre 2000

Document édité et diffusé par :



Le Service d'Étude Techniques des Routes et Autoroutes
46, avenue Aristide Briand - BP 100 - F-92225 BAGNEUX CEDEX
Téléphone : 01 46 11 31 31 - Télécopie : 01 46 11 31 69
Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>



Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, boulevard Lefebvre - F-75732 PARIS CEDEX 15
Téléphone : 01 40 43 52 26 - Télécopie : 01 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>

Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

- **1. Présentation** 7
- **2. Généralités** 11
- **3. Présentation des dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG)** 17
- **4. Elaboration du projet de dispositif d'étanchéité par géomembrane** 23
- **5. Spécifications sur les produits, les assemblages et les personnels** 45
- **6. Mise en œuvre** 51
- **7. Organisation des contrôles et gestion de la qualité** 59
- **8. Exploitation - entretien de l'ouvrage**
Prise en compte de la présence du DEG 65
- **Annexe 1**
Bibliographie et documents normatifs 73
- **Annexe 2**
Abréviations et glossaire 78
- **Annexe 3**
Spécifications des produits et joints 82
- **Annexe 4**
Programme de contrôles 89

AIDE A LA LECTURE DU GUIDE

- **Renvois bibliographiques** : Dans le texte, les numéros entre crochets correspondent aux documents mentionnés à l'annexe 1 "Bibliographie".
- les **abréviations** rencontrées dans le texte sont explicitées en annexe 2.1.
- un **glossaire** (annexe 2.2.) donne les définitions des principaux termes techniques spécifiques utilisés.

Chapitre 1 Présentation

- | | | |
|------|--|---|
| 1.1. | Objectifs de ce guide | 8 |
| 1.2. | Avertissement sur le cadre
d'utilisation de ce guide | 8 |
| 1.3. | Situations de ce guide par rapport
à d'autres documents concernant
l'utilisation de géomembranes | 8 |
| 1.4. | Place particulière des géocomposites
bentonitiques dans ce guide | 9 |

En application des dispositions des différentes lois et décrets sur l'eau et la protection de la nature, et en particulier **de la loi du 3 janvier 1992**, de nombreux projets routiers et autoroutiers comportent actuellement la réalisation **d'ouvrages de rétention des eaux de ruissellement** pour permettre leur transport, leur écrêtage et/ou leur traitement avant rejet dans le milieu naturel, afin de protéger les eaux superficielles ou souterraines.

Les ouvrages concernés sont des bassins, des fossés et cunettes, des talus, des accotements et terre-pleins centraux.

L'étanchement* de ces ouvrages ou parties d'ouvrages est souvent réalisé au moyen de **dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques : géomembranes et plus récemment géosynthétiques bentonitiques**. Ces techniques, qui utilisent des produits minces fabriqués en usine et assemblés sur chantier, constituent une solution relativement simple, en particulier pour les talus, par rapport à d'autres procédés d'étanchéité à partir de couches épaisses d'argile, bétons bitumineux ou hydraulique et qui ne font pas l'objet du présent GUIDE.

1.1. OBJECTIFS DE CE GUIDE

L'utilisation de géomembranes et géosynthétiques bentonitiques est relativement récente (respectivement 30 et 10 ans) par rapport à d'autres métiers plus traditionnels en génie civil et cette utilisation est encore plus récente dans le domaine des ouvrages pour eaux de ruissellement routier.

L'objectif de ce guide est de donner aux maîtres d'Ouvrages, Maîtres d'Oeuvres et Bureaux d'Études, pour une partie des ouvrages précités, des éléments de choix, des spécifications, des méthodes de dimensionnement, **pour définir les projets et établir les pièces de marché correspondantes**, et des recommandations pour **l'exploitation** des ouvrages comportant ce type d'étanchéité.

1.2. AVERTISSEMENT SUR LE CADRE D'UTILISATION DE CE GUIDE

D'une manière générale lorsqu'on traite d'un projet d'étanchéité d'ouvrage, on doit répondre successivement à deux questions : POURQUOI une étanchéité ? et COMMENT la réaliser ? Dans le cas présent, les réponses à la deuxième question dépendent étroitement des réponses à la première : par exemple, de quel type d'eaux polluées est-il question ? - pollution chronique et/ou pollution accidentelle - dans ce dernier cas, quelle est la durée souhaitable de rétention du polluant ? Les problèmes relatifs à la première question "**Pourquoi une étanchéité ?**", tout comme ceux liés à l'implantation, au principe de fonctionnement et au dimensionnement des ouvrages, **procèdent de la stratégie de protection des milieux naturels dans un contexte routier et ne font pas partie des objectifs du présent document** - ils relèvent d'autres documents à caractère réglementaire ou de recommandations, parus ou en cours de parution (**) et qui traitent spécifiquement de ces problèmes de pollution routière et des techniques de traitement correspondantes.

Ce GUIDE ne concerne donc **la conception, la réalisation et l'exploitation que du seul Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane (DEG)** et les aménagements et dispositions constructives de l'ouvrage directement en rapport avec le DEG.

1.3. SITUATIONS DE CE GUIDE PAR RAPPORT À D'AUTRES DOCUMENTS CONCERNANT L'UTILISATION DE GÉOMEMBRANES

■ **Actuellement**, en FRANCE, le **Fascicule 67.III du C.C.T.G.** [5] (*) pour **l'étanchéité d'ouvrages souterrains** est le seul document à caractère réglementaire concernant les géomembranes.

■ **Le Comité Français des Géosynthétiques** (C.F.G.) a édité en 1991 un Fascicule de recommandations générales [2] relatif aux Géomembranes puis en 1995 un Fascicule relatif à l'utilisation des Géosynthétiques (dont les géomembranes) dans les Centres de Stockage de Déchets [3] ; cependant, ces documents, dont le présent guide s'inspire largement, restent généraux et ne donnent pas de spécifications précises pour les caractéristiques des produits pouvant être utilisés, et ne sont pas spécifiques aux ouvrages routiers concernés par ce Guide.

* On utilise aussi les termes "étanchéisation" et "étanchéification"

(**) en particulier la série de documents L'EAU ET LA ROUTE du SETRA [1]

(*) Cahier des Clauses Techniques Générales applicables au Marché de Travaux Publics - Fascicule 67 - Titre III - 1992

1.4. PLACE PARTICULIERE DES GEOCOMPOSITES BENTONITIQUES DANS CE GUIDE

- **Les géosynthétiques bentonitiques (GSB) (**)** sont d'un développement assez récent en France et, pour conserver à ce GUIDE les objectifs précédemment décrits (**élaboration de spécifications**), il est apparu prématuré d'inclure ces matériaux dans la présente version, **qui n'est donc relative qu'aux Dispositifs d'Etanchéité par Géomembranes (DEG)**.
- **Cependant, pour familiariser le lecteur** avec ces produits en cours de développement et pour l'aider à les situer, dans l'état actuel des connaissances, par rapport aux géomembranes (notamment en cas de solution variante proposée par l'entreprise) **une information** est donnée dans le Document Complémentaire - Partie A. Son objectif est de mettre en évidence, de manière simplifiée, les différences fondamentales de conception, de caractéristiques, de mode de fonctionnement et d'utilisation de ces deux familles de produits d'étanchéité.

(**) abrégé en GSB
dans la suite du texte.

2.1. LA POLLUTION LIEE AU RUISSELLEMENT ROUTIER

Ce problème est décrit dans la série de fascicules " L'EAU ET LA ROUTE " du SETRA [1].

En résumé, on peut considérer plusieurs types de pollution :

- **une pollution CHRONIQUE**, relative au transport par les eaux de ruissellement pluviales des divers éléments existant sur la chaussée : résidus de pneumatiques, huiles, produits minéraux et organiques issus de l'usure de la chaussée, métaux lourds issus des émissions polluantes des véhicules, de l'usure ou de la corrosion d'équipements de la route ou d'organes de véhicules ; son traitement consiste à effectuer une ou plusieurs opérations : **écrêtement des débits**, décantation, déshuilage;
- **une pollution ACCIDENTELLE**, liée au déversement de produits chimiques, pouvant être particulièrement grave si des points d'alimentation en eau potable (A.E.P) se trouvent à proximité. Ces produits peuvent être très variés mais une grande proportion (75 %) est constituée par des hydrocarbures (carburants, fioul).

Dans ce cas, la prévention de la pollution passe par des dispositifs permettant la **réten**tion (**piégeage**) du produit polluant pendant un certain **temps** pour permettre sa récupération par pompage; ces dispositifs et leur gestion peuvent être plus ou moins compliqués, pour prendre en compte le fait que le déversement peut se faire par temps sec ou par faible ou forte pluie (Cf. [1] volumes 6 et 7) ;

- **une pollution SAISONNIÈRE** hivernale liée à l'épandage de produits de déverglaçage, principalement des chlorures ;
- **une pollution TEMPORAIRE**, liée aux travaux de réalisation de l'infrastructure.

2.2. NATURE ET FONCTIONNALITÉ DES OUVRAGES, PROBLÉMATIQUE DE LEUR ÉTANCHÉITÉ

2.2.1. Généralités sur les dispositifs de traitement des eaux pluviales et la problématique de leur étanchéité - analyse du document SETRA [1]

Dans le document du SETRA [1] précité (Volume 7), sont répertoriés et décrits sous forme de 30 fiches, l'ensemble des dispositifs actuellement utilisés pour le recueil, le transport et le traitement des eaux de ruissellement routier.

Il traite du choix des dispositifs de traitement des eaux pluviales en fonction des objectifs principaux poursuivis : traitement de la pollution chronique et/ou de la pollution accidentelle.

Les dispositifs sont classés par FONCTIONS :

- **Pour la pollution chronique** : épuration simplifiée, régulation hydraulique, décantation, déshuilage, filtration/infiltration
- **Pour la pollution accidentelle** :
 - piégeage (amont et aval) (**).

Pour certains dispositifs, le DOMAINE d'APPLICATION est indiqué en fonction de la VULNÉRABILITÉ DU MILIEU NATUREL, qui fait l'objet d'un classement " faible, moyenne ou forte "(*).

LE PRINCIPE D'ÉTANCHÉIFICATION DES OUVRAGES EST RETENU :

- **si la vulnérabilité du milieu naturel récepteur** est MOYENNE ou FORTE,
- **si la fonction de piégeage** (**) d'une pollution **accidentelle** est nécessaire,
- **pour les bassins en eau** où, par définition, le mode de fonctionnement de l'ouvrage nécessite la présence d'une lame d'eau permanente.

Plusieurs TYPES D'OUVRAGES (ou parties d'ouvrages) remplissent une ou plusieurs des fonctions précitées et un ou plusieurs des critères précités justifiant un ÉTANCHEMENT : **fossés de rétention, accotements et terre-plein central, bassins de stockage et de piégeage**.

[1] L'EAU ET LA ROUTE
(SETRA)
Cf. détail en Annexe 1.

(*) La définition de ces classes de vulnérabilité se trouve dans le Document [1] (volume 2) "L'élaboration du projet".

(**) Les termes rétention et confinement sont également utilisés dans le présent guide.

Analyse du document SETRA [1]

Lorsque l'étanchéité est recherchée et si le sol support a une perméabilité supérieure à 10⁻⁷ m/s, un dispositif d'étanchéité doit être mis en place ; parmi les solutions d'étanchement possibles (béton, argile compactée sur 30 cm) sont également cités les GÉOMEMBRANES et les GÉOSYNTHÉTIQUES BENTONITIQUES.

A noter que le niveau minimal d'étanchéité assigné comme objectif aux dispositifs d'étanchéité par géomembrane présentés dans le présent GUIDE et définis au chapitre 2.4. correspond sensiblement à cette couche d'argile compactée de 30 cm d'épaisseur, à perméabilité $k = 10^{-9}$ m/s, bien que les performances réelles des dispositifs d'étanchéité par géomembrane sont nettement supérieures.

Analyse du document SETRA [1]

Les produits et systèmes d'étanchéité ne sont pas décrits de manière détaillée, mais le document donne une orientation quant aux fonctions à assurer dans le cas de piégeage de pollution accidentelle : " L'efficacité de l'étanchéification doit correspondre à l'objectif initial, c'est à dire permettre la **rétenion d'un polluant liquide pendant toute la durée d'intervention, soit une dizaine de jours** " .

*A noter que, dans le présent GUIDE, c'est une **durée d'intervention maximale de 3 jours** qui est retenue pour l'évacuation du produit chimique piégé (**essence Super Sans Plomb**), ceci pour illustrer un cas-type assez représentatif - cependant la résistance de la géomembrane aux hydrocarbures à 10 jours et 1 mois sera précisée par le fabricant ce qui permettra au maître d'œuvre de choisir avec discernement.*

2.2.2. Nature et fonctionnalité des ouvrages

Comme indiqué au § 1, ce guide ne concerne que le DEG et non la définition et le dimensionnement des ouvrages eux-mêmes. Pour ceux-ci, on se reportera aux documents [1] et [6].

Il s'agit généralement d'ouvrages en terre, quelquefois avec des parties en béton :

2.2.2.1. Ouvrages de rétention

■ **Ils assurent** une ou plusieurs des fonctions suivantes :

- confinement momentané (appelé aussi rétention ou piégeage) des produits polluants (pollution accidentelle),
- traitement de pollution chronique (décantation, déshuilage),
- régulation de débit (écrêtage).

■ **Ce sont des bassins étanches** placés dans des zones où le milieu récepteur est vulnérable, pour prévenir une pollution accidentelle massive alors que la pollution chronique peut ne pas présenter de risque majeur pour le milieu (dilution importante); ils sont placés entre l'ouvrage de collecte et le milieu récepteur.

- Il s'agit généralement de bassins mais des fossés ou des canaux peuvent avoir cette fonction.
- En cas d'accident les eaux polluées sont piégées dans le bassin et lorsque la totalité du polluant est retenue, la dérivation (si elle existe) est mis en service ; le polluant est alors évacué par pompage, qui est effectué rapidement (quelques heures à quelques jours en fonction du type de déversement et du contexte local).

■ **Dans certains cas**, une couche de fond végétalisée permet de ralentir les flux polluants ; nous verrons que cette disposition a également une fonction intéressante de structure de protection de la géomembrane.

Le dispositif d'étanchéité par géomembrane comporte ou non une structure de protection.

2.2.2.2. Ouvrages de collecte

■ **Il s'agit des fossés et cunettes** qui assurent une fonction de collecte et de transport des eaux de ruissellement. Ils permettent d'évacuer les eaux de plate-forme vers l'ouvrage de rétention.

Une cunette est un ouvrage large et peu profond généralement situé en pied de talus de déblai. Le fossé, triangulaire ou trapézoïdal, est plus profond, revêtu ou non, généralement en pied de talus de remblai.

Pour être efficaces en ce qui concerne la pollution chronique, les ouvrages sont végétalisés. Dans le cas de pollution accidentelle, ils permettent par temps sec de ralentir le flux polluant et donc d'en faciliter la récupération.

OBJECTIFS POURSUIVIS :

1 L'OBJECTIF D'ÉTANCHÉITÉ assigné au DEG s'exprime en termes de flux ; sous **3 mètres d'eau, le flux d'eau** à travers le dispositif doit être **inférieur à 1 l/jour/m² pendant toute la durée de garantie.**

- Ce **flux maximum** correspond sensiblement aux objectifs d'étanchéité proposés par le document SETRA [1] et présentés au § 2.2.1. de ce Guide (couche compactée de 30 cm d'argile). A noter que, dans le document [1], les objectifs ne sont pas décrits quantitativement ; nous avons opté à titre de référence pour une couche d'argile de perméabilité 10^{-9} m/s sur 30 cm d'épaisseur et sous 3 mètres d'eau.
- La géomembrane elle-même a des performances d'étanchéité nettement supérieures à ce seuil, comme précisé au paragraphe 3.4., mais ce seuil maximum de flux de **1 l/j/m²** spécifié intègre les **éventuelles fuites localisées aux assemblages entre lés** de géomembrane, aux **raccordements de celles-ci aux ouvrages béton et au vieillissement** du DEG pendant les 10 ans de garantie.
- Globalement, on peut estimer que l'objectif assigné peut être considéré comme un objectif minimum pour un ouvrage étanché par un DEG, car la plupart des procédés correctement dimensionnés et installés peuvent atteindre des performances d'étanchéité 10 à 100 fois meilleures.
- Ce seuil correspond également au débit de fuite minimum en limite de ce qu'on sait mesurer par la méthode " remplissage/mesure de baisse de niveau d'eau " (*) et il a été admis qu'il convenait de ne pas exiger des niveaux de performance d'étanchéité qui ne seraient pas mesurables, en particulier dans le cadre de l'application de la garantie contractuelle. Si, pour des ouvrages particuliers, il est possible de récupérer et drainer à un exutoire, la majorité des fuites, celles-ci peuvent alors faire l'objet de mesures beaucoup plus sensibles (*) et de ce fait l'ouvrage peut faire l'objet de spécifications de débit de fuite admissible plus sévères.

2 CAPACITÉ DE RÉTENTION PROVISOIRE D'HYDROCARBURE

En cas de pollution accidentelle, le dispositif d'étanchéité peut se trouver en contact avec un certain volume de produits chimiques déversés et, si l'étude de protection du milieu naturel l'a défini, le dispositif doit être à même de le contenir jusqu'à l'opération de récupération ; cette fonctionnalité particulière de la géomembrane n'est actuellement pas facile à définir car ce problème est complexe, la durée d'intervention à prendre en compte dépend de la sensibilité du site, des possibilités de récupération du polluant dans le sol s'il a traversé le dispositif d'étanchéité, etc...

Actuellement, les avis divergent sur une définition standard de cette fonctionnalité et des caractéristiques correspondantes à donner à la géomembrane ; une proposition est faite dans ce document au § 4.4.2.1.d, mais elle sera à adapter, au niveau du projet, avec plus ou moins de sévérité, en fonction du contexte de l'ouvrage.

(*) Méthodes décrites
dans le Document
Complémentaire
Partie A-3.

Chapitre **3** Présentation des dispositifs d'étanchéité par Géomembranes (DEG)

3.1.	Généralités	18
3.2.	Définitions concernant les dispositifs d'étanchéité par géomembranes (D.E.G.)	19
3.3.	Exemples de dispositifs d'étanchéité pour bassins de ruissellement routier	20
3.3.1.	<i>En fond d'ouvrage</i>	20
3.3.2.	<i>Sur talus</i>	21
3.4.	La structure d'étanchéité par géomembrane	
	Présentation générale	22

3.1. GÉNÉRALITÉS

■ Un dispositif d'étanchéité à base de géomembrane (DEG) est un dispositif (voir définition normalisée au § 3.2.) qui :

- est étanche à l'eau :
 - ⇒ en partie courante,
 - ⇒ aux assemblages entre lés,
 - ⇒ aux raccordements (fixations) aux ouvrages en béton.
- doit conserver cette étanchéité compte-tenu des :
 - ⇒ Contraintes de service ; par exemple :
 - tassement du support, poinçonnement par les aspérités du support,
 - vieillissement climatique (UV, variations thermohygro-métriques).
 - ⇒ Contraintes d'exploitation ; par exemple :
 - confinement d'eaux de ruissellement polluées par des substances chimiques diverses (pollution chronique) ou confinement de substances chimiques pures (pollution accidentelle : par exemple, hydrocarbures),
 - contraintes mécaniques liées à l'entretien des bassins.

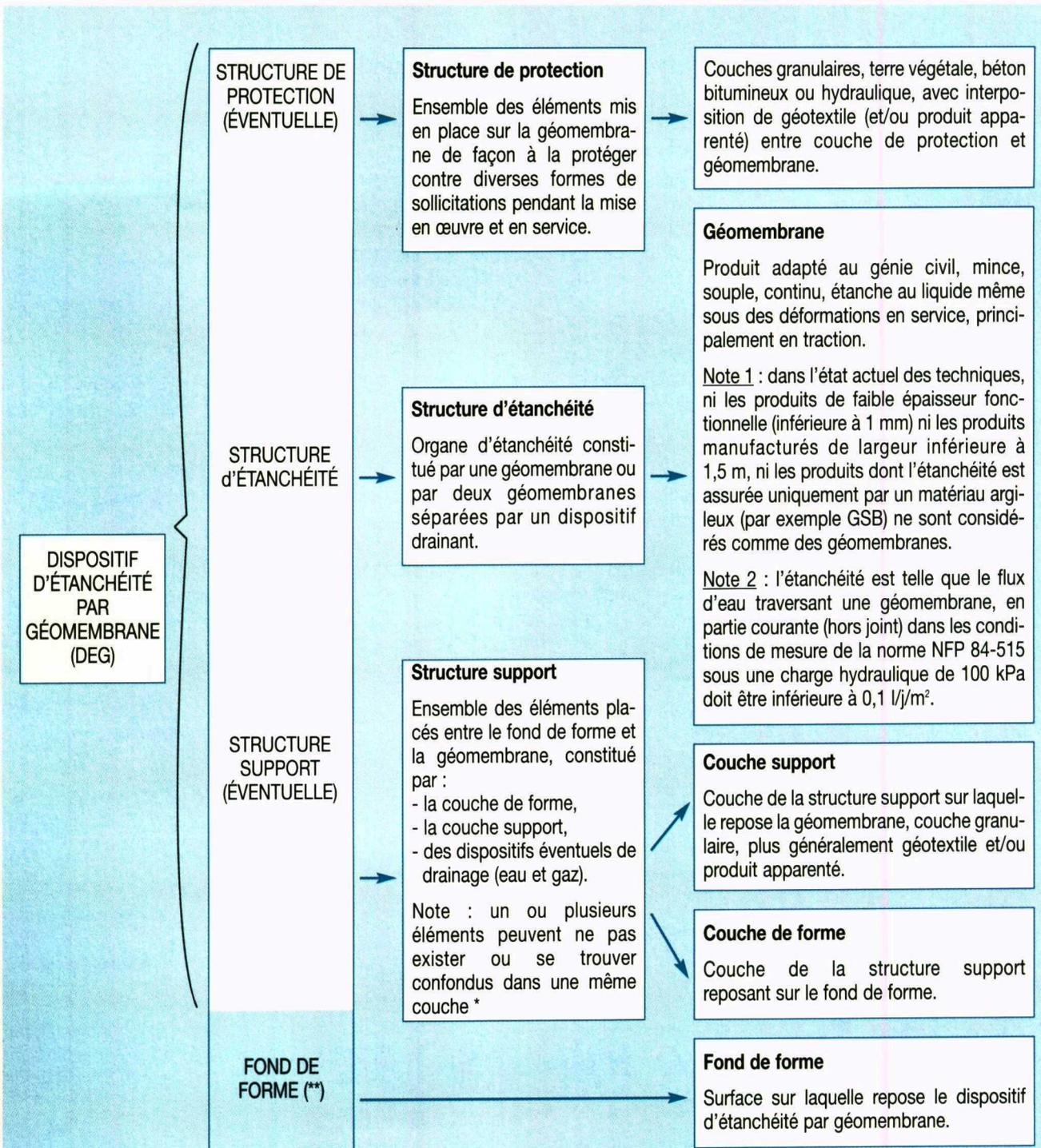
■ La perte d'étanchéité peut provenir

- D'une augmentation de la perméabilité intrinsèque de la géomembrane après vieillissement - phénomène peu probable tout au moins pendant la période de garantie (10 ans) compte-tenu de l'expérience acquise et des exigences d'étanchéité requises, somme toute modestes.
- Le plus fréquemment, d'une perte de continuité de la géomembrane ou de l'arrachement de ses fixations : fissures, déchirements, perforations qui se produisent du fait du vieillissement et/ou des contraintes de service et d'exploitation.

Une géomembrane peut rarement assumer à elle seule cette fonction d'étanchéité compte-tenu des différentes contraintes précitées et des différents autres critères à prendre en compte (Cf. 4.1.), c'est pourquoi elle est intégrée dans un **dispositif d'étanchéité par géomembrane** (DEG) comportant plusieurs structures ayant chacune une fonction, comme défini dans le paragraphe ci-après.

3.2. DÉFINITIONS CONCERNANT LES DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANES (DEG)

Ces définitions sont tirées de la norme NFP 84-500 (1998))



* dans le cas le plus simplifié et assez rare, le fond de forme peut constituer directement la structure support.

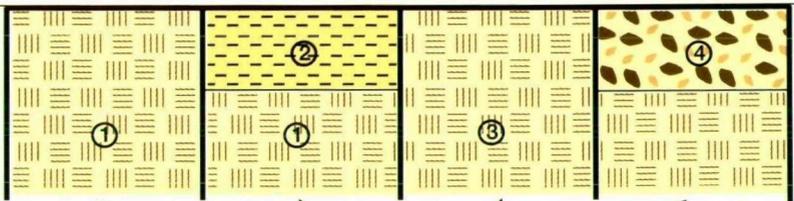
** appelé également "arase de terrassement "

Remarque : pour information, un tableau équivalent est donné en Document Complémentaire – Partie A-2 pour ce qui concerne les Dispositifs d'Etanchéité par Géosynthétiques bentonitiques (DEGB.)

3.3. EXEMPLES DE DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ POUR BASSINS DE RUISSELLEMENT ROUTIER

3.3.1. En fond d'ouvrage (inspiré du document [2] page 13).

STRUCTURE D'ÉTANCHÉITÉ SANS PROTECTION



Exemples de structure support

- ① Fond de forme sans géotextile (cas rare)
- ② Couche de sable sur fond de forme (avec ou sans géotextile)
- ③ Fond de forme et géotextile
- ④ Fond de forme, couche de forme (grave) et géotextile

STRUCTURE D'ÉTANCHÉITÉ AVEC PROTECTION

Exemples de structures de protection

- ① Grave traitée et géotextile
- ② Grave (roulée ou concassée) et géotextile
- ③ Béton de ciment (dalle préfabriquée ou coulée en place) ou béton bitumeux, et géotextile



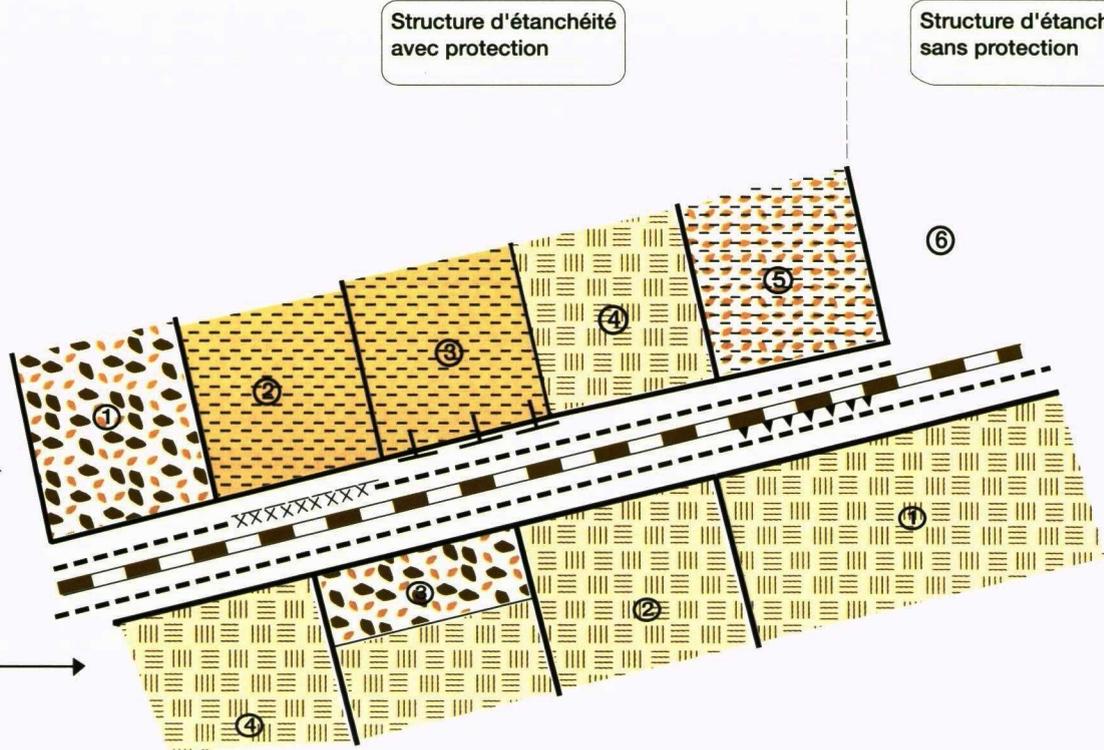
LEGENDE

- Géotextile
- ▬▬▬ Géomembrane

3.3.2. Sur talus

Structure d'étanchéité avec protection

Structure d'étanchéité sans protection



- Exemples de structures de protection**
- ① Grave traitée ou non ; géotextile
 - ② Terre végétale ; géosynthétique de drainage et/ou géotextile
 - ③ Terre végétale éventuellement stabilisée par géoconteneur ; géotextile et/ou géosynthétique de drainage
 - ④ Dalles de béton de ciment manufacturées ou coulées en place ; géotextile
 - ⑤ Béton bitumeux (sur rampes d'accès) avec ou sans géotextile
 - ⑥ Pas de protection

- Exemples de structures support**
- ① ② ④ Fond de forme ; géotextile
 - ③ Couche de forme ; géotextile

LEGENDE

- Géotextile
- ▬▬▬▬ Géomembrane
- ▬▬▬▬▬▬▬ Géomembrane à sous face texturée
- ┆┆┆┆┆┆┆┆ Géoconteneur
- xxxxxxx Géosynthétique de drainage (produit apparenté aux géotextiles)

Remarque : les appariements des diverses structures de protection et support apparaissant sur le schéma sont fortuits - toutes les combinaisons sont possibles.

3.4. LA STRUCTURE D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANE PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Remarque : une présentation détaillée se trouve dans le Document Complémentaire – Partie A-1.

■ **Définition** : Définition normalisée (NFP 84-500 – juin 1998) mentionnée au § 3.2 :

On a donc affaire à :

- des **produits minces** (1 cm maximum) ; 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 à 1 mm ; les films, dont l'épaisseur fonctionnelle est inférieure à 1 mm, ne sont pas des géomembranes ;
- des **produits souples** ; une couche de mortier de ciment ou une tôle métallique ne sont pas des géomembranes ;
- des **produits étanches** : Cf. en page ci-après la remarque sur la perméabilité des géomembranes ;
- des **produits présentant une continuité** entre eux par des assemblages étanches et ayant une bonne résistance mécanique ; un simple recouvrement des lés ou des nappes est exclu.

Un géocomposite bentonitique (GSB) n'est pas actuellement, considéré comme une géomembrane.

■ **Type de fonctionnement** :

Les **géomembranes** commercialisées actuellement sont essentiellement des produits **manufacturés** et transportés sur le site sous forme de lés de largeurs variables (de 1,5 m à 11 m) conditionnés en **rouleaux** ou en **nappes** (préassemblage en usine de lés) dont la surface peut atteindre 1000 m² (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 chantier ; la manipulation de ces produits de grande surface (jusqu'à plusieurs tonnes) nécessite alors des procédures et des matériels de manutention et de mise en œuvre adaptés au contexte du chantier (géométrie, accès).

Les géomembranes **fabriquées en place** ; elles sont obtenues par pulvérisation ou coulée sur le support de résines polymérisables ou de produits bitumineux ; elles sont actuellement très peu utilisées : l'intérêt certain de l'absence de joints d'assemblage étant largement diminué par la difficulté d'effectuer in situ des membranes d'épaisseur constante et parfaitement continues sur des supports irréguliers et ce dans des conditions économiques normales.

■ **Deux grands types et cinq grandes familles chimiques de géomembranes sont utilisées** :

Description dans le Document Complémentaire – Parties A-1.

- **géomembranes bitumineuses**
 - bitume oxydé ou bitume polymère ;
- **géomembranes en matériaux de synthèse**
 - PVC-P (polychlorure de vinyle plastifié), PEHD (polyéthylène haute densité), PP-F (polypropylène flexible), EPDM (élastomère éthylène-propylène diène monomère).

■ **Grande diversité de propriété et de comportement**

A cette diversité de familles chimiques, correspond une grande diversité de propriétés et de comportement. Dans le Document Complémentaire (Partie A-1.2), les caractéristiques des cinq grandes familles précitées sont comparées sur les plans mécanique, physique, inertie chimique, durabilité, comportement à la mise en œuvre, etc.

Chacune d'elles présente des avantages et inconvénients à prendre en compte au niveau du choix, comme précisé au paragraphe 4.4.3.

■ **Aspect physique**

Les géomembranes peuvent présenter des faces plus ou moins lisses, voire très rugueuses (texturées) ; ceci a une incidence directe sur la capacité de frottement avec les matériaux en contact (cas des talus).

■ **Remarques sur la perméabilité des géomembranes**

- **Le flux d'eau maximum** (0,1 l/j/m²) précisé dans la **définition normalisée** mentionnée ci-avant est fort par rapport aux performances réelles des géomembranes dans les épaisseurs spécifiées dans ce document ; dans les conditions de mesure de la norme (100 kPa soit 10 mètres d'eau), en partie courante (hors soudure) les flux habituellement mesurés sont généralement de 100 fois inférieur à celui spécifié dans la norme.
- A noter, comme cela est précisé dans le § 2.4, que ce qui est spécifié dans ce GUIDE, c'est le **niveau d'étanchéité global de l'ouvrage** (1 l/m²/j sous 3 mètres d'eau), comprenant donc également les fuites au droit des soudures et des raccordements aux ouvrages en béton et ce, pendant la durée de garantie (10 ans).

Chapitre 4 **Élaboration du projet de dispositif d'étanchéité par géomembrane**

4.1.	Analyse fonctionnelle du D.E.G.	24
4.2.	Exemples courants d'application de DEG	26
4.2.1.	<i>Cas des bassins - Géomembrane sur l'ensemble de l'ouvrage</i>	27
4.2.2.	<i>Cas des bassins - Géomembrane sur une partie de l'ouvrage</i>	28
4.2.3.	<i>Cas des fossés</i>	29
4.3.	Elaboration du projet	30
4.3.1.	<i>Etude hydrogéologique et géotechnique</i>	30
4.3.2.	<i>Prise en compte du mode de fonctionnement de l'ouvrage et de l'exploitation</i>	31
4.3.3.	<i>Prise en compte de caractéristiques particulières</i>	32
4.4.	Choix des composants du D.E.G.	34
4.4.1.	<i>Conception de la structure support</i>	35
4.4.2.	<i>Choix d'une géomembrane pour la structure d'étanchéité</i>	37
4.4.3.	<i>Choix d'une structure de protection de la géomembrane</i>	39
4.5.	Garanties	42
4.5.1.	<i>Nature et domaine d'application</i>	42
4.5.2.	<i>Durée et étendue</i>	43
4.5.3.	<i>Remarques sur le mode d'attribution des travaux</i>	43
4.6.	Éléments économiques	44

Comme indiqué dans l'Avertissement du chapitre 1, **ce document n'est pas un guide pour l'établissement du projet global d'assainissement routier** : rôle, définition et dimensionnement des ouvrages, règles générales de construction ; pour cela on se reportera aux documents spécialisés précités [1] et [6] :

L'objectif de ce document est d'aider le projeteur, à définir un dispositif d'étanchéité par géomembrane [DEG]. La définition optimale du DEG est essentielle pour avoir une bonne adéquation entre la fonctionnalité souhaitée (étanchéité) et les **différentes sollicitations en service** et ce, pendant la **durée de vie** souhaitée.

La définition du DEG doit donc être étudiée dès la conception de l'ouvrage, car elle est bien sûr liée à certaines caractéristiques générales de celui-ci et elle en est donc tributaire mais, réciproquement, peut également les faire évoluer - par exemple, les pentes des talus d'un bassin peuvent être plus ou moins imposées par l'implantation de l'ouvrage, elles-mêmes souvent imposées par d'autres considérations d'aménagement optimal de l'espace (boucles d'échangeur, par exemple), mais il faut savoir que cette géométrie aura une incidence sur les conditions de pose de la géomembrane et surtout sur la définition et le coût d'une structure de protection éventuelle (stabilité).

Le but de l'ANALYSE FONCTIONNELLE présentée ci-après est d'inventorier les contraintes diverses que doit subir le DEG et de définir les caractéristiques optimales correspondantes.

Les types d'ouvrages, de mode d'exploitation et d'étanchéité sont trop nombreux pour que l'analyse de chacun des critères à prendre en compte puisse être faite pour chacun d'eux.

Par simplification, on présente dans ce document des spécifications et recommandations relatives à un " **PROJET DE BASE** " correspondant à des cas courants.

Il appartiendra au maître d'œuvre d'adapter ces données à son projet, par exemple :

- exigence plus ou moins grande sur la nature des géomembranes (épaisseur, famille chimique) ou des structures support ou de protection ;
- études particulières concernant le drainage sous la géomembrane ou la définition des dispositifs de retenue des couches de protection granulaire en talus ;
- exigences plus ou moins fortes en ce qui concerne les conditions de rétention provisoire (piégeage) de polluant déversé accidentellement (nature du polluant, durée de rétention).

Les " **Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes** " du C.F.G. * [2] traitent des **problèmes généraux** à la fois de conception et de mise en œuvre des dispositifs d'étanchéité par géomembranes ; il est conseillé de relire entièrement ces fascicules avant d'aborder le présent document qui précise essentiellement les **points spécifiques** qui, par expérience, peuvent poser des problèmes lors des travaux d'étanchéité d'ouvrages hydrauliques et particulièrement ceux pour les eaux de ruissellement routier.

4.1. ANALYSE FONCTIONNELLE DU D.E.G.

Critères et contraintes du projet d'ouvrage influençant le projet d'étanchéité par géomembranes :

- **Type d'ouvrage** - fonctionnalité générale et fonctionnalité en cas de déversement accidentel.
- **Éléments relatifs à l'ouvrage et son implantation**
 - Localisation et géométrie
 - Hydrogéologie et géotechnique
- **Mode d'exploitation / entretien**
- **Intégration dans l'environnement**
- **Économie du projet - Conditions générales de réalisation**
- **Durabilité / garanties**

(*) C.F.G. : Comité Français des
Géosynthétiques
ex CFGG : Comité Français des
Géotextiles et Géomembranes)

Note : les préconisations détaillées correspondant à cette analyse fonctionnelle sont mentionnées dans les paragraphes 4.2. à 4.6.

NATURE DES CONTRAINTES	CARACTÉRISTIQUES NÉCESSAIRES DU DEG ou de l'OUVRAGE	OBSERVATIONS
<p>1. CONTRAINTES LIÉES À LA FONCTION ESSENTIELLE D'ÉTANCHÉITÉ</p> <p>1.1. Pour tous les cas</p> <p>1.2. Pour la pollution accidentelle</p> <p>1.3. Pour la pollution chronique</p> <p>1.4. Pour la pollution saisonnière (produits de déverglaçage)</p>	<p>ÊTRE ÉTANCHE A L'EAU (membranes et assemblages) (§ 2.4.) pendant la durée et dans les conditions de garantie (§ 4.6.)</p> <p>CONTENIR LE POLLUANT, principalement les hydrocarbures, JUSQU'À L'OPÉRATION DE VIDANGE (quelques jours) (§ 2.4)</p> <p>Avoir une bonne résistance aux HYDROCARBURES, HUILES et GRAISSES dilués (§ 4.4.3.d)</p> <p>Être insensible principalement à des solutions salines diluées (quelques grammes par litre) et plus rarement à des solutions diluées de produits organiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • tous les produits conformes à la norme terminologie relative aux géomembranes conviennent (§ 3.2. ; 3.4. ; 4.4.3.) • Résistance aux hydrocarbures à court terme de la géomembrane et de ses assemblages ; cette propriété sera nommée "capacité de rétention provisoire" (§ 4.4.3.1.d) • Ceci concerne la durabilité de la géomembrane et non sa fonctionnalité immédiate (§ 4.4.3.d). • A priori pas de problème pour les géomembranes.
<p>2. CONTRAINTES LIÉES A L'ENTRETIEN, L'EXPLOITATION ET LA SÉCURITÉ DES OUVRAGES</p>	<p>2.1. PROTECTION MECANIQUE DE LA MEMBRANE EN FOND DE BASSIN, pour permettre l'accès des engins de curage ou le nettoyage manuel sans endommagement de la géomembrane (§ 4.3.2.).</p> <p>2.2. ACCESSIBILITE FACILE A UN ENGIN EN TOUT POINT DE L'OUVRAGE SANS ENDOMMAGER LA GEOMEMBRANE : (§ 4.3.2.)</p> <p>- rampe d'accès au fond, passage en crête de talus, protections autour des ouvrages de vidange.</p> <p>2.3. DISPOSITIFS PERMANENTS permettant aux personnes et aux animaux tombés dans le bassin de pouvoir en sortir.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une résistance de la géomembrane au poinçonnement statique et dynamique du fait de la mise en œuvre et de la présence de la structure de protection. • Résistance à la déchirure des géomembranes pendant les opérations d'entretien.
<p>3. CONTRAINTES LIEES AU MODE DE FONCTIONNEMENT DE L'OUVRAGE</p>	<p>3.1. BASSINS " SECS " ; avec végétalisation du fond (§ 4.2.1.) :</p> <p>3.2. BASSINS " HUMIDES " avec lame d'eau : (§ 4.2.1.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une couche de protection de la géomembrane (§ 2.1. et 2.2. ci-dessus). • Dispositions constructives : protection de la géomembrane, en particulier en bas de talus ; en fond de bassin, structure de protection adaptée.
<p>4. CONTRAINTES LIEES A L'INTEGRATION DANS L'ENVIRONNEMENT</p>	<p>COUCHE DE TERRE VEGETALE SUR LES TALUS</p> <p>En plus de l'intégration dans l'environnement, cette couche permet également la protection contre le vieillissement climatique de la géomembrane et la suppression des problèmes de vandalisme sur celle-ci (Cf. § 4.4.4.1.).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • la géomembrane ne doit pas être endommagée du fait de cette structure de protection lors de sa réalisation et à long terme (poinçonnement, déchirement) (Cf. § 4.4.2 et 3) ; • un bon fonctionnement nécessite une stabilité garantie de la couche de protection sur la géomembrane. <p>Cette stabilité (absence de glissement) nécessaire à la pérennité de la géomembrane (absence de tension excessive) est assurée par un géotextile ou un géocomposite de drainage ancré en tête de talus et placé sur la géomembrane, de caractéristiques adaptées : (Cf. 4.4.3.3.).</p> <ul style="list-style-type: none"> • stabilité intrinsèque de la couche de la terre végétale (§ 4.4.3.3.)
<p>5. CONTRAINTES LIEES A L'IMPLANTATION DE L'OUVRAGE</p>	<p>Prise en compte de DONNEES DIVERSES qui peuvent être imposées par le contexte : •1 données climatiques (altitude) ; • 2 formes, dimensions, pentes de talus ; • 3 position par rapport à nappe phréatique et données géotechniques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Cf. § 4.3. • 2 Cf. § 4.3. • 3 Cf. § 4.3.1.
<p>6. CONTRAINTES ECONOMIQUES ET LIEES A LA REALISATION</p>	<p>■ INCIDENCE SUR LES PRIX DE DIVERS ELEMENTS DU PROJET</p> <ul style="list-style-type: none"> • incidence mineure : nature et épaisseur de la géomembrane • incidence majeure : <ul style="list-style-type: none"> - réalisation et nature d'une structure de protection (§ 4.4.4.) - aménagement et drainage du support (eau et gaz) (§ 4.3.1.) <p>■ AUTRES ELEMENTS A PRENDRE EN COMPTE</p> <p>délai, saison, accessibilité du site, présence simultanée de divers corps de métiers.</p>	<p>Ces paramètres ou dispositions constructives peuvent influencer sur le bon fonctionnement immédiat de l'ouvrage (par exemple, diminution du gonflement des géomembranes s'il y a un drainage des gaz), sur sa facilité d'exploitation ou sur la durabilité de l'étanchéité, mais elles ont un coût ; un aperçu des prix est donné au chapitre 4.6. Une structure de protection peut coûter plus cher que la structure d'étanchéité elle-même.</p>

4.2. EXEMPLES COURANTS D'APPLICATION DE DEG

Dans ce chapitre sont présentés, de manière non exhaustive, des schémas de principe pour certains cas courants.

■ Cas des bassins avec géomembrane sur l'ensemble de l'ouvrage (§ 4.2.1.)

- **Ouvrage sans caniveau central en béton** (§ 4.2.1.1.)
 - avec ou sans protection sur l'ensemble de l'ouvrage ;
 - protection éventuelle localisée en fond d'ouvrage ;
 - fonctionnement à sec ou avec une lame d'eau.
- **Ouvrage avec caniveau central en béton** (§ 4.2.1.2.)
 - protection de fond en béton dans laquelle est intégrée le caniveau ;
 - protection éventuelle en talus ;
 - caniveau central fonctionnant à sec ou avec une lame d'eau.

■ Cas des bassins avec géomembrane localisée sur une partie de l'ouvrage (§ 4.2.2.)

- **Géomembrane raccordée à un caniveau central en béton** (§ 4.2.2.1.)
 - caniveau fonctionnant à sec ou avec lame d'eau ;
 - le caniveau est une composante de l'étanchéité de l'ouvrage ;
 - protection éventuelle en talus et en fond.
- **Géomembrane localisée en talus et raccordée à une couche de matériau étanche en fond de bassin** (§ 4.2.2.2.)
 - ouvrages fonctionnant à sec ou avec lame d'eau ;
 - cunette centrale pour faible ruissellement ;
 - la couche de fond étanche en béton bitumineux ou matériaux argileux est une composante de l'étanchéité de l'ouvrage.

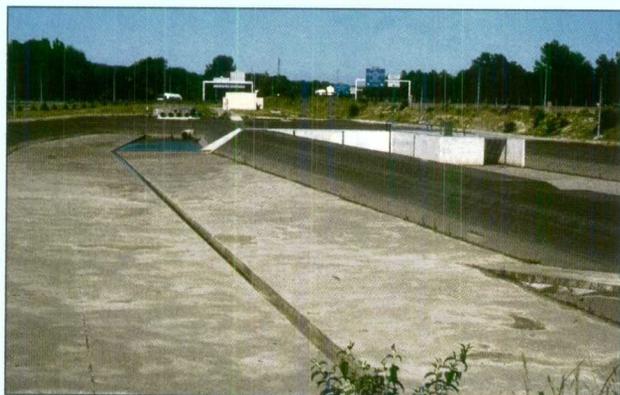
■ Cas des fossés (§ 4.2.3.)



Géomembrane non protégée en talus - protection de fond par couche granulaire.



Géomembrane non protégée en talus - protection granulaire en fond - faible lame d'eau semi-permanente.



Géomembrane sur l'ensemble de l'ouvrage - protection de fond en béton avec rigole centrale et rampe d'accès (à droite).

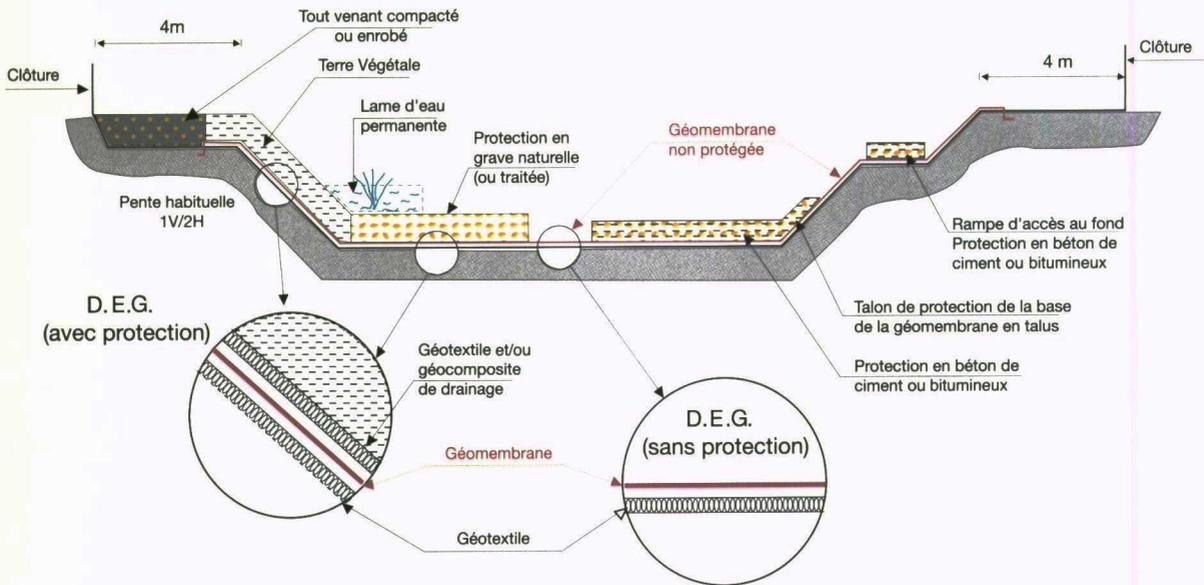


Géomembrane sur l'ensemble de l'ouvrage - protection du fond en béton.

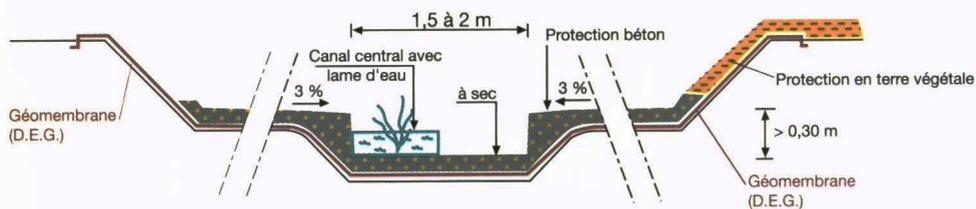
Avertissement : Les schémas ci-après sont des **schémas de principe** où les échelles ne sont pas prises en compte et où ne sont **pas représentés les détails d'exécution**.

4.2.1. Cas des bassins - géomembrane sur l'ensemble de l'ouvrage

4.2.1.1. Bassin classique (fonctionnement à sec ou avec une lame d'eau)



4.2.1.2. Bassin avec caniveau central (fonctionnant à sec ou avec lame d'eau)



NB : Dans ce cas, le caniveau est intégré dans la structure de protection en béton dès la réalisation de celle-ci.



Bassin linéaire - géomembrane raccordée à un canal central en béton - rampe d'accès au fond



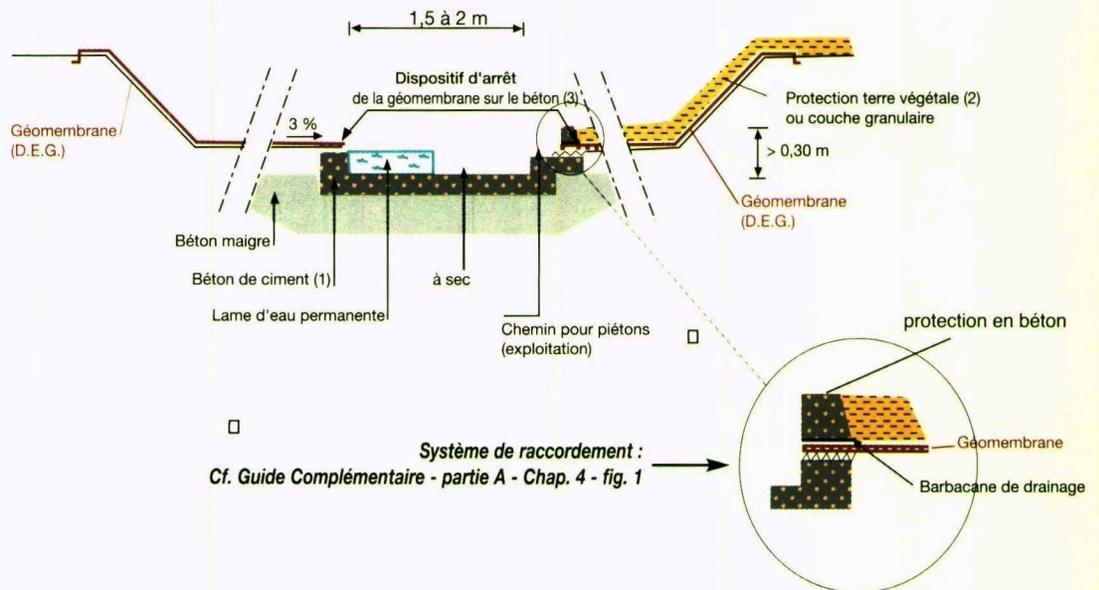
En haut, bassin de temps sec (ou faible pluie) ; en bas, grand bassin régulateur ; protection de la géomembrane en fond, par béton

4.2.2. Cas des bassins - géomembrane sur une partie de l'ouvrage ; mode d'étanchement mixte

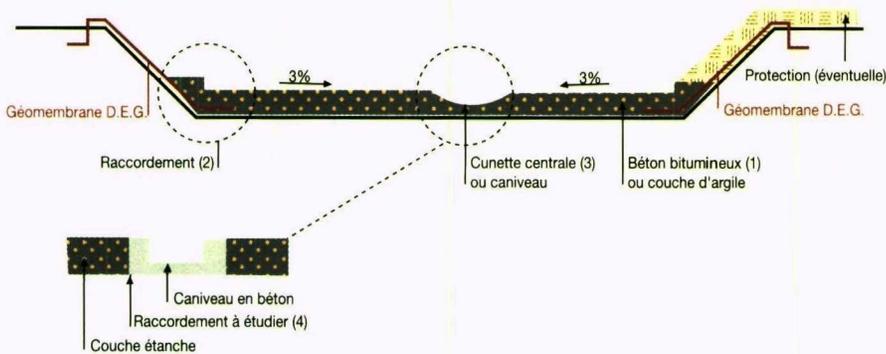
4.2.2.1. Géomembrane raccordée à un caniveau central en béton

Fonctionnant à sec ou avec lame d'eau - avec ou sans structure de protection de la géomembrane

- (1) Dans ce cas, le caniveau est un des éléments concourant à l'étanchéité de l'ouvrage ; des précautions sont donc à prendre quant à son étanchéité et à sa durabilité, en particulier pour la prévention de la fissuration : dimensionnement, composition du béton (éventuellement résistance au "gel + sel" et adjuvants), taux d'armature, mode de traitement étanche des joints de fractionnement. Ces différentes dispositions ne font pas l'objet du présent document.
- (2) S'il n'y a pas d'engazonnement des couches de protection en talus, prévoir si nécessaire un dispositif antirrosion de la couche granulaire pour éviter le colmatage du caniveau central.
- (3) Prévoir une protection mécanique du dispositif d'arrêt d'étanchéité.

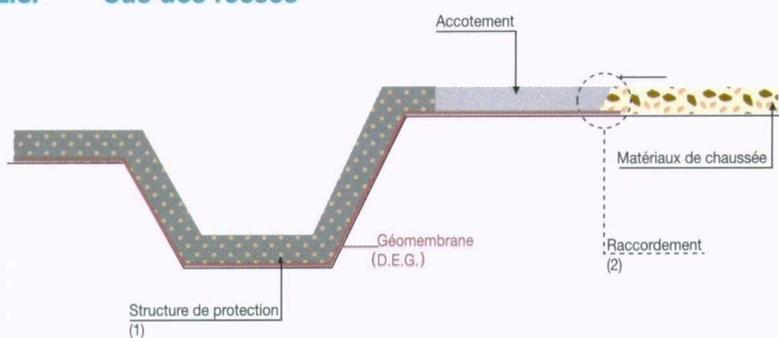


4.2.2.2. Géomembrane en talus et couche de matériau imperméable en fond



- (1) Dans ce cas, la couche en fond d'ouvrage est une composante essentielle de l'étanchéité de l'ouvrage et doit être définie et réalisée en conséquence (composition, épaisseur, compacité, mode de mise en place, raccords divers) (*).
- Différents types de matériaux étanches peuvent être envisagés : argile, béton bitumineux, béton hydraulique.
- (2) Le type de raccordement étanche est à étudier en fonction de la nature de la géomembrane et de celle de la couche étanche de fond ; par exemple, ce raccordement est facile lorsque les deux matériaux en présence sont bitumineux (*).
- (3) Dispositif qui permet de collecter les faibles ruissellements ; une cunette (faible profondeur par rapport à sa largeur) peut être réalisée lors de la mise en place de la couche étanche.
- (4) Dans le cas d'un caniveau en béton, il y a lieu de porter attention à l'étanchéité du raccordement entre caniveau et couche étanche.
- * Ces différentes dispositions ne sont pas traitées dans le présent document.

4.2.3. Cas des fossés



(1) Natures diverses possibles en fonction de la nature de la géomembrane : Grave traitée ou non, béton bitumineux, béton de ciment.

(2) Raccordement à étudier en fonction de la nature de la géomembrane et de celle des matériaux de chaussée.



Fossé écrêteur - protection granulaire de la géomembrane en fond

Etanchéité de fossés (le matériau de remplissage sera recreusé en 2^{ème} phase)



4.3. ELABORATION DU PROJET

4.3.1. Etude hydrogéologique et géotechnique

Note : Les aspects hydrogéologiques et géotechniques ne sont pas traités de façon détaillée dans ce GUIDE et on se reportera aux règles de l'art

ELEMENTS à PRENDRE EN COMPTE	INCIDENCE SUR LE DEG	ACTION à ENTREPRENDRE ou CARACTERISTIQUES à SPECIFIER *
<ul style="list-style-type: none"> ■ Support <ul style="list-style-type: none"> • Stabilité en talus • Portance du fond de forme (5) • Pentés de fond (7) 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté de réalisation de l'étanchéité. • Rupture de la géomembrane ou des joints • Mise en tension permanente de la membrane accélérant le vieillissement (surtout si cumulé avec poinçonnement). • Difficulté d'exploitation (plissement membrane) • Déstabilisation de la structure de protection 	<ul style="list-style-type: none"> • Compacité optimale en talus obtenue par la méthode de construction dite " talus excédentaire " si le bassin est construit en digue. • Traitement du sol en place ou apport de grave traitée aux liants hydrauliques ou grave naturelle (4). • Pente du talus compatible avec les matériaux constituant le support (6).
<ul style="list-style-type: none"> ■ Présence d'une nappe phréatique à proximité (1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Soulèvement localisé (gonflement) du DEG lors des remontées de nappe • Difficulté de réalisation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Drainage des gaz (et de l'eau) (3). • Poids de la structure de protection (3).
<ul style="list-style-type: none"> ■ Matières fermentescibles dans le sol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soulèvement localisé (gonflement) du DEG • Déstabilisation du support lors du pourrissement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Drainage des gaz et/ou élimination préalable des matériaux organiques.
<ul style="list-style-type: none"> ■ Arrivées d'eau latérales 	<ul style="list-style-type: none"> • Déstabilisation du support. 	<ul style="list-style-type: none"> • Drainage de l'eau (provisoire pendant les travaux ou définitifs) (2).
<ul style="list-style-type: none"> ■ Éléments à forme agressive 	<ul style="list-style-type: none"> • Poinçonnement statique et dynamique de la géomembrane 	<ul style="list-style-type: none"> • Couche granulaire fine. • Enlèvement des éléments agressifs • Géotextile antipoinçonnement.

* Ces actions sont précisées au § 4.4.2 et 6.1.

(1) D'une manière générale, il est fortement déconseillé de concevoir un bassin étanche recoupant nettement une nappe aquifère, avec un simple dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG). Dans un tel cas, il est préférable de s'orienter vers la conception d'un ouvrage de génie civil avec cuvelage en béton ou en parois périphériques étanches ; ces cas ne sont pas traités dans ce guide.

(2) A titre de prévention, il conviendra de réaliser au moins une ceinture drainante en fond de bassin (drain de pied), même en terrain sec, à condition qu'un exutoire en point bas existe.

(3) Le drainage des gaz, qui permettra de répartir les sous-pressions, ainsi que le poids de la structure de protection sont des éléments susceptibles de réduire les soulèvements (gonflement) mais ceci est à préciser par une étude ; si possible, bien séparer les drainages de l'eau et des gaz ou prévoir des pentes suffisantes (pour que le drainage des gaz fonctionne, il ne faut pas qu'il soit noyé) ; pour le drainage des gaz, prévoir des remontées en talus et des évents. Diverses solutions sont possibles : nappe drainante généralisée ou par bande, couche granulaire en tranchée, combinaison des deux systèmes.

(4) Dans ce cas, les géosynthétiques mis en œuvre sur cette couche doivent être compatibles avec le pH de cette couche.

(5) Tassement différentiel, par exemple à une limite déblai/remblai.

(6) Une pente de 2H/1V est un maximum conseillé à la fois pour la réalisation et la stabilité du support, la facilité de mise en place du DEG et la stabilité des structures de protection.

(7) Prévoir un pentage du fond de forme et de la structure support d'environ 2 à 3 % en longitudinal et 3 à 5 % en transversal (fonction de la largeur de l'ouvrage).

4.3.2. *Prise en compte du mode de fonctionnement de l'ouvrage et de l'exploitation*

4.3.2.1. *Prise en compte du mode de fonctionnement de l'ouvrage*

- **Bassins fonctionnant " à sec "** : une végétalisation du fond permet de ralentir la progression du flux polluant pour les faibles ruissellements et ainsi de disposer d'un temps plus grand pour l'obstruction de l'orifice de sortie en cas de pollution accidentelle.

Cette végétalisation nécessite une structure de protection de la géomembrane

- **Bassins " humides "** : ces ouvrages fonctionnent avec lame d'eau ; elle favorise la décantation, diminue le relargage et constitue une capacité tampon pour le transfert des flux polluants.

Ceci suppose :

- Une protection de la géomembrane en bas de talus (lors du faucardage).
- Une structure de protection ; elle doit être circulaire pendant les opérations de curage (Cf. 4.3.2.2.).

4.3.2.2. *Prise en compte de l'exploitation*

Les opérations d'entretien/exploitation sont décrites au chapitre 8. Leur efficacité conditionne la fonctionnalité même de l'ouvrage : celle-ci peut en effet être affectée si, par exemple, le curage des décantats n'est pas effectué, car alors, le volume utile de l'ouvrage est réduit et les risques de relargage augmentent.

L'efficacité des opérations d'entretien pour un coût donné est en relation étroite avec les moyens matériels pouvant être mis en œuvre ; en l'absence de zones circulables l'entretien peut néanmoins être assuré mais avec d'importants surcoûts : en effet, un curage par un engin accédant en fond de bassin est beaucoup plus économique qu'une opération de pompage par un engin positionné en crête de talus.

La mise en place de moyens matériels d'entretien donnés est évidemment directement fonction de l'ACCESSIBILITE, paramètre qui doit donc être pris en compte au niveau de la conception du projet.

Cette ACCESSIBILITÉ, qui doit être systématique, concerne :

- les abords périphériques en crête d'ouvrage (Cf. § 4.3.3.1.5.) ;
- les abords des ouvrages d'exploitation (vannes) où l'on ne doit pas marcher directement sur la géomembrane et donc celle-ci doit être protégée ;
- le fond du bassin, qui doit être accessible par une rampe d'accès ;
- une structure de protection en fond de bassin.

Accessibilité en fond de bassin

C'est un critère indispensable à l'exploitation et sa prise en compte au moment de la conception de l'ouvrage ne modifie pas de manière significative les coûts de construction.

Cette accessibilité au fond par un engin de curage est obligatoire pour les ouvrages de grande surface nécessitant des curages réguliers.

Cette accessibilité nécessite de prévoir une STRUCTURE DE PROTECTION de la géomembrane (voir nature de cette structure § 4.4.4.) **tant sur la rampe d'accès que sur le fond de l'ouvrage** ; cette structure de protection doit par définition **protéger** la structure d'étanchéité et être **" praticable "** (circulaire) en fond de bassin ; la circulation doit être possible même si la structure de protection est saturée d'eau (sinon prévoir un dispositif de vidange du bassin permettant le drainage de cette couche de protection).

En fond de bassin, il est recommandé de faire remonter cette structure de protection sur le bas du talus sur 40 cm au moins pour protéger mécaniquement, localement, la géomembrane de l'action de l'engin de curage (ou de faucardage) ; cette remontée peut être en béton de ciment ou béton bitumineux, en fonction du type d'étanchéité.

Ouvrages où la géomembrane est raccordée à un canal central en béton

Il convient de concevoir les arrêts de la géomembrane de manière telle qu'ils ne soient pas arrachés par le passage de l'engin de curage.

Les techniques d'entretien doivent donc être pressenties dès la conception du projet puisqu'elles influent notablement sur celui-ci ; si ce n'est pas le cas ou en cas de doute, il convient par précaution de prévoir a priori les dispositions mentionnées précédemment (rampe d'accès et praticabilité du fond) ; cela coûtera beaucoup moins cher que de les prendre en compte par la suite.

4.3.3. Prise en compte de caractéristiques particulières

4.3.3.1. Géométrie et topographie

■ Forme générale

Les bassins ont quelquefois des formes complexes du fait de leur intégration dans des infrastructures routières (échangeur). Cependant, pour faciliter la mise en place de l'étanchéité, la recherche d'une forme rectangulaire est très souhaitable ; cela diminue les découpes de géomembrane et réduit la réalisation d'assemblages avec points triples, toujours délicate. Ceci n'est pas forcément en accord avec les formes courbes recherchées dans le souci de l'intégration paysagère ou pour augmenter le trajet hydraulique.

■ Pente de fond

Une pente en fond de bassin longitudinale (2 %) et transversale (3 à 5 % en fonction de la largeur) est nécessaire pour les ouvrages fonctionnant à sec pour évacuer l'ensemble des eaux en fin d'épisode pluvieux et permettre un nettoyage ; pour les ouvrages avec lame d'eau, ceci permet un assèchement plus rapide dans le cas d'une protection granulaire facilitant ainsi la circulation lors des opérations d'entretien. La pente longitudinale ne doit pas être trop importante pour ne pas favoriser une érosion superficielle des couches de protection lors des vidanges de bassin.

■ Pente de talus

Il est difficile de travailler et de réaliser des assemblages fiables de membranes, avec des moyens classiques, surtout par temps humide, si la pente est supérieure à 1V/2H.

La valeur de la pente du talus induit également de nombreuses précautions, notamment au niveau du dimensionnement d'une structure de protection en terre (Cf. § 4.4.4.).

■ Altimétrie : niveau du fond de bassin par rapport à une nappe phréatique

Par définition, les ouvrages sont situés au point bas de l'infrastructure routière et leur fond peut être proche d'une nappe phréatique, ce qui peut générer de sérieux désordres dans la structure d'étanchéité (gonflement lors de la remontée de nappe) (voir § 4.3.1 - Étude géotechnique).

Il convient d'étudier soigneusement le drainage gaz (et eau) pour diminuer et/ou répartir la poussée correspondante (Cf. § 4.4.1.) ; dans les cas les plus sérieux, il faut envisager un lestage de l'ouvrage (au-dessus de la géomembrane) avec éventuellement des cheminées de décharge voire même l'ancrage d'un radier en béton dans le sol ; dans ce dernier cas, une étanchéité en film de résine sur radier est en concurrence avec la solution géomembrane.



... Très satisfaisant



Aménagements en crête de talus :

... Largeur insuffisante (l'engin a déchiré la géomembrane)

■ Largeur en crête

Indépendamment de la largeur minimale nécessaire à la tranchée d'ancrage de la géomembrane (Cf. Document Complémentaire – Partie B), une largeur d'environ 3 à 4 mètres est nécessaire pour permettre :

- d'exécuter convenablement la tranchée d'ancrage,
- la circulation des engins d'entretien (accès aux vannes, pompage, curage), en particulier dans les virages, sans endommager la géomembrane au niveau de son ancrage.

■ Rampe d'accès au fond

Élément indispensable pour l'accès au fond des engins d'entretien et de curage ; sur cette rampe, la géomembrane est obligatoirement protégée.

La structure de protection de la géomembrane doit être stable ; elle est généralement réalisée en béton de ciment ou en béton bitumineux (dans ce cas, prévoir une protection adaptée de la géomembrane (§ 4.4.3.2.).

■ Géométrie locale

Tous les angles de raccordement de la forme du bassin (support du DEG) seront arrondis avec un rayon de l'ordre de 30 à 50 cm : fond/talus, talus/crête, talus/talus, afin de faciliter l'évacuation des gaz éventuels, d'éviter les rétentions d'eaux localisées sous le DEG (accumulation d'eau d'infiltrations externes) et faciliter le contact en tout point entre la géomembrane et le support.

4.3.3.2. Dispositions particulières

4.3.3.2.1. Protection localisée du DEG

■ A l'arrivée des eaux

Dans un bassin fonctionnant à sec, il y a un risque important d'affouillement des structures de protection granulaires au droit des émissaires ; un renforcement superficiel par petits enrochements ou par dalles de béton est nécessaire sur une dizaine de mètres carrés.

Pour les autres ouvrages, la lame d'eau suffit généralement à dissiper l'énergie.

■ Autour des structures en béton de sortie des eaux (vidange)

Une protection de la géomembrane est nécessaire pour la **circulation des agents** chargés de l'entretien, d'autant plus qu'au droit de ces ouvrages, le support n'est pas très stable (Cf. § ci-après) ; une protection en béton sur une largeur d'un à deux mètres peut convenir.

4.3.3.2.2. Raccordement de la structure d'étanchéité aux ouvrages en béton d'entrée et de sortie des eaux et aux caniveaux centraux en béton.

■ Compactage du support - Zone de transition.

On note souvent des **affaissements** du support (souvent en matériau rapporté) adjacent aux ouvrages (ou tuyaux) en béton, entraînant rapidement ou à terme une déchirure soit de la membrane au ras de son dispositif de fixation soit l'arrachement du dispositif lui-même.

Il convient de soigner particulièrement le compactage du support sur ces zones ou, mieux, d'élargir le massif de béton maigre de fondation qui constituera une zone de transition, recouverte de 20 cm environ du matériau du site ; ceci permet de diminuer ou de supprimer les affaissements, particulièrement en talus où le compactage est plus difficile (schéma en Document Complémentaire – Partie A-4 – fig 5).

■ Géométrie des ouvrages en béton - Arrêts d'étanchéité sur ces ouvrages.

La conformation des ouvrages doit permettre de réaliser des dispositifs d'arrêt de la géomembrane faciles et fiables ; ceux-ci nécessitent des surfaces **de largeur** minimale variable suivant le type de géomembrane et le mode de fixation mais toujours **supérieure à 20 cm**, de formes simples et en évitant que la géomembrane soit en contact direct avec des angles droits rentrants ou saillants.

Il convient que le dispositif de raccordement (profilé ou autre) soit dans le même plan que celui de la géomembrane (pas d'angle saillant entre les deux).



Tassement du support près d'ouvrages en béton entraînant des déchirures de la géomembrane au droit des fixations.

Pour ces raccordements ainsi que ceux sur des tuyaux d'arrivée d'effluents, des détails sont donnés dans le document [2] et repris partiellement en Document Complémentaire A.4.

A noter que, pour une étanchéité réelle et globale de l'ouvrage, certaines parties d'ouvrages en béton fissurées ou fissurables (joints entre tuyaux, raccord entre tuyau et mur béton) doivent faire également l'objet d'un traitement d'étanchéité (film de résine, produit pour joint, ...).

4.3.3.2.3. Ancrage de la structure d'étanchéité en crête de talus.

Ce raccordement doit empêcher la géomembrane de glisser le long du talus et réduire son soulèvement en cas de vent.

Il se fait généralement dans une tranchée d'ancrage par un matériau pesant de remplissage (Cf. dimensionnement dans Document complémentaire partie B) ; il peut également se faire sans tranchée avec simple lestage par un matériau. Le document [2] donne des détails de conception et de réalisation.

Ce dispositif de tranchée sert également à ancrer les géosynthétiques de renforcement utilisés pour retenir les couches granulaires de protection et pour lesquelles les efforts à prendre en compte sont importants (Cf. Document Complémentaire – Partie B).

4.3.3.2.4. Divers

Les géomembranes utilisées présentent généralement des surfaces lisses et les animaux (voire les humains) tombés en fond ne peuvent gravir les talus.

Il convient de prévoir une (des) échelles de remontée en cas d'absence de rampe d'accès au fond du bassin.

4.4. CHOIX DES COMPOSANTS DU D.E.G

Descriptif général du DEG

	COMPOSANTS	FONCTION
<p>■ Structure support (Cf. § 4.4.1.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Couche granulaire • Géotextile Couche de sable • Géotextile ou géocomposite de drainage et/ou couche granulaire de drainage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Couche de forme et (ou) antipoinçonnante. • Antipoinçonnant • Drainage eau et/ou gaz (si nécessaire).
<p>■ Structure d'étanchéité (Cf. § 4.4.2.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Géomembrane 	<ul style="list-style-type: none"> • Etanchéité
<p>■ Structure de protection (§ 4.4.3.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Géotextile et/ou géocomposite de drainage • Protections diverses (couche granulaire, terre végétale, béton, etc) • Divers : <ul style="list-style-type: none"> - Géoconteneurs - Géocomposites de surface 	<ul style="list-style-type: none"> - Antipoinçonnant - Drainage (en talus) - Stabilité de la protection granulaire ou végétale en talus. - Protection mécanique, circulation - Esthétique - Protection contre le vieillissement et vandalisme. - Stabilité couche granulaire ou terre végétale (TV) - Antiérosion de couche granulaire (ou TV) de talus.

4.4.1. Conception de la structure support

Pour la définition de la structure support, se reporter à § 3.2. et au document [2].

4.4.1.1. Généralités

■ Ses trois principales fonctions sont d'assurer :

- la STABILITÉ nécessaire à la pose de la géomembrane et en service.
- la protection contre le POINÇONNEMENT de la géomembrane :
 - en cours de réalisation ;
 - en service.
- le DRAINAGE de gaz et/ou d'eau

■ L'étude hydrogéologique (drainage eau / gaz) ainsi que l'étude de mécanique des sols pour la stabilité des ouvrages ne font pas partie du champ du présent GUIDE.

■ Étude géotechnique

Ce document ne traite pas de l'étude géotechnique elle-même, pour laquelle on se référera aux règles de l'art correspondantes et, en particulier, au **Guide technique sur les terrassements routiers** (SETRA - LCPC) [7] "Réalisation des remblais et couches de forme" - septembre 1992.

Les objectifs à atteindre, qui sont à relier aux trois fonctions précitées, et les matériaux ou procédés permettant de les atteindre ont été déjà évoqués au paragraphe 4.3.

La stabilité de la structure support, est nécessaire :

- **à la pose de la géomembrane :**
 - pour la circulation des engins de manutention des rouleaux et nappes de géosynthétiques (poids pouvant dépasser 1 tonne) et des véhicules utilitaires légers de l'étancheur,
 - en talus, pour permettre la manutention des rouleaux et nappes et la stabilité à l'érosion,
 - en talus, pour permettre la réalisation de la structure de protection ;
- **en service : en talus et fond de bassin**
 - pour réduire les risques de tassement différentiel et éviter des mises en tension locales de la géomembrane (déchirure, poinçonnement) ou des joints (décollement par pelage, déchirure par cisaillement) ou des raccordements sur les ouvrages en béton (déchirures, arrachement).

Pour obtenir cette stabilité, l'étude géotechnique déterminera les paramètres permettant d'avoir :

- un niveau de compactage soigné,
- un niveau de portance suffisant.

Ces niveaux précisés dans le paragraphe 6.1.2. "Préparation des supports" ne sont donnés qu'à titre d'orientation pour le géotechnicien.

■ Le choix des composants dépendra de nombreux facteurs :

- facilité d'approvisionnement de tel ou tel matériau granulaire ;
- difficulté de mise en place sur certaines parties d'ouvrage : sable en talus par exemple ;
- importance respectueuse donnée à la fonction antipoinçonnement ou à la fonction drainage en fonction de l'agressivité du support et du site ; par exemple un géotextile conviendra bien pour la première ;
- couplage de divers composants : par exemple pour obturer les vides d'un support très ouvert (grave alluvionnaires 0/80) on peut utiliser une couche de fermeture / réglage (5 cm d'épaisseur moyenne) en matériaux concassés 0/20 surmontée par un géotextile.

■ Les composants utilisables ci-dessous peuvent remplir l'une ou l'ensemble des fonctions précédentes :

- couche granulaire : sable, gravier, grave naturelle concassée ou non 0/20 à 0/50 ;
- géotextile ;
- géocomposite de drainage.

La structure support peut être constituée du fond de forme lui-même après nivellement et compactage adapté, mais ce cas doit rester exceptionnel car :

- des aspérités, subaffleurantes et non visibles à l'origine, peuvent se révéler agressives lors des passages d'engins au cours de l'installation de la géomembrane ou des couches de protection, ou à plus long terme (tassement différentiel, réarrangement du sol). Même dans le cas de support en sable, il faut être certain de l'homogénéité de celui-ci et l'absence de corps étrangers si l'on souhaite de ne pas utiliser de géotextiles ;
- le géotextile constitue une couche anticontaminante qui, dans le cas d'un support en sols fins (limons), facilite grandement la réalisation des assemblages en maintenant un état de surface des géomembranes propre. Toutefois, du strict point de vue de l'"étanchéité", il est plus logique de mettre directement la géomembrane sur un support fin si celui-ci est peu perméable (réduction du débit de fuite éventuelle), sauf à rechercher un rôle drainant du géotextile (collecte des fuites).

4.4.1.2. Structure support - Choix d'un géotextile

- **Pour la fonction drainage** se reporter aux fascicules C.F.G. [2] et aux normes correspondantes (NFG 38061) – Annexe 1.
- **Pour la fonction antipoinçonnement**, le dimensionnement du géotextile dépend de l'agressivité du sol support, du type de géomembrane utilisé (nature, épaisseur, souplesse, etc.) et des charges permanentes que va supporter le dispositif.
- **Résistance en traction** : pour la fonction du géotextile dans la structure support, cette caractéristique n'est pas essentielle ; un minimum est cependant nécessaire, en particulier pour résister en talus au piétinement des ouvriers lors de la mise en place et de l'assemblage des géomembranes.
- **Nature des produits - dimensionnement** : En fonction de la **nature du support**, on définit trois **classes de résistance au poinçonnement** pour les géotextiles.

La description des supports correspondant à chaque **classe de résistance** et les spécifications techniques correspondantes pour les produits sont mentionnées au § 5.1.2. et en Annexe 3-2.



Gonflement de géomembrane en fond de bassin dû à un mauvais drainage de gaz.



Drainage de gaz sous la géomembrane par bandes de géocomposite.

Remarque :

Pour prendre en compte au mieux la macrorugosité des supports et toutes les formes complexes d'agression par poinçonnement (cisaillement / déchirement sur pointe de granulat par exemple), on utilise généralement des **géotextiles non tissés aiguilletés assez épais** (Masse surfacique de 300 à 600 g/m² et épaisseur sous 50 kPa supérieure à 3 mm) et déformables (déformation à l'effort maximum en traction de l'ordre de 50 %). Sur ce type d'ouvrage pour eaux de ruissellement routier, qui sont généralement de dimensions modestes, et s'il n'y a pas de considération de fonction drainage à prendre en compte, pour simplifier le projet on utilise généralement un seul type de géotextile qui sert **en fond de bassin, à la fois pour la structure support et la structure de protection** (donc sous et sur la géomembrane), **et en talus pour la structure support** (sous la géomembrane) ; par contre, **en talus la structure de protection (sur la géomembrane) nécessite un géotextile et/ou un géocomposite de drainage dimensionnés spécifiquement** (Cf. § 4.4.3.3.).

4.4.2. Choix d'une géomembrane pour la structure d'étanchéité

Les différents matériaux utilisables sont présentés au chapitre 3.4. et dans le Document Complémentaire – Partie A-1.

4.4.2.1. Cas général - Utilisation d'une géomembrane seule

■ Nature

On peut noter la très grande diversité de nature chimique et physique des produits disponibles, à laquelle correspond une grande diversité de comportement (Cf. Document Complémentaire – Partie A-1). A priori, tous les **types de géomembranes décrits en § 3.4. ont été utilisés et sont utilisables pour des étanchéités de bassins d'eaux de ruissellement routier** ; l'utilisation d'EPDM suscite cependant des réserves (Cf. § 4.4.3.1.d)

Les différentes familles de géomembranes présentent des particularités d'emploi ou des propriétés spécifiques, qui peuvent devenir des critères de choix (ou d'exclusion) en fonction du contexte, par exemple :

- l'EPDM présente une grande déformabilité à la pose et en service, même à basse température ;
- les PVC-P et les géomembranes bitumineuses sont faciles à souder ;
- si une forte résistance aux hydrocarbures concentrés et chimiquement agressifs est recherchée, il convient d'utiliser préférentiellement du PEHD et, à un niveau moindre, du PVC spécial ou du PP ;
- certains matériaux non décrits en § 3.4. parce que moins utilisés, souvent pour des raisons économiques (PVC armé, par exemple) peuvent s'avérer intéressants.

■ Epaisseur

Un autre critère de choix est celui de l'ÉPAISSEUR. Dans chaque famille de produit, plusieurs épaisseurs sont généralement proposées par le fabricant : 1 à 3 mm pour les thermoplastiques tels PVC, PEHD, PP ; 1 à 1,5 mm pour les élastomères (EPDM) ; 3 à 5 mm pour les bitumineux. **Pour une famille donnée**, les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques principales, la durabilité et les prix **varient beaucoup avec l'épaisseur** ; celle-ci est donc un **paramètre essentiel à préciser**.

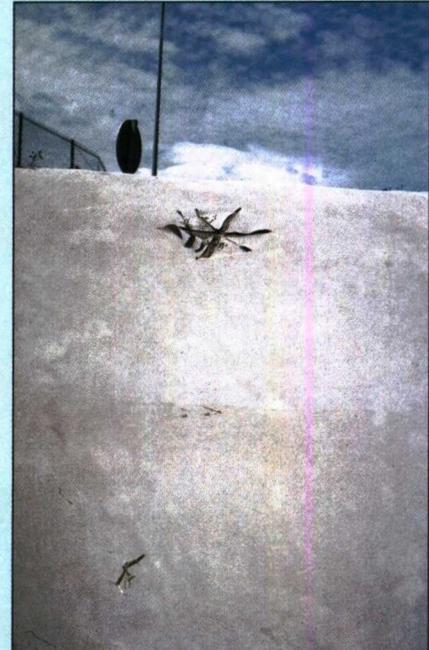
Nous n'avons **actuellement aucun moyen technique opérationnel permettant de comparer objectivement et globalement les performances d'une géomembrane de tel type et de telle épaisseur avec une autre géomembrane d'un autre type, de la même ou d'une autre épaisseur** ; quand bien même saurions-nous le faire sur le plan des caractéristiques mécaniques, nous ne saurions pas faire ces comparaisons sur le plan de la durabilité, ce qui est pourtant tout aussi important ; en effet, on peut toujours effectuer de manière comparative les essais usuels disponibles (traction, poinçonnement, ...) mais il est très difficile d'utiliser l'ensemble des résultats dans l'optique d'un classement performanciel global pour un usage donné (Cf. § ci-après).

De ce fait, nous préconisons de spécifier au niveau des appels d'offres, pour les cas courants, une ÉPAISSEUR sensiblement IDENTIQUE pour chacun des grands types de matériaux.

- 1,2 à 1,5 mm pour les géomembranes de synthèse (1,2 mm pour PVC-P et PP ; 1,5 mm pour le PEHD) ;

- 4 mm et 3,5 mm pour les géomembranes bitumineuses (oxydé ou polymère).

A noter que les épaisseurs préconisées ci-dessus sont sensiblement équivalentes à ce qui se pratique actuellement pour les cas d'utilisation courants, ce qui correspond aux objectifs de durées de vie et de garantie précédemment établis ; les épaisseurs préconisées sont un



Dégradation de géomembrane liée à un retrait dimensionnel anormal (vieillesse prématuré dû à un mauvais choix de produit).



peu supérieures au minimum (1 mm) exigé par la norme NF P 84-500 – l'épaisseur un peu supérieure pour le PEHD est justifiée par une difficulté de réaliser de bonnes soudures de manière régulière avec des épaisseurs plus faibles. A noter que pour tout type de géomembrane, des épaisseurs plus fortes améliorent l'ensemble des fonctions et en particulier la durabilité.

■ Caractéristiques à spécifier par famille chimique

Pour chaque famille chimique, les produits proposés dans le commerce peuvent être d'inégale qualité. Il convient donc de SPECIFIER UNE OU DES VALEUR(S) SEUIL(S) POUR UN CERTAIN NOMBRE DE CARACTERISTIQUES (Cf. Annexe 3-1).

A noter que ces valeurs sont destinées à sélectionner **un bon matériau dans une famille chimique donnée**, ce qui ne veut pas dire que l'on puisse se **servir de ces valeurs pour comparer deux matériaux de familles chimiques différentes** : par exemple, une bonne géomembrane PEHD doit avoir une déformation à la rupture supérieure à 600 %, ce qui ne veut pas dire pour autant qu'elle sera meilleure en service qu'une géomembrane PVC non armé ou une géomembrane bitumineuse pour lesquelles ces déformations seront respectivement de 250 % et 40 %.

■ Comportement vis-à-vis des hydrocarbures.

● Pollution chronique

Si la géomembrane n'a pas de structure de protection, elle doit présenter une bonne résistance aux hydrocarbures (huiles et graisses) dilués se trouvant :

- en surface de l'eau pour les bassins à lame d'eau permanente et pouvant affecter la géomembrane en talus sur une zone restreinte (10 à 20 cm) ;
- en fond de bassin, au contact des décantats (qui peuvent en contenir jusqu'à 1 g/kg), s'il s'agit de géomembrane sans structure de protection.

Ce problème concerne plus la DURABILITE (long terme) de la géomembrane que sa fonctionnalité immédiate. L'expérience montre qu'à l'échelle des durées de vie escomptées, cela ne semble pas poser un problème majeur quel que soit le type de géomembrane alors que leurs résistances respectives mesurées avec des hydrocarbures purs (non dilués) sont très différentes (Cf. Document Complémentaire A-1.3.). Un retour d'expérience plus important et la mise au point d'un protocole permettant de mieux évaluer la résistance aux hydrocarbures dilués permettra ultérieurement de mieux appréhender ce problème.

Pour des ouvrages très spécifiques tels deshuileur, pouvant contenir un volume non négligeable d'hydrocarbure concentré sur une surface restreinte, il est prudent d'utiliser une géomembrane à forte résistance chimique (PEHD par exemple).

● Pollution accidentelle

Une caractéristique fonctionnelle importante de la géomembrane est de pouvoir retenir un volume de quelques dizaines de mètres cubes d'un produit chimique déversé accidentellement sur la chaussée, pendant un certain temps (le temps de pouvoir récupérer le produit).

Les couples nature chimique du produit (donc agressivité vis-à-vis de la géomembrane)/durée de contact peuvent être variables et si l'on considère le cas d'un produit très agressif (solvant) à contenir pendant une longue durée (plusieurs semaines), cas très défavorable mais très rare, et donc heureusement peu représentatif, ceci aurait conduit à un choix très restreint de type géomembrane voir même un seul (PEHD).

Faute de réglementation actuelle dans ce domaine, nous avons retenu un cas statistiquement représentatif, d'**essence** super sans plomb (SSP) à retenir **pendant 3 jours, d'où la notion conventionnelle de " capacité de rétention provisoire d'hydrocarbures "**. Ceci permet d'utiliser la plupart des géomembranes commercialisées à deux réserves près (Cf. Document Complémentaire A-1.3).

- pour les géomembranes bitumineuses, présence d'un film polymère (antiracine) et renforcement des joints par un pontage spécial résistant aux hydrocarbures (à noter que des géomembranes plus résistantes sont en cours de développement),
- exclusivement des joints **vulcanisés** (assemblage à chaud en sortie de fabrication) en usine pour l'EPDM (bâches ou nappes préfabriquées, ce qui limite leur usage à des ouvrages de petite dimension, environ 1000 m²).

Comme précisé, il s'agit d'une approche conventionnelle et il appartient au maître d'œuvre, en fonction d'un contexte donné (type d'ouvrage et son environnement), de renforcer ou diminuer le niveau de ces

exigences - pour cela le fabricant doit préciser la résistance aux hydrocarbures de la géomembrane et de ses joints à 3 jours, à 10 jours et 1 mois (Cf. § 5.1).

■ Couple géotextile/géomembrane

Il est tentant et normal d'essayer de justifier une épaisseur moindre d'une géomembrane en augmentant l'épaisseur et/ou certaines caractéristiques du(des) géotextile(s) sus et sous-jacents; certaines propriétés comme la **résistance au poinçonnement statique** (poinçon pyramidal) sont en effet quasi additives, mais actuellement une réflexion est engagée sur la représentativité de cette seule caractéristique pour qualifier le couple géotextile/géomembrane et il est probable que, pour certaines contraintes de service, c'est la capacité de déformation du matériau lors de l'essai qui est probablement tout aussi importante que la résistance.

Pour le moment il n'est donc pas recommandé d'établir a priori des comparaisons entre couples géotextile/géomembrane au moyen de l'essai de poinçonnement statique ; tout au plus ceci peut être fait à l'intérieur d'une famille homogène de géomembrane.

Il est recommandé de s'en tenir aux spécifications des tableaux des annexes 3.1 et 3.2 concernant respectivement les géomembranes et les géotextiles.

Pour des chantiers importants (> 20.000 m² ou spécifiques), il est suggéré d'effectuer une planche d'essais permettant de juger du comportement réel de différents DEG avec les matériaux du site et le mode de mise en œuvre (compactage des supports, couches granulaires de protection) et donc de choisir les géotextiles antipoinçonnants les mieux adaptés.

4.4.2.2. Cas divers

Dans des cas particuliers où un niveau de protection très élevé est recherché, plusieurs procédés peuvent être utilisés :

- double étanchéité par géomembrane ; entre les deux géomembranes est disposé un géoespaceur qui facilite le drainage des fuites éventuelles dans la géomembrane supérieure et permet leur mesure et leur recueil en un point bas de l'ouvrage ;
- double étanchéité constituée par une géomembrane disposée sur un géosynthétique bentonitique ; dans ce cas, on profite d'une synergie de comportement de ces deux matériaux ; en particulier une fuite localisée dans la géomembrane supérieure devrait être arrêtée par le gonflement local du géosynthétique bentonitique inférieur.

Associés à des sous-couches d'argile épaisses (barrière d'étanchéité passive) ces deux dispositifs sont utilisés dans certains Centres de Stockage de Déchets (C.S.D.).

4.4.3. Choix d'une structure de protection de la géomembrane

4.4.3.1. Généralités

Pour les géomembranes, on rencontre actuellement tous les cas possibles depuis l'**absence totale de protection de la géomembrane jusqu'à la protection généralisée**.

Le cas **le plus courant est une protection en fond de bassin**, qui facilite l'exploitation de l'ouvrage, et l'**absence de protection en talus** ; CETTE DERNIÈRE EST D'UN COÛT DE REVIENT ASSEZ ÉLEVÉ, (voir § 4.6. Éléments économiques), ce qui retardera probablement son développement, malgré SON INTERET CERTAIN :

- pour la protection des membranes contre le **vieillessement climatique** (rayonnement UV et choc thermique) et donc l'augmentation corrélative de la durée de vie,
- contre le vandalisme,
- pour l'**intégration de l'ouvrage dans l'environnement**, en particulier pour des ouvrages périurbains.

■ **Pour les fonds de bassins** fonctionnant à faible lame d'eau et avec développement contrôlé de végétation (qui favorise le ralentissement d'un flux polluant traversant le bassin), la **protection** est souvent un **matériau granulaire** ; elle doit permettre une circulation de petits engins pour évacuer les décantats et faucher la végétation.

Pour les bassins fonctionnant à sec, la protection est soit un **matériau granulaire** soit une **protection en béton de ciment** (généralement avec incorporation de fibres de polymère ce qui permet de réduire la fissuration) ou en **béton bitumineux**, si la nature de la géomembrane le permet et si les engins de mise en œuvre peuvent accéder au fond.

■ **Pour les talus**, la protection est généralement réalisée en **terre végétale** afin de permettre un



Géomembrane en fond de bassin non protégée. L'entretien est difficile.

engazonnement mais elle peut être également en couche granulaire ; pour assurer la STABILITE de l'ensemble du DEG en talus (Cf. § 4.4.3.3.) des précautions sont indispensables au niveau **du dimensionnement**, en particulier pour **le géotextile (et/ou le géocomposite de drainage)** disposé entre la couche de terre et la géomembrane ; ceci conduit généralement à adopter des pentes de talus plus faibles qu'en l'absence de protection et provoque donc une perte de capacité du bassin (à emprise au sol équivalente). La stabilité peut être grandement améliorée à l'intérieur de la couche au moyen de **structures géosynthétiques de rétention des terres** (alvéoles, poches) et en surface par des dispositifs **antiérosion** (pour diminuer l'entraînement des fines d'une grave sableuse, par exemple).

■ **Dans tous les cas**, la géomembrane **ne doit pas être endommagée du fait de la présence** de la structure de protection **que ce soit lors de la réalisation** de celle-ci (poinçonnement dynamique, déchirure) **ou à long terme** (poinçonnement statique). L'utilisation d'un géotextile (et/ou géosynthétique de drainage) d'interface entre géomembrane et couche granulaire (ou terre) est donc indispensable ; ses

caractéristiques en fonction du contexte sont précisées au § 4.4.3.3, en 5.2. et en annexe 3-2.

4.4.3.2. Différents types de structures de protection (Cf. Tableau ci-dessous)

	NATURE DES TYPES DE PROTECTION	AVANTAGES / INCONVÉNIENTS	OBSERVATION
■ Fond	<ul style="list-style-type: none"> couche granulaire (30 cm) sur géotextile (2) couche béton de ciment fibré (12 à 15 cm) sur géotextile. divers (1) 	<ul style="list-style-type: none"> facilite l'entretien de l'ouvrage en protégeant la structure d'étanchéité. réduit les risques de soulèvement du DEG (gonflement) 	<ul style="list-style-type: none"> Fréquent
■ Talus	<ul style="list-style-type: none"> terre végétale (20 à 30 cm) renforcée ou non par géoconteneur, avec géotextile et/ou géocomposite de drainage entre terre et géomembrane (4). couche granulaire d/D divers (3) 	<ul style="list-style-type: none"> protège contre le vieillissement climatique (et le vandalisme). permet l'intégration à l'environnement protection du bas des talus lors de l'entretien. coût élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> Peu fréquent actuellement (mais en développement pour ouvrages périurbains).

(1) Autres types de protection envisageables en fond :

- couche de béton bitumineux :
 - bien adaptée à la protection de géomembrane bitumineuse ; pour les autres, considérer le plissement éventuel de la géomembrane, qui peut être gênant pour sa mise en œuvre ;
 - une protection thermique adaptée est nécessaire (géotextile polyester, tissu de verre, kraft, couche granulaire...);
- couche en grave traitée (grave-ciment par exemple) ;
- éléments préfabriqués en béton alvéolaire permettant l'engazonnement.

(2) Dans le cas où l'on utilise une protection granulaire non traitée, elle doit être PRATICABLE (circulable) lors des opérations d'entretien après vidange de l'ouvrage ; en fonction de la nature du matériau, (avec évacuation de l'eau drainée) peut s'avérer nécessaire mais être contradictoire dans certains cas avec la stratégie de piégeage d'un polluant accidentel par temps sec ou faible pluie. En fonction de divers paramètres (nature et caractéristiques du matériau et du type de circulation), on peut être amené à augmenter son épaisseur.

Une grille "avertisseur" peut être disposée au sein de la couche granulaire pour prévenir, en cas d'intervention sur celle-ci, de la présence de la géomembrane.

- (3) Autres types de protection envisageables en talus
- alvéoles de béton engazonnables,
 - pavés autobloquants sur géotextile,
 - béton hydraulique coulé en place.
- (4) En talus, du fait de la présence de la géomembrane (anti-remontée d'humidité du support), l'engazonnement de faibles épaisseurs de terre végétale peut s'avérer difficile en climat sec.

Conclusion : Le type de protection est très lié au mode de fonctionnement et d'exploitation de l'ouvrage et à son contexte environnemental.

4.4.3.3. Stabilité des structures de protection granulaires (ou terre végétale) en talus. Présentation du problème - analyse fonctionnelle des dispositifs permettant d'améliorer la stabilité (Cf. Document Complémentaire - Partie B).

C'est un problème important donnant lieu à **des déboires fréquents** (glissement de la structure de protection, déchirement de la géomembrane) si un certain nombre de paramètres ne sont pas pris en considération de manière adéquate.

- **La stabilité de la couche granulaire** (ou terre végétale) dépend :
- de la pente et de la longueur du talus,
 - de la cohésion du matériau de protection granulaire à l'état sec et saturé, et de son épaisseur,
 - du coefficient de frottement entre la couche de matériau de protection et la géomembrane et son géotextile de protection,
 - d'une pression hydraulique d'interstice (terre végétale).

■ **Dispositifs de stabilisation de la couche de protection granulaire**

Ils sont de natures physique et fonctionnelle variées ; selon leur situation par rapport à la couche de protection, on peut distinguer :

- **les géosynthétiques d'interface** entre géomembrane et couche granulaire (ou végétale) ; ces produits doivent reprendre partiellement ou totalement le poids de la couche de protection - il s'agit généralement **d'un géotextile et/ou d'un géocomposite de drainage** (quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur) ;
- **les géosynthétiques de confinement**, à l'intérieur de la couche granulaire (ou végétale) dits **géo-conteneur**, par exemple en nid d'abeille (épaisseur décimétrique) ; ils peuvent être indépendants ou liés au géosynthétique d'interface pour reprendre le poids de la couche de protection ;
- **les géocomposites (antiérosion) en surface de la couche de protection** qui permettent une aide contre l'érosion et/ou favorisent l'engazonnement : nattes, filets, "matelas" tridimensionnels (épaisseur de quelques millimètres à quelques centimètres).

■ **Analyse fonctionnelle et dimensionnement des dispositifs permettant d'assurer la stabilité à l'interface géomembrane / couche de protection granulaire.**

Dans le cadre de ce document, nous nous intéresserons uniquement au **dimensionnement des géosynthétiques d'interface**



Géomembrane protégée en fond de bassin par structure béton et en talus par de la terre végétale sur géocomposite.



Géomembrane en talus non protégée - protection en fond par structure en béton ; une légère remontée de celle-ci en talus aurait facilité l'entretien



Glissement d'une structure de protection en talus qui nécessite un bon dimensionnement. (vue du haut du talus)

entre la géomembrane et la couche granulaire (ou végétale).

- Le DEG est rarement conçu de façon à ce que la géomembrane supporte le poids de la protection ; c'est un géosynthétique interposé entre la géomembrane et la couche granulaire (ou terre végétale) qui va reprendre l'ESSENTIEL DES EFFORTS DUS AU POIDS DE CELLE-CI.
- Ce géosynthétique devra également éventuellement DRAINER la base de la couche de protection (en fonction de la nature de celle-ci) de façon à assurer sa stabilité lorsqu'elle est saturée (dégel ou fin d'un épisode pluvieux important, vidange rapide).
- Ce géosynthétique aura également UN RÔLE D'ÉCRAN ANTIPOINÇONNANT entre la couche granulaire et la géomembrane ; le niveau de performance est celui demandé aux autres géotextiles antipoinçonnants utilisés dans l'ouvrage (fonction des matériaux en contact).
- DÉFORMATION À L'EFFORT MAXIMAL LIMITÉE (< 50 % et généralement moins). De trop fortes déformations sont en effet nuisibles à la stabilité de la couche de protection.

Pour assurer ces trois fonctions, le géosynthétique d'interface devra avoir des **caractéristiques appropriées** :

- **RÉSISTANCE EN TRACTION** (dans le sens de la pente),
- **TRANSMISSIVITÉ ET PERMÉABILITÉ** (pour assurer éventuellement le drainage de la base de la couche de protection).

Le dimensionnement optimisé de ce(s) géosynthétique(s) peut être complexe étant donné la diversité des paramètres à prendre en compte et des matériaux géosynthétiques pouvant être rencontrés et peut largement dépasser le cadre de ce document. Nous indiquons dans le Document Complémentaire – Partie B :

- la démarche méthodologique générale, les paramètres à prendre en compte et le principe de calcul aboutissant au dimensionnement de ce géosynthétique,
- l'étude d'un CAS TYPE donné à titre d'exemple.

4.5. GARANTIES

4.5.1. Nature et domaine d'application

La garantie s'applique aux produits et à l'ouvrage résultant de leur mise en œuvre ; par ouvrage, on entend la géomembrane avec ses soudures et ses raccordements, la préparation du support, les couches de protection...

■ **La garantie s'applique dès que le DEG est défaillant sur l'un ou l'autre des points suivants :**

1. **étanchéité globale de l'ouvrage** ; elle est appréciée par une mesure du **flux traversant le DEG qui devra être inférieur à 1 l/j/m² sous 3 mètres d'eau** ; ceci prend donc en compte non seulement la géomembrane et ses soudures mais également ses raccordements aux ouvrages bétons et autres points singuliers.

Cette étanchéité peut être évaluée par l'une des méthodes dont un descriptif (non exhaustif et évolutif) est donné en Document Complémentaire – Partie A-3 :

- mesure d'évolution de niveau d'eau de la surface libre du plan d'eau préalablement rempli (déduction faite de l'évaporation) ; le flux spécifié précédemment correspond à une baisse du niveau d'eau dans le bassin d'un millimètre par jour ; c'est surtout adapté au cas des bassins, et non aux fossés ;
- mesure de débit des drains ou mesure de débit massique de traceurs dans un réseau de drainage, si le contexte hydrogéologique le permet.

A noter que selon le contexte ces méthodes peuvent s'avérer assez difficiles d'emploi, si les débits de fuites sont faibles, et coûteuses en particulier si le volume à remplir est important.

2. **intégrité physique de la géomembrane elle-même (porosité, microfissuration généralisée)** ; sa " perméabilité " en tout point doit être inférieure au seuil normalisé définissant une géomembrane (Cf. § 5.1.1.) ; en cas de doute, celle-ci sera évaluée par des mesures d'étanchéité effectuées en laboratoire sur des prélèvements représentatifs (seuil conventionnel d'étanchéité selon normes NF P 84-500 et mesures selon NF P 84-515) ;
3. **continuité en tout point de la géomembrane, de ses soudures ou de ses raccordements aux ouvrages et en tranchée d'ancrage** : déchirure, fissuration, trous. Cette continuité pourra être

évaluée par **examen visuel** et toutes autres méthodes non destructives, en particulier **les méthodes électriques**.

- Certaines méthodes électriques, surtout lorsqu'elles font l'objet d'une pré-installation d'électrode sous la géomembrane, sont coûteuses, mais peuvent être particulièrement utiles puisqu'elles peuvent permettre de localiser des zones endommagées, même sous une structure de protection, et donc de permettre la réparation. Des exemples de ces systèmes de détection électrique font l'objet d'une présentation dans le Document Complémentaire – Partie A-3.
- Dans le cas d'une géomembrane sans structure de protection, un **repérage le plus exhaustif possible de ces défauts et leur réparation suffit** généralement à procurer à l'ouvrage le niveau minimum d'étanchéité requis (ceci permet de s'affranchir de la mesure d'étanchéité globale précitée).

4. La géomembrane ne doit pas présenter de retrait dimensionnel important du fait de son vieillissement. La géomembrane doit rester plaquée à son support en tout point de l'ouvrage, en particulier au raccordement entre le fond de bassin et le talus et près des ouvrages en béton.

5. Stabilité des couches de protection de la géomembrane en talus. Les glissements doivent être réparés, même s'ils ne semblent pas occasionner de désordres dans la géomembrane.

■ **La garantie ne porte pas** sur des altérations autres que celles liées à un usage et un entretien normaux de l'ouvrage (par exemple, vandalisme) mais prend en compte les phénomènes naturels (grêle).

■ **Commentaire**

Il convient que le maître d'ouvrage communique à l'entreprise les informations dont elle a besoin pour présenter une offre adaptée (voir § 4.3.) ; par exemple, il convient de préciser dans l'appel d'offre si l'on souhaite une capacité de rétention provisoire des hydrocarbures supérieure à celle proposée dans les spécifications du § 5.1.1. ou si l'ouvrage à une fonction spécifique de déshuileur (présence permanente d'une couche d'hydrocarbure pur). De même, l'entreprise doit explicitement demander toute information utile permettant de valider son offre au niveau de la géotechnique, de la nature des effluents ... et donner au maître d'œuvre les consignes éventuelles pour l'exploitation (utilisation possible de désherbants, ...)

4.5.2. *Durée et étendue*

Les garanties ci-dessus portent **sur une durée de 10 ans** et des travaux de réhabilitation immédiats peuvent être demandés à l'entreprise adjudicatrice dès qu'un des critères ci-dessus (étanchéité globale, défauts locaux, ...) est mis en évidence.

La garantie comprend toutes les opérations nécessaires à la réhabilitation, en particulier, si nécessaire, l'enlèvement et la remise en place des structures de protection de la géomembrane.

La garantie ne porte pas sur les dégâts occasionnés sur le DEG par un rejet accidentel de polluant chimique : il conviendra au cas par cas d'expertiser les altérations éventuelles de la géomembrane de façon à mettre fin à tout ou partie de la garantie contractuelle et de définir la réhabilitation à engager à la charge du responsable du sinistre (Cf. § 8.2.).

La garantie ne porte pas sur les altérations de l'environnement liées aux fuites.

4.5.3. *Remarques sur le mode d'attribution des travaux*

- **Pour que ces dispositions de garantie** puissent être effectives en cas de besoin, il y a lieu d'exiger une **police d'assurance " ouvrage " par chantier** (assurance par capitalisation, qui permet des actions en garantie même en cas de disparition de l'entreprise) ; ne pas confondre ce type d'assurance " ouvrage ", qui concerne les ouvrages eux-mêmes, avec la police d'Assurance Responsabilité Civile.
- **Il est intéressant de prévoir un contrat de visite et d'entretien** avec l'entrepreneur d'étanchéité. Ceci permet de déceler et réparer des défauts avant qu'ils ne s'aggravent, augmentant ainsi notablement la durée de vie du dispositif. Ceci est facilité par des entreprises aux implantations bien réparties territorialement.
- **Il est toujours plus intéressant économiquement et techniquement** pour définir le projet de traiter directement avec une entreprise d'étanchéité, ce qui sera souvent le cas pour des réhabilitations d'ouvrages anciens. Pour des ouvrages neufs, cela dépend de la taille des ouvrages ; pour de grands bassins ou un linéaire important de fossés ou un lot de multiples ouvrages sur un itinéraire, les maîtres d'œuvres préfèrent généralement traiter avec l'entreprise générale de génie civil attributaire des lots de terrassement des voies concernées pour faciliter la coordination des travaux et le

règlement des litiges entre les différents intervenants et n'avoir qu'un interlocuteur en cas de problème et de recours en garantie ; l'étancheur retenu par l'entreprise générale (généralement en sous-traitance) reste soumis à l'acceptation du maître d'œuvre - il est souhaitable que ce sous-traitant soit proposé dès l'offre initiale de l'entreprise générale.

4.6. ÉLÉMENTS ÉCONOMIQUES

Les éléments ci-après sont donnés seulement à titre indicatif car ils peuvent être très variables suivant les chantiers (importance, accessibilité, niveau de concurrence, marché direct ou de sous-traitance) et la période (fluctuation du prix des polymères).

	(RÉFÉRENCES 1998)	UNITÉ	POSEE (francs HT)
■ Structure d'étanchéité	• a) Géomembrane :		
	- synthèse (1,15 à 1,5 mm)	m ²	30 à 50
	- bitumineuse (3,5 à 4 mm)	m ²	35 à 50
	• b) raccordement aux ouvrages en béton	m	110 à 170
■ Structure de protection	• a) béton de ciment fibré (12 cm) en fond	m ²	140 à 160
	• b) béton bitumineux (7 cm) en fond	m ²	60 à 85
	• c) grave naturelle (30 cm) en fond	m ²	30 à 40
	• d) granulat d/D en talus (30 cm)	m ²	30 à 50
	• e) terre végétale talus (30 cm)	m ²	25 à 30
	• f) géosynthétiques		
	f1) géotextiles antipoinçonnant pour a - b - c- (2)	m ²	8 à 12
	f2) géotextiles antipoinçonnant et renforcement pour d - e (1)	m ²	15 à 20
f3) géocomposite de drainage pour e) éventuel (1)	m ²	20 à 40	
f4) géoconteneur éventuel pour e)	m ²	40 à 60	
■ Structure support	• géotextile antipoinçonnant (2)	m ²	8 à 12
	• dispositifs de drainage		
	. tranchée drainante (matériaux granulaire et géotextile)	m	80 à 100
	. géocomposite de drainage (3)	m ²	20 à 35
	• couche de réglage : (épaisseur 5 à 10 cm)		
. sable, granulat 0/20	m ²	15 à 25	

(1) Conforme à celui correspondant au cas type mentionné au § 4.4.3.3.

(2) Conforme aux spécifications du § 5.1.2.

(3) Coût très approximatif car ces matériaux peuvent être de nature très variée

Chapitre **5** **Spécifications sur les produits, les assemblages et les personnels**

5.1.	Spécifications des géomembranes	46
5.1.1.	<i>Spécifications de base communes</i>	46
5.1.2.	<i>Spécifications particulières à chaque famille chimique</i>	47
5.2.	Spécifications des géotextiles de protection	47
5.2.1.	<i>Situations représentatives - Classes de performances</i>	47
5.2.2.	<i>Spécifications correspondant aux classes de performances</i>	49
5.3.	Spécifications sur les joints de géomembranes	49
5.4.	Autres stipulations	49

Les spécifications ci-après sont à inclure dans le **Document de Consultation des Entreprises (DCE)**, et correspondent à la solution de base du projet.

A la remise de son offre, l'entreprise doit justifier de la conformité des produits proposés et de leurs assemblages aux spécifications ci-après.

5.1. SPÉCIFICATIONS DES GÉOMEMBRANES

5.1.1. Spécifications de base

a) Produit conforme à la norme **TERMINOLOGIE NF P 84-500**

- **épaisseur fonctionnelle** ≥ 1 mm (-o) (mesuré par NF P 84-512) (voir spécifications particulières par famille en Annexe 3-1).
- **étanchéité** : Flux $< 0,1$ l/j/m² (+o) (mesuré par NF P 84-515)
- **largeur** : $\geq 1,5$ m (- 0,05 m) (mesuré par Pr NF EN 1848/1 et 2)

En fait, dans ce Guide (annexe 3.1), c'est une largeur de 2 m qui est recommandée pour les types de géomembranes spécifiés.

b) Certification **ASQUAL (*)** ou **procédure équivalente fortement recommandée**

c) **Capacité de rétention provisoire d'hydrocarbures** ; essence super sans plomb – 3 jours (**)

Les capacités de rétention à 10 jours et 1 mois seront fournies par le fabricant (Cf. Annexe 3.1).

(*) ASQUAL : Association Qualité
Textile et Habillement

(**) Pour méthode et essai –
Cf. Document Complémentaire –
Partie A-1.3.

LA CERTIFICATION ASQUAL

Nous recommandons fortement aux maîtres d'œuvres et d'Ouvrages de spécifier des géomembranes CERTIFIÉES, dans la mesure où il existe un produit dans la catégorie envisagée (démarrage de la certification début 1998).

■ **Les arguments en faveur** de l'usage des géomembranes certifiées sont exposés dans la Note d'Information du SETRA N° 107 de mai 1999 concernant la "Procédure de Certification des Géomembranes" [7] et sont les mêmes que ceux exposés antérieurement pour les géotextiles [8] :

- rappel de la circulaire interministérielle du 4 juillet 1986, incitant les acheteurs publics à exiger des produits bénéficiant d'un certificat de qualification (l'ASQUAL est habilitée par le Ministère de l'Industrie et accréditée COFRAC pour délivrer ces certificats)
- seuil de performance minima
- exigence d'un contrôle intérieur du fabricant (ISO 9002 généralement)
- vérification par l'ASQUAL des valeurs des caractéristiques déclarées par le demandeur
- la certification est matérialisée par un certificat de qualification, un étiquetage et un marquage (dans leur masse) des produits.

■ **Lorsque le maître d'œuvre** exige des produits certifiés, cela lui permet :

- avant le chantier, de faciliter l'agrément des produits qui lui sont proposés ;
- en début et cours de chantier, de simplifier grandement les procédures de contrôle (Cf. § 7.2.).

■ **Bien noter cependant qu'il ne s'agit pas d'une certification d'aptitude à une fonction** (par exemple étanchéité de bassin dans le cas présent) et qu'il appartient au maître d'œuvre **de spécifier la qualité requise** (Cf. 5.1.1.) ; l'organisme certificateur ne fait que certifier les valeurs mentionnées sur les fiches de certification des produits, ce qui ne veut pas dire que cette valeur est adéquate pour telle et telle fonction dans telle ou telle application. On peut d'ailleurs espérer qu'à terme une évolution se fera vers une certification "d'aptitude à l'usage".

■ **Toutes les caractéristiques spécifiées** ne sont actuellement pas toutes certifiables par l'ASQUAL (Cf. 5.1.2.)

■ La certification ASQUAL a démarré en 1998 et, à ce jour, il y a environ 25 produits certifiés.

5.1.2. Spécifications particulières à chaque famille chimique

Les spécifications particulières propres à chaque famille chimique sont mentionnées en Annexe 3-1.

Commentaires :

Ces spécifications :

- correspondent à des géomembranes de qualité standard qui devraient répondre aux objectifs de durée de vie et de garanties mentionnées dans ce GUIDE si elles sont utilisées dans le cadre d'un projet adapté et correctement entretenues ;
- ne sont pas exhaustives et seront probablement révisées d'ici quelques années pour tenir compte du retour d'expérience, parce qu'en matière de durabilité, pour les géomembranes, la connaissance des relations entre la valeur d'une caractéristique et l'incidence sur la durabilité du produit est en cours d'évolution ;
- ont été établies pour les produits qui sont actuellement les plus souvent rencontrés sur le marché français : d'autres produits d'épaisseur différente ou de nature différente, par exemple une géomembrane PVC renforcée par une armature textile ou une géomembrane composée associée en usine à un géotextile (externe) ou un PEF (Polyéthylène flexible) peuvent faire l'objet de propositions dans le cadre de **solutions variantes complémentaires** qui doivent être dûment justifiées par le postulant au marché (dossier technique, références ...).

Notes

Dans le tableau de spécifications – Annexe 3.1., pour les caractéristiques qui sont CERTIFIÉES par l'ASQUAL, la valeur Minimale et/ou Maximale Exigible (VME) sur site lors d'un contrôle (Cf. Chapitre 7) se déduit de la Valeur Nominale annoncée par le producteur (VNAP) certifiée ASQUAL, par l'application d'une plage admissible de variation définie par le règlement de certification ASQUAL du produit (PR V 95 : plage relative de variation à 95 % de probabilité) et mentionnée sur les fiches de certification.

Dans ce tableau, certaines caractéristiques spécifiées (par exemple, la déformation à la rupture en traction) **ne sont pas actuellement certifiées par l'ASQUAL et doivent faire l'objet d'essais préalables effectués par un laboratoire indépendant du fabricant** (dénommé LI*).

Pour un matériau non certifié ASQUAL, une marque ou autre procédure peuvent être reconnues équivalentes sur la base des critères du référentiel ASQUAL.

5.2. SPÉCIFICATIONS DES GÉOTEXTILES DE PROTECTION

5.2.1. Situations représentatives - Classes de performances

- **Dans les deux tableaux** ci-après, on définit respectivement **deux classes en traction et trois classes de résistance en poinçonnement statique** pour les géotextiles utilisés, relativement à leur situation, nature des matériaux en contact et fonctionnalité dans l'ouvrage ; **les valeurs spécifiées correspondant à ces classes** sont mentionnées dans l'annexe 3-2.
- **Les caractéristiques des géotextiles** ainsi définies sont relatives aux cas du projet de base où ceux-ci sont utilisés avec des géomembranes du type et de l'épaisseur spécifiés en 5.1.1. ; pour d'autres types et/ ou épaisseur, une étude spécifique est à faire.
- **Pour la fonction de protection** contre le poinçonnement statique, on peut noter que, dans les spécifications proposées, la résistance requise est indépendante de la nature de la géomembrane ; ceci est peut être regrettable mais est lié au fait que nous ne disposons actuellement ni d'un **essai performantiel opérationnel normalisé** (réalisable sur l'ensemble du DEG) suffisamment représentatif de la réalité et pour lequel on dispose de résultats assez nombreux permettant d'établir des spécifications, ni d'un **test de caractérisation du géotextile seul** suffisamment pertinent pour cette fonction. Pour ce dernier, à défaut et parce que c'est l'essai pratiqué dans la certification actuelle ASQUAL, on préconise provisoirement l'essai au poinçon pyramidal (NF G 38019). L'essai au petit poinçon cylindrique (NF P 84-507) utilisé en ouvrages souterrains peut également être utilisé mais seulement pour des matériaux non certifiés ou si un jour, cet essai est inclus dans la procédure de certification.

* Laboratoire accrédité COFRAC
(ou équivalent) pour le Programme
Géomembrane

- **Faute de l'essai performanciel** précité et par expérience, on est amené à continuer à spécifier des **valeurs minimales de masse surfacique** alors que ce n'est pas une caractéristique fonctionnelle (tout comme cela a été fait pour l'épaisseur des géomembranes), en parallèle aux spécifications de résistance au poinçonnement.
- **Le type de géotextile** n'est pas spécifié mais les plus couramment utilisés pour cette fonction et qui correspondent aux spécifications proposées dans ce Guide sont des "géotextiles non tissés aiguilletés" d'épaisseurs variant entre 2,5 et 5 mm (sous 2 kPa) et d'une masse surfacique de 300 à 600 g/m² sauf en talus **sur** géomembrane où les natures sont beaucoup plus diverses.
- **La définition des classements et les spécifications** qui y correspondent sont définies pour des GEOTEXTILES ; elles ne sont pas forcément adaptées au cas des "produits apparentés aux géotextiles" (géosynthétiques de drainage) utilisables en talus **sur** géomembrane.
- **Les classes de résistance au poinçonnement** définies ci-après peuvent être sensiblement modulées, dans un sens plus ou moins exigeant en fonction du contexte de l'ouvrage : homogénéité des sols et matériaux en contact avec la géomembrane, contraintes particulières liées à la mise en place d'une structure de protection, mode d'exploitation pour les géomembranes non protégées. Il convient également de suivre le cahier des charges de pose de la géomembrane, si celui-ci préconise des caractéristiques plus élevées.
- **La classe de résistance " réduite " au poinçonnement ne sera utilisée qu'avec circonspection** et si le sol support est parfaitement stable et homogène sur une certaine épaisseur – cette classe ne peut être utilisée en talus, sur la géomembrane ; il en est de même pour la suppression éventuelle du géotextile sur les supports fins (le géotextile permet en outre de conserver la propreté de la géomembrane avant soudure).
- **Pour des cas difficiles**, il existe des géotextiles plus performants de masse surfacique 800 – 1000 g/m², voire même très supérieure, pouvant être définis au cas par cas.

Tableau 1 - classes de résistance au poinçonnement statique

POSITION DU GÉOTEXTILE DANS LE DEG (en fond d'ouvrage ou en talus)		CLASSE DE RÉSISTANCE AU POINÇONNEMENT STATIQUE DU GÉOTEXTILE *		
		RÉDUITE **	NORMALE	RENFORCÉE
■ ENTRE SOL SUPPORT ET GÉOMEMBRANE	• Nature du support	<ul style="list-style-type: none"> • Grave roulée sableuse 0/20 • Sable et sols très fins*** 	La plupart des supports courants : <ul style="list-style-type: none"> • Grave roulée 0/50 • Concassé 0/20 	<ul style="list-style-type: none"> • Concassé 0/40 • Points singuliers divers • Grave grossière > 0/50
■ ENTRE GÉOMEMBRANE ET STRUCTURE DE PROTECTION	• Nature de la structure de protection	<ul style="list-style-type: none"> • Sable *** • Terre végétale (classe non utilisable en talus). 	<ul style="list-style-type: none"> • grave roulée 0/50 • Granulat d/D roulé < 50 	<ul style="list-style-type: none"> • Granulat d/D concassé < 50 • Dalle béton préfabriquée ou coulée en place • Enrobés bitumineux

* Ces différents exemples ne sont pas exhaustifs et sont donnés à titre d'illustration

** Classe peu recommandée à utiliser avec réserve (Cf. 5.1.2.1.)

*** Dans ce cas, le géotextile peut éventuellement et avec réserve être supprimé (Cf. 4.4.1.2)

Tableau 2 - Classes de résistance en traction des géotextiles

POSITION DU GÉOTEXTILE DANS L'OUVRAGE ET LE DEG	CLASSE DE RÉSISTANCE EN TRACTION	
	NORMALE	RENFORCÉE
■ TALUS : entre géomembrane et structure de protection		X
■ TALUS : entre géomembrane et support	X	
■ FOND : entre géomembrane et support	X	
■ FOND : entre géomembrane et structure de protection	X	

5.2.2. Spécifications correspondant aux classes de performances

Comme pour les applications des géotextiles en géotechnique [8], **il est très fortement recommandé d'utiliser** des GÉOTEXTILES CERTIFIÉS ; en France, comme pour les géomembranes, l'organisme certificateur est l'ASQUAL qui vérifie :

- l'organisation du contrôle de la qualité en usine,
- les valeurs des caractéristiques mentionnées sur la Fiche de Certification.

Les produits sont étiquetés et marqués dans la masse. Cela permet d'avoir pour les produits livrés sur chantier une bonne identification et d'établir la conformité aux spécifications du marché par la simple lecture de la fiche de certification et une bonne présomption de conformité et donc de simplifier grandement les contrôles de réception (Cf. § 7.2.). A défaut de marque ASQUAL (Cf. § 5.1.2.)

A noter qu'il s'agit, comme pour les géomembranes, d'une "certification de valeurs de caractéristiques" et non d'une "certification d'aptitude à une fonction" et que le maître d'œuvre doit indiquer dans son CCTP (Document Complémentaire - Partie C) les spécifications de chaque caractéristique désirée (à partir de l'Annexe 3 (§ 3.2).

Note : En ce qui concerne la définition et le mode d'usage des valeurs des caractéristiques certifiées (VNAP), se reporter à la **note** du § 5.1.2. concernant les géomembranes.

A noter également que les géocomposites de drainage utilisables en talus sur géomembrane ne sont pas actuellement certifiables par l'ASQUAL, ce qui ne doit pas cependant freiner leur usage.

5.3. SPÉCIFICATIONS SUR LES JOINTS DE GÉOMEMBRANE

- **Il est fortement recommandé** aux maîtres d'œuvres d'exiger que LES POSEURS SOIENT CERTIFIÉS ASQUAL ou procédure équivalente (Cf. [7]) ; à noter que la certification d'un poseur n'est relative qu'à une famille chimique donnée de géomembranes mais un poseur peut évidemment postuler pour une certification pour plusieurs familles – actuellement environ 80 couples poseurs/type de produit sont certifiés.
- **Chaque famille de géomembrane** requiert des modalités spécifiques de réalisation des joints ; les stipulations mentionnées en Annexe 3-3 **sont exigibles sur site ; bien noter que certaines d'entre elles peuvent être plus sévères que celles exigées pour la certification ASQUAL des poseurs.**

5.4. AUTRES STIPULATIONS

Il est fortement recommandé aux maîtres d'œuvres d'exiger une certification ASQUAL pour les chefs de chantier et, ultérieurement, pour les entreprises elles-mêmes lorsque la certification correspondante existera – (Cf. [7]).

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 6 Mise en œuvre

6.1. Travaux préparatoires	52
6.1.1. Accès - stockage des matériaux	52
6.1.2. Préparation de la structure support	52
6.1.3. Assainissement en cours de travaux	54
6.1.4. Mise en place du géotextile support de la géomembrane	54
6.2. Mise en place de la géomembrane	
6.2.1. Généralités	54
6.2.2. Assemblages des géomembranes	55
6.2.3. Recommandations diverses	56
6.3. Mise en place de la structure de protection de l'étanchéité	57

Les deux opérations conception et mise en œuvre sont directement liées et les problèmes de mise en œuvre seront d'autant plus faciles à résoudre qu'ils auront été évoqués et pensés au stade de la conception du Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane (DEG) et de l'ouvrage lui-même : analyse fonctionnelle, choix de la géomembrane, dimensionnement des autres composants du D.E.G, pentes de talus ... Pour cela, et en particulier pour les conditions de mise en œuvre, on se reportera au chapitre 4 et, de manière plus générale, **aux documents du CFG précités** [2] [3] [4].

Terrasser et étancher sont deux métiers différents ; pour l'obtention d'une qualité optimale au meilleur prix, il serait souhaitable de séparer les marchés terrassement et étanchéité ; en fait sur un plan pratique et pour régler d'éventuels problèmes d'interfaces entre entreprises en cours de travaux et dans le cadre des garanties, il est plus facile pour un maître d'œuvre de traiter avec une seule entreprise ou un groupement d'entreprise. Dans le cas de TRAVAUX NEUFS, il s'agira généralement de l'entreprise générale de terrassement. Dans le cas de REHABILITATION, c'est l'entreprise d'étanchéité qui est généralement adjudicataire. Les problèmes d'interface entre corps de métiers, en général liés au support, sont à régler par la mise en place dans le SDQ*, de points d'arrêt judicieusement choisis et repris dans le PLAN D'ASSURANCE QUALITÉ (P.A.Q.) (Cf. Chapitre 7).

6.1. TRAVAUX PRÉPARATOIRES

6.1.1. Accès - stockage des matériaux

Prendre en compte les paramètres suivants :

- **Un accès praticable, de portance suffisante** (Cf. § 6.1.2.), est impératif pour l'approvisionnement des géomembranes et des autres matériaux constitutifs du DEG.
- Le stockage des matériaux – géomembranes et géotextiles, matériaux granulaires, éléments de drainage - doit être effectué à l'extérieur de l'ouvrage sur une aire plane, propre, assainie, de portance suffisante pour la circulation des engins de manutention et de mise en œuvre.
- Stocker les rouleaux à plat et dans la même direction.
- Les rouleaux de géomembrane doivent être protégés par un emballage individuel étanche, comprenant l'étiquetage **conforme à la certification** et comportant au moins, référence précise du produit, date et lieu de fabrication, numéro et lot de fabrication.
- En cas de stockage prolongé, une protection complémentaire adaptée au produit est recommandée ; par temps froid, les rouleaux sont stockés dans un abri tempéré et sortis au fur et à mesure de leur utilisation.
- Eviter et vérifier tout endommagement lié au transport et au stockage des rouleaux.

6.1.2. Préparation de la structure support

De par leur nature, les bassins pour eaux de ruissellement routier sont souvent situés dans des points bas, peu accessibles et dans des terrains de caractéristiques médiocres, c'est pourquoi il convient d'être très attentif à la phase de préparation du support.

La structure support de l'étanchéité comprend l'ensemble des éléments mis en place entre le fond de forme (arase de terrassement) et la géomembrane. Il est constitué :

- de la couche de forme et/ou de réglage si celle-ci s'avère nécessaire,
- des dispositifs de drainage éventuels,
- éventuellement d'une couche granulaire fonctionnelle, par exemple drainante ou anti-poinçonnante, ou d'un géotextile ou géosynthétique de drainage remplissant le même rôle,
- généralement d'un géotextile antipoinçonnant.

Un ou plusieurs éléments composant cette structure peuvent ne pas exister ou être regroupés.

■ **Le fond de forme** doit être préparé, c'est-à-dire dégagé :

- de toute végétation, terre végétale et de tous autres éléments organiques (souches, racines, bois ...),
- de toutes traces de déchets ou produits chimiques, en particulier s'ils sont fermentescibles,
- de tout élément agressif pouvant nuire au bon comportement de la structure étanche (pierres affleurantes, ferrailles, ...),

* SDQ : Schéma Directeur de la Qualité

Ces précautions élémentaires visent à assurer la pérennité du DEG en évitant des dégagements de gaz dus au pourrissement de matières organiques, des altérations chimiques des géosynthétiques, des

déchirures par contact direct des aspérités avec la géomembrane et le(les) géotextile(s), dès la pose ou en service (après tassement différentiel, par exemple).

Dans le cas de certains terrains caillouteux ou rocheux, une couche de forme sableuse ou grave sableuse rapportée, généralisée ou non, peut s'avérer nécessaire à l'obtention d'une bonne planéité, l'élimination des points durs, et l'obturation de vide entre gros granulats.

D'une manière générale et en particulier pour les talus, on respectera les règles définies par les études géotechnique et hydrogéologique pour l'ouvrage considéré (Cf. § 4.3.1.).

■ Caractéristiques du support

- **Les niveaux de compactage et de portance** indiqués ci-dessous sont des éléments d'orientation ; ils doivent être précisés dans l'étude géotechnique préalable (Cf. 4.3.1.). D'une manière générale, la mise en œuvre des matériaux devra être conforme aux recommandations édictées par le Guide Technique "Réalisation des remblais et couches de forme" GTR - Septembre 1992 - SETRA / LCPC.
- **Niveau de compactage soigneux** ; un compactage superficiel est à prévoir en fin de terrassement sur l'ensemble des surfaces support de DEG ; la masse volumique apparente doit être supérieure ou égale à celle qui correspond à 95 % de l'Optimum Proctor Normal ($rd \geq 0,95 rdOPN$) dans le cas des sols à $D < 50$ mm ; pour $D > 50$ mm, l'objectif de densification est de Q4.
 - Pour les 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).
 - Un soin particulier sera apporté au compactage des talus ; ainsi les zones des talus en remblai dans le cas d'ouvrages en digues devront être traitées par la méthode dite "de talus excédentaire".
- **Niveau de portance ; il doit être suffisant** pour éviter la création d'ornières à la mise en œuvre du DEG et en service. Les conditions à remplir sont les suivantes :
 - mesure à l'essai de plaque : module EV 2 ou à la dynaplaque : $Edyn \geq 30$ MPa ; l'essai de plaque est un essai "lourd" à utiliser en cas de doute et/ou suivant l'importance de l'ouvrage ;
 - mesure par essai simplifié et empirique de "praticabilité" ; l'essai consiste à faire passer un camion de 3,5 t, dix fois sensiblement au même endroit sans créer d'ornière de profondeur supérieure à 3 cm ; cette mesure constitue plus un moyen de vérification qu'une réelle spécification.
- **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 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 (dame ou pilonneuse) seront utilisés. Dans ces situations particulières, il est recommandé de réaliser le remblai autour de l'ouvrage sur une couche de béton maigre pour s'affranchir du problème de tassement différentiel localisé et donc d'une altération ultérieure du raccordement du DEG à l'ouvrage (Cf. Chapitre 4.3.3.2.2.).

● Planéité et géométrie :

- **Planéité** : le support possédera, avant la pose du DEG, un état de surface tel qu'avec une règle de quatre mètres, on ne décèle pas d'irrégularités supérieures à trois centimètres.

L'organisation et les dispositions du chantier devront permettre **un maintien de cet état des surfaces réceptionnées** ; lors de l'exécution des tâches ultérieures, il peut notamment se créer des pistes et ornières en fond de bassin si la portance des sols est insuffisante lors de la circulation des engins pour l'approvisionnement et les mises en œuvre successives des matériaux. En tout état de cause, on gagnera à ce que les surfaces du bassin soient le plus rapidement possible réceptionnées et recouvertes par les géosynthétiques pour éviter au maximum les effets néfastes de l'érosion (ce qui nécessiterait des reprises). Cet aspect n'est pas négligeable vu la localisation des ouvrages dans les endroits en encaissement et souvent aux points bas de la topographie.

● Géométrie locale :

Pour les raccordements des différents secteurs géométriques de la forme support (talus/talus, fond/talus, talus/crête), on respectera un rayon de l'ordre de 30 à 50 cm (Cf. 4.3.3.1.).

D'une manière générale les nappes de géosynthétique doivent être en contact en tout point avec le sol support, au moment de la pose et en service.

- **Géométrie générale** : l'ouvrage sera réalisé selon la géométrie et l'altimétrie visées et en

respectant les tolérances précisées au projet, en particulier la pente minimale générale du fond de bassin prévue (Cf. 4.3.3.1.) (dans tous les cas, 2 % au minimum).

■ Matériaux granulaires (éventuels)

Les matériaux granulaires approvisionnés devront faire l'objet d'une surveillance toute particulière : en plus des essais de contrôles habituels, un contrôle visuel permet de s'assurer de l'absence au sein du matériau **d'aucun élément étranger ou saillant** risquant d'endommager les géosynthétiques (Cf. Contrôle § 7.1.).

6.1.3. Assainissement en cours de travaux

La construction de bassins recoupant nettement une nappe phréatique n'est pas traitée dans ce guide (Cf. Chapitre 4.3.).

Toutefois, il n'est pas exclu qu'en phase de terrassement des venues d'eaux locales apparaissent à divers endroits de la fouille du fait de la complexité géologique et hydrogéologique de certains terrains (circulations d'eau dans les couches les plus perméables). Elles devront être captées par un système de drains (granulaires et/ou géocomposites), de renfort drainant de talus et de conduites jusqu'à un exutoire, soit provisoirement, soit d'emblée de façon définitive conformément aux dispositions du projet. Il en sera ainsi pour les zones de venues d'eau extérieures en fond de bassin (résurgences), sur lesquelles aucune structure d'étanchéité ne peut être mise en place sans drainage préalable.

Pour leur part, les eaux de ruissellement seront captées par des fossés ou canalisations en crête et pied de talus et dirigées vers un exutoire qui peut être directement le milieu naturel, un collecteur d'eau pluviale, un puisard ou un réservoir aménagé dans un point bas hors de la fouille en attente d'une évacuation par pompage.

Si les sols sont très sensibles à l'érosion comme, par exemple, les sols entrant dans les classes B1 et D1 (document GTR *) il est conseillé de les stabiliser par un traitement en place au ciment (ou autres liants hydrauliques) ou de prévoir l'apport d'une couche superficielle de sable ou de grave-ciment fabriquée en centrale (voir § 4.3.).

6.1.4. Mise en place du géotextile support de la géomembrane

Dans la grande majorité des cas, un géotextile (ou géosynthétique de drainage) sert de support à la géomembrane (Cf. § 4.4.1.2.).

Lors de sa mise en œuvre, on veille particulièrement :

- à ne pas désorganiser les matériaux de la couche de forme ou du fond de forme,
- à éviter tout pli,
- au recouvrement ou à la liaison corrects des nappes ; généralement, seul un recouvrement simple (sans liaison) (≥ 20 cm) est réalisé ; en talus on ne doit avoir aucun recouvrement dans la pente (suivant une ligne de niveau). Le cas échéant une liaison (couture) est à effectuer ;
- au maintien du lestage jusqu'à la mise en œuvre de la géomembrane,
- au respect des dispositions prévues pour le raccordement aux ouvrages en béton.

Pour plus d'informations on se reportera aux Fascicules spécialisés du CFG concernant les géotextiles ou à la norme NFG 38-060 (Cf. Annexe 1).

6.2. MISE EN PLACE DE LA GÉOMEMBRANE

6.2.1. Généralités

- **plan de pose des lés** : ce plan de calepinage établi en fonction de la géométrie de l'ouvrage, du type de géomembrane et des moyens d'assemblages prévus, permet à l'entreprise d'optimiser le travail de pose, réduire le nombre de découpes, faciliter les assemblages, et donc favoriser l'obtention de la qualité.
- **manutention** ; en fonction de leur poids, les rouleaux sont déplacés et disposés de manière optimum en vue du déroulage, éventuellement avec des engins mécanisés équipés d'un système de levage/déroulage (portique, palonnier). Ces opérations de manutention doivent être limitées à leur

* Guide sur les
Terrassement Routiers -
Setra [6]



*Plissement important
d'une géomembrane PEHD*

strict minimum pour éviter la détérioration de l'état de surface de la structure support et de la géomembrane elle-même.

● **déroulage**

- sur talus, les lés sont disposés suivant la ligne de plus grande pente ; les recouvrements longitudinaux des lés ne doivent pas être horizontaux sauf cas particuliers (risbermes ou sur talus de très faible hauteur) ; on déroule de haut en bas pour minimiser la dégradation du support ;
- les largeurs minimales de recouvrement des lés et la longueur en tranchée d'ancrage, prévues au projet, doivent être respectées.

● **aspect général**

- on doit rechercher l'absence de plis et d'irrégularités ; la géomembrane doit être plaquée en tout point au support, en particulier au raccordement fond/talus (Cf § 6.2.3.) ;
- la zone de recouvrement doit être parfaitement propre et sèche ;
- **on interdira par principe à tout véhicule de circuler sur la géomembrane**, sauf disposition particulière à justifier par l'entreprise auprès du maître d'œuvre.

6.2.2. Assemblage des géomembranes

La nature et le mode de réalisation des assemblages (joints) entre lés (ou nappes) de géomembrane par soudage ou collage sont spécifiques à chaque famille chimique de géomembrane (Cf. Document Complémentaire – Partie A-1.2.) Chacun de ces types d'assemblages présente des avantages et inconvénients et des précautions de réalisation particulières. Des spécifications sont indiquées en annexe 3.3.

C'est une phase délicate et sensible de la mise en œuvre et elle doit être réalisée avec un maximum de soin par un **personnel qualifié (certifié ASQUAL ou procédure équivalente)** (Cf. § 5.3.)

■ **Conditions climatiques**

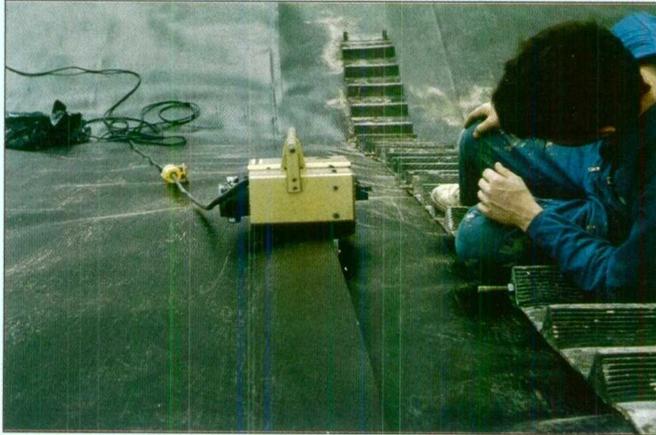
La réalisation des assemblages est interdite :

- sous la pluie,
- sous la neige,
- par vent violent,
- dans la boue,
- par températures extrêmes (température ambiante inférieure ou égale à 0° C et supérieure à 30° C), sauf précautions spécifiques adaptées au produit.

■ **Les surfaces à assembler doivent** être sans plis, propres et sèches, particulièrement dans le cas de collage (élastomères EPDM) ou de soudure par extrusion. Ceci peut nécessiter dans certains cas (supports limoneux humides) d'intercaler une planche de bois ou autre dispositif entre le support et la zone à assembler (à déplacer à l'avancement de l'assemblage) ;

■ **Un essai de convenance** doit être effectué en début de chantier quel que soit le type de soudure et, pour les machines automatiques, un essai de réglage à chaque prise de poste ; ceci peut

permettre, par exemple, de mettre en évidence un dysfonctionnement d'une machine à souder ou pour certains types de produit (PVC-P, PP-F) d'éventuelles exsudations gênantes pour obtenir une bonne soudure.



Double soudure automatique de géomembrane en talus (fer chaud)



Soudure par extrusion de PEHD (pièces de raccordement)

6.2.3. Recommandations diverses

- **Les lés doivent être lestés** (sacs de sable, par exemple) en cours de travaux pour éviter toute dégradation, en particulier due au vent.
- **La plupart des produits**, mais notamment le PEHD, présentent un **coefficient de dilatation important**. Du fait de sa **raideur**, cela se manifeste par la création de plis (en période ensoleillée et chaude) ou des tensions (à froid) de la géomembrane ; **Il faut tenir compte de ces phénomènes pour :**
 - réaliser les assemblages ; les deux lés à assembler doivent être à la même température pour éviter les retraits différentiels et des plissements ultérieurs au droit de l'assemblage. Certains produits PVC-P nécessitent d'attendre un certain temps après le déroulage, de façon à relâcher les contraintes liées à l'enroulement et leur permettre de se stabiliser dimensionnellement ;
 - prévoir les raccords aux ouvrages en béton de façon telle qu'il y ait une mise en tension minimale ;
 - avoir un bon contact avec le support en pied de talus lorsque la géomembrane est en service ou au moment de réaliser la structure de protection de fond de bassin (risque de déchirement) ;
 - pouvoir réaliser correctement la mise en œuvre de la structure de protection ; le phénomène de plissement du PEHD est accentué par le rayonnement solaire du fait de la couleur noire du produit. On peut donc avoir des plis de 10 à 25 cm de hauteur très gênants dans le cas d'une protection relativement mince (par exemple couche de béton d'épaisseur 12 à 15 cm) ; d'une manière générale, les plis ne doivent pas présenter une hauteur supérieure à 30 % environ de l'épaisseur de la couche de protection (béton, matériau granulaire, terre végétale) et ne doivent pas être rabattus lors de la mise en place de la couche de protection car cet écrasement par pliage peut altérer localement la durabilité de la géomembrane ;
 - les raccords sur ouvrages en béton et en tranchée d'ancrage en crête de talus (éventuellement, les ancrages intermédiaires en cas de talus importants) ou en pied de talus (avec un horizon étanche en fond) sont effectués en dernier pour permettre à la géomembrane de se stabiliser dimensionnellement (retraits après déroulage et retrait thermique) et ce, en évitant les périodes chaudes (dilatations).
- **L'ancrage en tranchée** en crête de talus nécessite une fixation provisoire (blocage partiel par un matériau granulaire ou des épingles métalliques) pendant la période de travaux.

6.3. MISE EN PLACE DE LA STRUCTURE DE PROTECTION DE L'ÉTANCHÉITÉ

- Toute circulation de véhicules directement sur la géomembrane est interdite, même lors de la mise en œuvre de la protection :
 - dans le cas de béton, celui-ci sera pompé, le camion d'approvisionnement restant à l'extérieur ;
 - dans le cas de protection granulaire, les engins circulent sans braquage sur la couche mise en place à l'avancement et dont l'épaisseur ne sera pas inférieure à 30 cm ; les matériaux de protection ne doivent pas être poussés sur le DEG mais posés.
- En cas de protection par des matériaux préfabriqués, des précautions doivent être prises pour éviter à la pose des poinçonnements de la géomembrane et une très bonne planéité du support est nécessaire.
- Dans la grande majorité des cas, un écran géotextile antipoinçonnement est mis en place entre la couche de protection (béton ou granulaire) et la géomembrane (voir § 4.4.3. et § 5.2.).
- La protection de la géomembrane est obligatoire au droit des collecteurs d'arrivée d'eau, soit par des enrochements soit par une dalle en béton reposant sur un géotextile (Cf. § 4.3.3.2.1.), surtout si la hauteur de chute de l'effluent est importante.
- Les structures de protection sont à réaliser au plus tôt, éventuellement par phases, dès la levée du POINT D'ARRET relatif au contrôle de la géomembrane.



Mise en place d'une structure de protection en béton fibré en fond de bassin

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 7 Organisation des contrôles et gestion de la qualité

7.1. Ordonnancement général 60

7.2. Organisation du contrôle de la qualité - nature et répartition des tâches 61

Tableau 1.: Répartition générale des tâches de contrôle 61

Tableau.2. : Les grandes étapes du contrôle 61

Tableau.3. : Programme de contrôle - Nature et répartition des tâches 63

La recherche de qualité dans les travaux d'étanchéité d'ouvrages de ruissellement routier est indispensable compte-tenu des objectifs de protection de l'environnement poursuivis, des investissements initiaux et, le cas échéant, des coûts importants que peuvent représenter les travaux de réhabilitation, surtout si la géomembrane a une structure de protection ; elle permettra sur le plan de l'étanchéité d'assurer la fonctionnalité initiale assignée à l'ouvrage mais également la durée de vie souhaitée.

L'organisation générale de la qualité telle que mentionnée dans les textes en vigueur ou à paraître (*) pourra être grandement **simplifiée et modulée** en fonction de l'importance du chantier et du nombre des entreprises intervenant.

7.1. ORDONNANCEMENT GÉNÉRAL

■ Au niveau du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) :

- Le maître d'Ouvrage définit la **qualité d'usage** qu'il désire : cela consiste à expliciter la finalité de l'ouvrage en termes de performances et de durée de vie (Cf. Garantie en § 4.8.), assorties de conditions d'exploitation et d'entretien.
- Le maître d'œuvre définit la **qualité requise** pour obtenir la qualité d'usage précitée ; ce référentiel technique comprend :
 - **l'ensemble des spécifications** contenue dans ce Guide, concernant en particulier la définition du DEG, les caractéristiques des matériaux et des assemblages ;
 - **un programme de contrôles** : nature et fréquence, points d'arrêt, répartition des rôles (Cf ; § 7.1.2.) ; il s'agit d'un programme minimum qui évidemment pourra être complété par l'entreprise dans le cadre de son PAQ (Plan d'Assurance Qualité)

■ **A la remise des offres**, les entreprises remettent leur SOPAQ (Schéma Organisationnel de Plan Assurance Qualité) reprenant au moins le référentiel technique du DCE et décrivant les moyens mis en œuvre pour y satisfaire (personnel, matériel, méthode de contrôle, et tout élément en rapport à l'assurance de la qualité).

■ Après le choix de l'entreprise et en phase de préparation du chantier :

- **l'entreprise remet son PAQ**, qui reprend les éléments du SOPAQ en le précisant ; le PAQ doit contenir au minimum les informations suivantes :
 - identification et consistance des travaux ;
 - organisation de l'entreprise, noms et coordonnées des responsables techniques et de chantier, des responsables du Contrôle Intérieur ; nom du contrôleur externe et situation dans l'organigramme de l'entreprise (ou nom de l'organisme tiers) ;
 - moyens en personnel avec sa qualification ; moyens en matériel d'exécution et de contrôle ;
 - nature et qualité des produits mis en œuvre (fiches techniques, fiches de certification) ;
 - méthodes de mise en œuvre (plan de calepinage), modalités de traitement des points singuliers ;
 - contrôles : nature et fréquence du contrôle INTERIEUR / interne ; nature et fréquence du contrôle INTERIEUR / externe ; documents types de suivi de chantier, de recueil des résultats de contrôle (recolement) et de traitement des non-conformités.
- **Le maître d'œuvre prépare son Schéma Directeur de la Qualité (SDQ)**. Ce document :
 - donne le planning général,
 - reprend les PAQ des différents intervenants (entreprises principales, co-traitant(s) et sous-traitant(s)) et assure leur cohésion en particulier au niveau de la circulation de l'information entre intervenants (résultats de contrôle) et du traitement des anomalies ;
 - définit le contrôle EXTÉRIEUR du maître d'œuvre et son phasage par rapport au contrôle INTERIEUR ; il précise les POINTS D'ARRETS (Cf. § 7.2. - Tableaux 2 et 3).
- **En phase de travaux et de fin de travaux**, chacun des intervenants dans la démarche Qualité effectue ses tâches définies au SDQ.

* Organisation de l'Assurance Qualité dans les travaux de terrassements - Guide Technique (à paraître) - Setra

7.2. ORGANISATION DU CONTRÔLE DE LA QUALITÉ NATURE ET RÉPARTITION DES TÂCHES

On retrouve la **segmentation habituelle** :

■ Contrôle intérieur (Entreprise)

Il comprend :

- **Contrôle interne** au processus de réalisation de l'ouvrage - celui qui travaille s'autocontrôle
- **Contrôle externe** ; un agent de l'entreprise adjudicataire ou mandaté par celle-ci et **ne dépendant pas directement du responsable de chantier** contrôle les travaux de l'équipe de réalisation.

■ Contrôle extérieur (maître d'œuvre)

- le **maître d'œuvre** (ou un représentant mandaté) **procède à la vérification de l'application du PAQ de l'entreprise et à l'évaluation de la fiabilité du contrôle intérieur**, par exemple en effectuant par sondage ses propres essais de contrôle.

NB : Pour un ouvrage donné, un même organisme ne peut effectuer à la fois des missions de contrôle intérieur et extérieur sauf cas particulier justifié auprès du maître d'œuvre (par exemple essais avec accréditation COFRAC, qui par définition, sont effectués sans exploitation de résultats).

Dans les tableaux 1 et 2 sont résumées, la répartition générale des rôles et les principales étapes du contrôle. Le détail des phases de contrôle pendant les travaux est donné dans le tableau 3.

Tableaux 1 - Répartition générale des tâches de contrôle.

NATURE DE LA TÂCHE	Régularité des matériaux approvisionnés	Contrôle des processus d'exécution	Contrôle des spécifications	Vérification de l'application du Plan d'Assurance Qualité
EXÉCUTANT	Entreprise (avec résultats essais des fournisseurs)	Entreprise	Répartition * entre entreprise et maître d'œuvre (**)	maître d'œuvre (**)

(*) selon les indications du marché
(**) ou son organisme de contrôle mandaté

Tableau 2 – Les grandes étapes du contrôle

AVANT TRAVAUX	PENDANT TRAVAUX	APRÈS TRAVAUX
<ul style="list-style-type: none"> ● élaboration du PAQ et du SDQ ● réception des matériaux ● essai de convenue de préparation des supports * ● essai de convenue de mise en œuvre et d'assemblage des géomembranes * 	<ul style="list-style-type: none"> ● contrôle d'exécution du PAQ ● voir tableau 3 ci-après. 	<ul style="list-style-type: none"> ● évaluation globale du DEG (étanchéité) ● dossier de récolement et de synthèse des résultats du contrôle intérieur

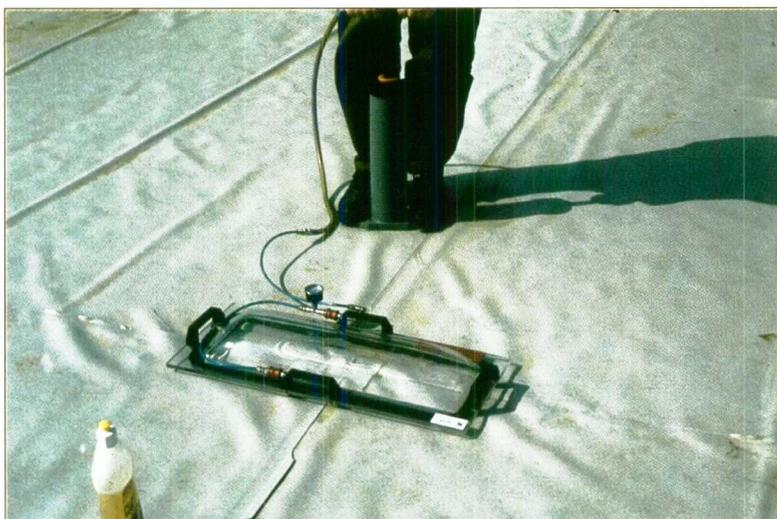
- Le maître d'œuvre peut convenir que le **démarrage des premières préparations de support et assemblages de lés servent de support à l'essai de convenue.**

Contrôle des soudures



Contrôle ultra-sons à grand rendement sur géomembrane bitumineuse

Contrôle par mise en pression hydraulique d'une double soudure



Contrôle d'un point singulier par cloche à dépression

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre **8** Exploitation - entretien de l'ouvrage - prise en compte de la présence du DEG

8.1. Visites de contrôle et d'entretien courant de l'ouvrage - prise en compte de DEG	66
8.1.1. <i>Les objectifs de l'entretien et comment répondre aux objectifs</i>	66
8.1.2. <i>Les différentes phases de l'entretien - Prise en compte du DEG</i>	67
8.2. Intervention en cas d'épisode de pollution accidentelle - prise en compte du DEG	69
8.2.1. <i>Cas ou la structure d'étanchéité est détruite</i>	69
8.2.2. <i>Cas ou la structure d'étanchéité n'est pas détruite</i>	70
8.3. Réparation - réhabilitation partielle ou totale du DEG	70

Les bassins étanches routiers ont pour objectifs de collecter, de réguler et bien souvent de traiter les eaux de ruissellement recueillies.

Pour garantir le bon fonctionnement de ces ouvrages, il convient de les entretenir efficacement et régulièrement.

Rappelons que ce guide traite seulement de l'étanchéité de l'ouvrage et non de l'ouvrage lui-même ; ainsi, dans ce chapitre relatif à l'entretien, le but n'est pas de décrire comment on doit gérer et entretenir l'ouvrage pour atteindre les objectifs initiaux qui lui ont été assignés (stockage, dépollution, ...) mais de **mettre en évidence les rapports existant entre les opérations d'entretien/exploitation nécessaires au maintien de la fonctionnalité de l'ouvrage et la durabilité du dispositif d'étanchéité**. Une bonne conception du DEG permettra une exploitation optimale de l'ouvrage, et ce sans altérer la durabilité du DEG, voire en l'améliorant.

Par ailleurs, il existe trop d'ouvrages inadaptés à l'exploitation, quand ils ne sont pas tout simplement inaccessibles. Or, l'accessibilité est le facteur primordial d'un entretien efficace. Il est donc essentiel que les maîtres d'œuvres prennent en compte les contraintes d'exploitation dans l'ensemble des phases de conception des ouvrages (Cf. Chapitre 4 - Projet).

■ Nature des opérations liées à l'exploitation/entretien :

Dans le présent document il est difficile de différencier nettement exploitation et entretien, c'est pourquoi pour simplifier on ne parlera que d'entretien. On peut distinguer les :

- **Visites de contrôle** et d'entretien de l'ouvrage : courantes (visite, fauchage) et peu courantes (curage)
- Intervention en cas de **pollution accidentelle**
- Réparation et **réhabilitation** du DEG

8.1. VISITES DE CONTRÔLE ET D'ENTRETIEN COURANT DE L'OUVRAGE – PRISE EN COMPTE DU DEG

8.1.1. *Les objectifs de l'entretien et comment répondre aux objectifs*

■ **Les visites d'entretien/contrôle des bassins étanches** répondent à deux objectifs distincts :

● **Garantir le fonctionnement de chaque ouvrage**

- a) Du fait de leur géométrie, certains types de bassins assurent la **décantation des effluents** collectés. Ils se conduisent donc comme des accumulateurs de matériaux décantables, susceptibles, en cas de forte charge et de mauvais entretien, de relarguer tout partie de la pollution accumulée.

Pour répondre à cet objectif, il est donc nécessaire **d'assurer un entretien préventif** de l'ensemble du dispositif ; l'optimisation de cet entretien est fonction de nombreux paramètres (type d'ouvrages, caractéristiques du réseau amont, du bassin versant) et **ne fait pas partie du champ d'application de ce guide**.

- b) **Surveiller la continuité de la structure d'étanchéité** afin que l'ouvrage puisse en particulier assurer sa fonction de rétention de flux polluant.

● **Augmenter la durée de vie de l'ouvrage et du DEG**

- a) La mise en place d'une démarche **d'entretien rationnelle, adaptée à chaque ouvrage** (mode de récupération des décantats, de fauchage, etc) peut permettre d'éviter des sollicitations anormales du dispositif d'étanchéité et, par conséquent, d'augmenter sa durée de vie et donc également la fonctionnalité de l'ouvrage lui-même.
- b) De même **les réparations du DEG effectuées à temps** permettront d'éviter les dégradations irréversibles.

■ Comment répondre aux objectifs

- **Le principe de base : Pour entretenir et gérer de manière optimale un ouvrage, il faut le connaître**

L'expérience prouve qu'il arrive parfois que certaines options d'entretien soient retenues à mauvais escient, du fait d'un manque d'information sur la vocation et la constitution des ouvrages.

Il semble donc essentiel que chaque ouvrage bénéficie d'une **fiche descriptive d'ouvrage** qui synthétise d'une part sa vocation (ouvrage de régulation, de décantation, de stockage, etc.), les hypothèses de conception et, d'autre part, **les choix et options techniques retenus, en particulier pour l'étanchéité**, (Cf. Document Complémentaire – Partie A-5 - proposition de fiche d'ouvrage).

L'exploitant **doit savoir pourquoi tel bassin doit être étanche** ? Quelle est la sensibilité de l'environnement (captages à proximité, etc.) et la stratégie d'intervention sur celui-ci en cas de rejet polluant ? Quelles sont les hypothèses retenues pour la définition et le dimensionnement de l'ouvrage ? Quelle est le type de structure d'étanchéité retenu ? Quelle est sa capacité de rétention d'un polluant chimique ? Quelle est la constitution de la couche de protection, etc ; ces questions peuvent se poser à un exploitant lorsqu'il doit prendre des décisions, suite à un déversement accidentel, mais également pour les entretiens courants ou exceptionnels.

8.1.2. Les différentes phases de l'entretien - prise en compte du DEG

L'entretien des bassins étanches peut se décliner sous trois formes distinctes.

- **des visites de contrôles** qui permettent d'évaluer la tenue générale de l'ouvrage et d'observer tout risque d'altération ou de non fonctionnement
- **un entretien courant** proprement dit, au cours duquel sont opérés des travaux éventuels de fauchage, de faucardage, de démaçonnage et de contrôle des installations annexes ;
- puis, enfin, **l'entretien moins courant**, que l'on peut illustrer notamment par **les travaux de curage**.

8.1.2.1. Les visites de contrôle

L'entretien des ouvrages commence avant tout par leur **contrôle régulier**. Aussi, il semble indispensable que chaque ouvrage soit visité au moins une fois par trimestre afin que l'exploitant puisse évaluer son évolution et contrôler son bon état de fonctionnement.

Certains points ne concernent pas directement ce document (état des vannes, grilles, by-pass).

En ce qui concerne les points liés directement au DEG, ces visites saisonnières doivent permettre de répondre aux questions suivantes :

■ existe-t-il des signes extérieurs d'altération de la géomembrane elle-même ?

- état physique de la géomembrane en partie courante (micro-fissuration),
- fissuration en partie courante ou près des soudures,
- altérations ponctuelles (poinçonnements) induites par le support,
- altérations ponctuelles (poinçonnement, déchirements) liées à des opérations d'entretien.
- déchirures et/ou décollements au droit des raccordements aux ouvrages en béton.

■ existe-t-il des éléments dangereux à terme pour le DEG ?

- instabilité de la couche de protection en talus,
- dégradation de la protection en fond,
- stabilité des crêtes de talus et de la tranchée d'ancrage,
- développements anormaux de végétation en fond ou sur les tranchées d'ancrage (arbustes),
- stabilité du support près des raccordements aux ouvrages en béton,
- tension anormale de la géomembrane, en particulier sur les talus et au raccordement fond/talus ;

à ce niveau, une géomembrane qui n'est plus au contact avec le support (effet " peau de tambour ") sera très vite dégradée lors de l'exploitation.

Cette démarche doit être si possible formalisée par la rédaction **d'une fiche de visite** (exemple proposé en Document Complémentaire – Partie A-5).

Il est toujours **moins coûteux d'effectuer de la prévention des désordres** lorsque c'est possible ou de **traiter ceux-ci dès leur apparition** plutôt que d'attendre car les vitesses globales de dégradation du DEG ne sont généralement pas proportionnelles au temps et augmentent avec celui-ci.

8.1.2.2. L'entretien courant proprement dit

Il comprend : le fauchage, le faucardage et l'entretien des installations annexes.

Au cours de ces opérations, il convient de prendre en compte la présence du DEG.

■ au cours du fauchage et du faucardage

- **Le fauchage** consiste à réaliser une tonte des abords des ouvrages (talus, haut de talus) afin de garantir en permanence l'accessibilité aux installations.
- **Le faucardage** ne concerne que les ouvrages en eau dans lesquels peut se développer une végétation plus ou moins dense. Il consiste à opérer une coupe des végétaux aquatiques au-dessus du niveau d'eau.

Il convient :

- de prendre des précautions pour ne pas endommager mécaniquement les surfaces de géomembrane situées à proximité de zones traitées ;
- d'éliminer la végétation arbustive pouvant endommager la géomembrane ;
- d'observer les éventuels glissements de couches de protection sur les talus et la continuité de leur épaisseur (en fond et talus) ;
- de demander avis au fournisseur de géomembrane pour l'emploi de produits dés herbants.

■ au cours de l'entretien des installations annexes (ouvrages de vidange, d'alimentation, régulateur de débits, vannes ...).

- si la géomembrane n'est pas protégée autour de ces ouvrages annexes (**ce qui est loin d'être la solution optimale**), marcher avec précaution en repérant toute dégradation (en particulier les raccordements aux ouvrages).

■ entre les opérations de curage décrites ci-après, dans le fond d'ouvrages sans protection, il est recommandé d'enlever les objets déposés par les eaux et pouvant être agressifs pour la géomembrane (ferrailles, tessons).

8.1.2.3. Les curages (entretien moins courant)

Les curages ont pour objectif d'évacuer les décantats qui s'accumulent dans les bassins étanches ; ces décantats limitent progressivement leur capacité de stockage et augmentent les risques de relargage.

■ Modalités

- **Dans le cas des bassins en eau**, les phases de curage débutent par **le pompage de l'eau surnageante** avec éventuellement la récupération préalable des hydrocarbures surnageants.
- **Curage du décantat lui-même** ; les techniques utilisées dépendent essentiellement de la nature du bassin (son volume, ses dimensions, son accessibilité en crête et en fond), de l'état physique du décantat (sec ou sous forme de boue), du type de DEG et en particulier de son éventuelle structure de protection.
 - Les bassins les plus petits peuvent être curés à l'aide **de camions vidangeurs**, c'est à dire par pompage des produits de décantation.
 - Les ouvrages les plus importants et bénéficiant d'une couche de protection sont quant à eux curés par des **techniques de terrassement** plus rapides et plus économiques (deux à trois fois moins

coûteuses qu'un pompage) ; un système avertisseur (gravier, géogrille) installé en partie superficielle de la couche de protection et suffisamment éloigné de la géomembrane doit permettre d'éviter son endommagement lors de l'opération de curage mécanique.

■ Incidences de l'opération de curage sur le DEG. – Précautions à prendre

- Il est évident que le curage mécanique impose **une rampe d'accès et une structure de protection sur cette rampe, sur le fond de l'ouvrage et le bas de talus** ; il convient de ne pas altérer cette couche de protection (cas d'une couche granulaire) au cours de ces opérations mais au contraire il faut en profiter pour vérifier son intégrité et la continuité de son épaisseur.
- Dans le cas d'ouvrage avec **chenal central en béton**, il faut veiller à **ne pas endommager les arrêts** de géomembrane sur cet équipement, surtout si ces arrêts sont peu ou pas protégés ou mal positionnés.
- Dans le cas de **géomembrane non protégée**, aucune circulation d'engins mécaniques n'est admise en fond de bassin et les travaux manuels (pelles) doivent être réalisés **avec la plus grande prudence** car certaines géomembranes présentent des plis qui peuvent être masqués par les décantats et sont de ce fait très vulnérables ; ce risque étant accentué pour certaines membranes présentant soit un ramollissement important (PVC-P, bitumineux) lorsque les températures ambiantes sont élevées, soit des mises en tension (retrait) excessives (PVC-P).
- Pour les opérations **de vidange par camion**, il faut bien veiller au choix de la position du camion en crête de talus, surtout si les accès périphériques sont étroits, de façon à ne pas altérer la géomembrane au droit de la tranchée d'ancrage.

■ Prise en compte de l'exploitation dans la conception de l'ouvrage et du DEG.

La présence d'une rampe d'accès et d'une protection circulaire généralisée en fond de bassin et bas de talus est un critère important pour optimiser l'entretien courant et les curages ; c'est un investissement d'autant plus justifié si l'on prend en compte également l'augmentation de durée de vie liée à la protection contre les effets naturels du vieillissement.

8.2. INTERVENTION EN CAS D'ÉPISODE DE POLLUTION ACCIDENTELLE - PRISE EN COMPTE DU DEG.

Lors d'un déversement accidentel de produit polluant se produisant sur la voie et atteignant les ouvrages comportant un DEG il se pose d'abord les problèmes relatifs à la protection du milieu naturel et non spécifiques au DEG : ceci concerne la gestion de l'événement prenant en compte la nature chimique des produits, leur caractère nocif pour l'environnement, la sensibilité et la vulnérabilité du milieu environnant concerné, les caractéristiques physiques du polluant (solubilité, densité) sa concentration initiale et sa dilution in situ éventuelle par temps de pluie : **ces considérations, en relation directe avec le type d'ouvrage concerné et son mode de gestion, ne font pas l'objet de ce guide.** Dans ce document, ne sont traités que les problèmes spécifiques au DEG.

8.2.1. Cas où la structure d'étanchéité est détruite

Dans certains cas extrêmes, un polluant **d'une nature chimique donnée peut détruire localement une structure d'étanchéité d'un type donné et atteindre le milieu naturel** ; ceci sera fonction de la nature du produit polluant, de sa concentration, de la nature chimique de la géomembrane et donc de sa résistance chimique, et surtout de la DURÉE de contact entre le polluant et la géomembrane (et éventuellement de la température) : à titre d'exemple, on peut citer le cas de la détérioration d'une géomembrane bitumineuse en particulier au droit des joints (s'ils n'ont pas fait l'objet d'un renforcement spécial) ou du décollement des joints d'une membrane EPDM, qui se produit en une durée d'un à quelques jours (suivant les produits), au cours d'un déversement d'hydrocarbures concentrés (essence) dans un bassin fonctionnant à sec.

Dans ce cas, si la récupération du polluant n'a pu être effectuée à temps, la fonctionnalité de RÉTENTION pour la protection du milieu naturel n'a pas été ASSURÉE et il convient de prendre les mesures appropriées de gestion du milieu naturel (localisation et récupération du polluant, etc.) ; ce

cas est heureusement rare mais il est nécessaire au gestionnaire de bien connaître ses ouvrages (Cf. § 8.1.1. " connaître son ouvrage ") afin de définir en cas de besoin les modalités d'intervention appropriées (moyens, durée ...).

8.2.2. Cas où la structure d'étanchéité n'est pas détruite

Plusieurs cas peuvent être envisagés :

- **la structure d'étanchéité** a rempli sa mission de RÉTENTION du polluant mais il est **visible qu'elle est physiquement altérée** : quasi-percement, fort ramollissement de la géomembrane ou du produit de collage des joints, ...

Il convient d'inventorier les dégâts, généralement avec l'aide d'un spécialiste, et de remplacer la géomembrane dans les zones où elle est dégradée ; cet examen peut s'avérer difficile si le DEG comporte une structure de protection ; on procédera alors par sondage sur les zones a priori les plus affectées. **L'ensemble des coûts afférents à l'examen et à la réparation** doit être pris en compte dans le règlement général du sinistre à l'origine du déversement ;

- **la structure d'étanchéité n'a apparemment aucun dégât ; elle semble donc apte à continuer à assurer sa fonction de rétention.**

- L'examen d'un spécialiste est cependant nécessaire pour déterminer si l'épisode n'a pas altéré la composition chimique ou physico-chimique de la géomembrane, induisant de ce fait une RÉDUCTION POSSIBLE DE SA DURÉE DE VIE - citons, par exemple, la déplastification partielle d'une géomembrane PVC-P en contact prolongé avec de l'essence qui peut induire une forte fragilisation en service à basse température.

- Si cette altération est avérée, on est donc **bien en présence d'un dommage**, pouvant être certes difficile à évaluer mais qui est à régler dans le cadre général du sinistre, d'autant plus que ceci peut amener l'entreprise qui a réalisé le DEG à suspendre tout ou partie de ses garanties sur tout ou partie de l'ouvrage (Cf. § 4.5.) ;

- **dans tous les cas, il convient donc d'évaluer les dégâts** avec l'entreprise qui a réalisé le DEG et donné sa garantie, généralement avec le fabricant de la géomembrane et si possible avec un tiers spécialiste.

Après l'examen de la structure d'étanchéité, il convient d'examiner d'éventuelles dégradations d'autres composants du DEG, par exemple les géotextiles et/ou les géocomposites de drainage.

8.3. RÉPARATION - RÉHABILITATION PARTIELLE OU TOTALE DU DEG

- **Constat de l'état**

On considère ici toutes les altérations constatées sur la géomembrane ou le DEG et qui ne correspondent pas aux circonstances accidentelles du § 8.2. ; il peut s'agir en particulier de :

- **dégradations occasionnées lors des opérations d'entretien ou par du vandalisme ;**
- **dégradations pendant la période de garantie** : tassements du support à proximité d'ouvrages en béton, glissement de structure de protection ayant induit ou non des déchirements de géomembrane, vieillissement prématuré, tension anormale et déchirement d'une géomembrane non protégée, poinçonnement, etc .

Il s'agira, au coup par coup, d'estimer s'il s'agit de dégradations dont la nature et les causes sont prévues dans les clauses de garanties ;

- **dégradation de la géomembrane après la période de garantie** et liée à son vieillissement naturel en service : par exemple, fissuration par retrait ou poinçonnement sur aspérités du support, liés au vieillissement climatique et sous contrainte de la géomembrane.

- **Nature des interventions.**

Pour tous ces cas, il n'est pas possible de donner la nature précise des interventions de réhabilitation puisque celles-ci sont spécifiques à **la nature de la géomembrane, à la nature et l'étendue des dégradations**, aux hypothèses concernant **leur vitesse d'évolution ultérieure** et de

la **possibilité de réparation** : par exemple, la soudure d'une nouvelle géomembrane sur une ancienne peut être, selon les cas, plus ou moins facile voire très difficile.

Il conviendra d'envisager :

- soit une **réfection totale, - à l'identique ou avec des améliorations** : par exemple, structure de protection en zone suburbaine (vandalisme), renforcement de la stabilité du support près des ouvrages en béton (béton ou grave-ciment), protection des zones vulnérables lors des opérations d'entretien, etc ;
- soit des **réparations ponctuelles et des améliorations localisées** : pose de pièces sur zones poinçonnées ou déchirées, découpe et pose de pièces sur zones trop tendues, aménagements localisés de la structure de protection, etc ; là encore, la décision dépendra de la nature et de l'étendue des dégâts et de la **réparabilité** de la géomembrane.

Pour ces diagnostics et projets de réhabilitation partielle, il convient de contacter l'entreprise d'étanchéité et le fabricant de produit ; l'intervention d'un tiers spécialiste est recommandée.

Page laissée blanche intentionnellement

Annexes

1.	Bibliographie	74
1.1.	Documents normatifs (AFNOR)	75
1.1.1.	<i>Géomembranes</i>	75
1.1.2.	<i>Géotextiles</i>	76
1.2.	Projet de normes européennes	77
2.	Abréviations et glossaire	78
2.1.	Abréviations	78
2.2.	Glossaire	79
3.	Spécifications des produits et des joints	82
3.1.	Spécifications des géomembranes	82
3.2.	Spécifications des géotextiles	86
3.3.	Spécifications des joints	88
4.	Programme de contrôle des travaux	89
4.1.	Détails techniques des différents postes de contrôle mentionnés au chapitre 7.2	89
4.2.	Contrôle de conformité des matériaux manufacturés - essais en laboratoire : nature, fréquence, répartition	90
4.2.1.	<i>Répartition entre les différents intervenants et fréquences des contrôles</i>	90
4.2.2.	<i>Suite à donner aux contrôles</i>	91
4.3.	Contrôles des joints	91

1. BIBLIOGRAPHIE

[1] L'Eau et la route Guide Technique- SETRA - (1993 à 1999) - volumes 1 à 7

- Volume 1 - Problématique des milieux aquatiques
- Volume 2 - L'élaboration du projet
- Volume 3 - La gestion de la route
- Volume 4 - Les atteintes aux milieux aquatiques
- Volume 5 - Lois et réglementation sur les ressources en eau
- Volume 6 - La pollution accidentelle sur les grandes infrastructures
- Volume 7 - Dispositifs de traitement des eaux pluviales.

[2] Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes
COMITE FRANÇAIS DES GEOTEXTILES ET GÉOMEMBRANES (CFGG) - 1991 - Fascicule n° 10

[3] Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets
COMITE FRANCAIS DES GEOSYNTHETIQUES (CFG) - 1995 - Fascicule n° 11.

[4] Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes bentonitiques
COMITE FRANÇAIS DES GEOSYNTHETIQUES (CFG) – 1999

5] Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) applicables aux Marchés Publics de Travaux
Etanchéité des ouvrages souterrains Fascicule 67 - Titre III – textes officiels Equipement - Logement (22/01/1992). N°92 - STO.

[6] Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR)
Guide Technique SETRA/LCPC - septembre 1992 (actuellement en cours de réactualisation)

[7] Procédure de certification des géomembranes
SETRA – Note d'Information n° 107 – Mai 1999

[8] Géotextiles certifiés – Prise en compte dans les pièces contractuelles.
SETRA – Note d'Information n° 71 – Mars 1992

[9] Etanchéité par géosynthétiques bentonitiques – Etat de l'Art
Colloque Paris 2/3 Février 1998 – INSA – Villeurbanne (69)

1.1. DOCUMENTS NORMATIFS (AFNOR)

1.1.1. Géomembranes

NF P 84-500	Terminologie (version de 1998)
NF P 84-501	Détermination des caractéristiques en traction
NF P 84-502.1	Essais sur joints : détermination des caractéristiques en traction-cisaillement
NF P 84-502.2	Essais sur joints : détermination des caractéristiques en traction-pelage
NF P 84-504	Echantillonnage
NF P 84-505	Mesure de l'angle de frottement "géomembrane-sable normal" à la boîte de cisaillement
NF P 84-506	Détermination de la résistance au poinçonnement dynamique
NF P 84-507	Détermination de la résistance au poinçonnement statique des géomembranes et des dispositifs d'étanchéité par géomembranes – Cas du poinçon cylindrique sans support
NF P 84-509	Comportement dans l'eau - Essai accéléré et essai à long terme - Examen gravimétrique
NF P 84-510	DEG - Détermination de la résistance au percement par granulats sur support rigide (révision en 1999).
NF P 84-511.2	Détermination des caractéristiques en souplesse (3D)
NF P 84-512.1	Epaisseur des géomembranes lisses
XP P 84-512.2	Epaisseur des géomembranes non lisses
NF P 84-514	Détermination de la masse surfacique
NF P 84-515	Mesure du niveau d'étanchéité conventionnel d'une géomembrane
NF P 84-520	Identification sur site
NF P 84-522	DEG - Mesure de l'angle de glissement à l'aide d'un plan incliné
NF P 84-515	Mesure du niveau d'étanchéité conventionnel d'une géomembrane.

1.1.2 Géotextiles

NF G 38-000	Vocabulaire des géotextiles
NF G 38-010	Atmosphère de conditionnement d'essai
NF G 38-019	Détermination de la résistance au poinçonnement statique (pyramidal)
NF G 38-021.2	Détermination des caractéristiques en souplesse
NF G 38-050	Identification
NF G 38-060	Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés. Mise en œuvre - spécifications - contrôle des géotextiles et produits apparentés
NF G 38-061	Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés. Détermination des caractéristiques hydrauliques et mise en œuvre des géotextiles et produits apparentés utilisés dans les systèmes de drainage et de filtration
NF EN 963	Echantillonnage – Prélèvement des éprouvettes
NF EN-965	Détermination de la masse surfacique
NF EN 30 320 (G 38105)	Identification sur site.
NF EN ISO 10319 (G 38 129)	Essai de traction des bandes larges
NF EN ISO 12236 (G 38 120)	Essai de poinçonnement statique (essai CBR).
NF EN ISO 11058	Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau normalement au plan, sans contrainte mécanique.
NF EN ISO 12958	Détermination de la capacité de débit dans le plan.

1.2. PROJETS DE NORMES EUROPEENNES

PR EN 1107-1	Feuilles souples d'étanchéité - Partie 1 : Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses - Détermination de la stabilité dimensionnelle.
pr EN 1109	Feuilles souples d'étanchéité - Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses - Détermination de la souplesse à basse température.
pr EN 1296	Feuilles souples d'étanchéité - Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses, plastiques et élastomères - Méthode de vieillissement artificiel par exposition de longue durée à température élevée.
pr EN 1297 durée	Feuilles souples d'étanchéité - Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses, plastiques et élastomères - Méthode de vieillissement artificiel par exposition combinée de longue durée aux rayonnements UV, à la température élevée et à l'eau.
pr EN 1848-1 de	Feuilles souples d'étanchéité - Partie 1 : Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses - Détermination de la longueur, de la largeur et de la rectitude.
pr EN 12310-1	Feuilles souples d'étanchéité - Partie 1 : Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses - Détermination de la résistance à la déchirure (au clou).
pr EN 495-5 (P 84 604) (Février 2000)	Feuilles souples d'étanchéité. Partie 5 - Feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Détermination de la pliabilité à basse température.
pr EN 1107-2 (Juin 1997)	Feuilles souples d'étanchéité - Feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomère - Détermination de la stabilité dimensionnelle à température élevée.

2. ABRÉVIATIONS ET GLOSSAIRE

ANNEXE 2.1. Abréviations

ASQUAL	→	Association pour la qualité dans le textile
AFNOR	→	Association Française de Normalisation
BNSR	→	Bureau de Normalisation Sols et Routes
CCAG	→	Cahier des Clauses Administratives Générales
CCAP	→	Cahier des Clauses Administratives Particulières
CCTG	→	Cahier des Clauses Techniques Générales
CCTP	→	Cahier des Clauses Techniques Particulières
CFG	→	Comité Français des Géosynthétiques (ex CFGG - Comité Français des Géotextiles et Géomembranes)
DCE	→	Document de Consultation des Entreprises
DEG	→	Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane
DEGB	→	Dispositif d'Etanchéité par Géocomposites Bentonitiques
EN	→	Normes Européennes
GMB	→	Géomembrane
GSB	→	Géosynthétiques Bentonitiques
GTAR	→	Guide Technique pour l'Assainissement Routier
GTR	→	Guide des Terrassements Routiers
GTX	→	Géotextile
GTX inf.	→	Géotextile inférieur (sous géomembrane)
GTX sup.	→	Géotextile supérieur (sur géomembrane)
ISO	→	Normes Internationales
NF	→	Normes Françaises
PAQ	→	Plan d'Assurance Qualité
PBE	→	Niveau des plus basses eaux
PHE	→	Niveau des plus hautes eaux
SDQ	→	Schéma Directeur de la Qualité
SOPAQ	→	Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité
TN	→	Cote de terrain naturel
TV	→	Terre végétale
PVC-P	→	Polychlorure de vinyle plastifié
PP-F	→	Polypropylène flexible
PEHD	→	Polyéthylène haute densité
EPDM	→	Ethylène propylène diène monomère

ANNEXE 2.2. Glossaire

Assemblage par recouvrement *	<p>Action d'assembler, de manière étanche et durable, vis-à-vis des sollicitations de service, les lés, nappes (ou panneaux) entre eux.</p> <p>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.</p> <p><i>Le terme assemblage sera réservé à la liaison entre géomembranes. La liaison entre une géomembrane et un matériau autre que celle-ci, sera selon les cas, qualifiée de raccordement, ancrage.</i></p>
Bitume polymère *	<p>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.</p>
Bitume soufflé * (ou oxydé)	<p>Bitume qui a subi une opération de soufflage d'air chaud dans le but de réduire sa susceptibilité thermique.</p>
Collage *	<p>Mode d'assemblage de deux surfaces par apport d'un matériau adhésif, liquide ou pâteux, froid ou chaud.</p>
Collage par film (ou par bande d'apport) *	<p>Collage consistant à intercaler entre les surfaces à solidariser un film auto-adhésif généralement réactivé.</p>
Confinement	<p>Voir rétention.</p>
Couche de forme *	<p>Couche de la structure support reposant sur le fond de forme.</p>
Couche support *	<p>Couche de la structure support sur laquelle repose la structure d'étanchéité.</p>
Couvre-joint *	<p>Bande de géomembrane, mise en place par collage ou soudure, et destinée à renforcer la solidité et/ou l'étanchéité d'un joint.</p>
Dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) *	<p>Ensemble de composants constitué par : une structure support si nécessaire, la structure d'étanchéité, une structure de protection si nécessaire</p>
Double soudure *	<p>Mode 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 essais d'étanchéité du joint, sous pression.</p>
Elastomère *	<p>Polymère ayant un comportement quasi élastique ; l'élasticité peut être totale ou partielle selon le produit concerné ou l'intensité de la force appliquée.</p>
Elastomère caoutchouc *	<p>Elastomère 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.</p>
Fond de forme *	<p>Surface sur laquelle repose le dispositif d'étanchéité par géomembrane.</p>
Géocomposite **	<p>Matériau composite comprenant au moins l'un des géosynthétiques suivants : géotextile, géogrille, géospaceur, géomembrane, géoconteneur.</p>
Géoconteneur **	<p>Structure tridimensionnelle permettant le confinement, la stabilité et le renforcement d'un matériau de remplissage.</p>

Géospaceur **	Structure polymère tridimensionnelle utilisée dans les applications de géotechnique et de génie civil, permettant de maintenir l'espace entre deux matériaux notamment en vue d'un drainage.
Géogrille **	Structure plane constituée par un réseau ouvert d'éléments résistants à la traction, reliés entre eux selon un motif régulier, et utilisée dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.
Géomembrane *	Produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche au liquide même sous les sollicitations en service.
Géomembrane armée *	Géomembrane comportant une armature constituée d'une structure ou d'éléments de renforcement.
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.
Géomembrane manufacturée *	Géomembrane réalisée en usine. La géomembrane est fabriquée sous forme de lés conditionnés en rouleaux ou en nappes.
Géomembranes et produits apparentés **	Géosynthétiques dont la fonction principale est l'étanchéité aux fluides : géomembranes, géocomposites bentonitiques etc.
Géosynthétique bentonitique ***	Produit manufacturé en forte de nappe associant des géosynthétiques à de la bentonite, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil et assurant un rôle d'étanchéité.
Géotextile **	Matériau perméable, qui peut être tissé, non tissé ou tricoté, utilisé dans les applications de géotechnique et de génie civil.
Géotextiles et produits apparentés **	Géosynthétiques qui ont pour caractéristique commune d'être perméables aux fluides ou dont l'étanchéité n'est pas la fonction principale : géotextiles, géogrilles, géospaceurs, géoconteneurs, certains géocomposites etc.
Joint *	Zone de liaison entre lés, nappes (ou panneaux) ; par extension désigne aussi le résultat de l'opération d'assemblage.
Lé *	Largeur de production d'une géomembrane. Usuellement, bande de géomembrane.
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.
Matériau associé *	Couche de matière organique ou minérale, adhérente à une ou deux faces de la géomembrane, dans une géomembrane composée.
Nappe (ou panneau) *	Ensemble des lés assemblés de manière définitive en usine ou dans un atelier proche du site de service.
Piégeage	Voir rétention
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.
Polymère réticulé *	Polymère dans lequel une structure tridimensionnelle est formée par une liaison

	chimique entre ses chaînes.
Rétention (piégeage, confinement)	Action de retenir un polluant dans un ouvrage pour eaux de ruissellement routier.
Sens production *	Direction d'avancement d'une géomembrane manufacturée, pendant sa fabrication.
Sens travers *	Direction perpendiculaire ou sens de production.
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.
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 solvant *	Mode d'assemblage avec pression, de produits généralement thermoplastiques pour lesquels les surfaces sont amollies à l'aide d'un solvant : celui-ci s'élimine par absorption et/ou 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 suffisamment élevée pour provoquer 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.
Soudure par extrusion	La soudure peut dans certains cas (PEHD par exemple) s'effectuer avec apport de matière, ramollie par la chaleur, de nature identique à celle de la géomembrane.
Structure d'étanchéité *	Structure constituée par une ou plusieurs géomembranes séparées par un ou plusieurs des éléments suivants : dispositif drainant, couche de sol, éléments de protection.
Structure de protection *	Structure mise en place sur la structure d'étanchéité de façon à la protéger pendant la mise en œuvre et en service.
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).
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.
Vulcanisation *	Réticulation au moyen de soufre ; par extension on utilise improprement ce terme pour des réticulations ne faisant pas appel au soufre

* Définitions tirées de norme NF P 84-500
 ** Définitions tirées de [3]
 *** Définitions tirées de [4]

3. SPÉCIFICATIONS DES PRODUITS ET DES JOINTS

3.1. SPÉCIFICATIONS DES GÉOMEMBRANES

Tableau 1

Stipulations : - produits certifiés marque ASQUAL (ou procédure reconnue équivalente - Cf. 3.1. note 1)
- produits conformes à la norme NFP 84-500 (juin 1998) et aux spécifications du tableau 1 ci-après.

Remarques:

Ces spécifications s'appliquent à des géomembranes lisses et non composées (sans matériaux associés), à des géomembranes non armées pour des matériaux de synthèse et armées pour des géomembranes bitumineuses. Bien noter que l'épaisseur spécifiée peut être supérieure à celle mentionnée dans ce tableau mais pour un certain nombre de caractéristiques les valeurs spécifiées dans ce tableau ne correspondent qu'à l'épaisseur indiquée en ligne 1.1.

Caractéristiques	Origine de la valeur déclarée *	Géomembrane utilisée avec ou sans structure de protection		Méthode	VALEURS SPÉCIFIÉES (**) (VME)					
		Avec	Sans		Bitumineuses		Matériaux de synthèse non armés (k)			
					Oxydé (B0)	Polymère (BP)	PVC-P	PEHD	PP-F	EPDM
1. Dimensions										
• 1.1. Epaisseur (fonctionnelle) mm	LI	X	X	NFP 84-512	4 (≥3,6)	3,5 (≥3,2)	≥1,2(≥1,14)	≥1,5(≥1,42)	≥1,2(≥1,14)	≥1,14 (≥1,08)
• 1.2. Largeur (m)	DF	X	X	EN 1848	≥2	(≥1,95)	≥2 (≥1,95)	≥2 (≥1,95)	≥2 (≥1,95)	≥2(≥1,95)
2. Traction monoaxiale (dans chaque sens production (P) et travers (T))										
• A la rupture	LI	X	X	NFP 84-501 et ASQUAL	NA		≥11	≥18	≥9	≥6
- Contrainte (MPa) (f)					T≥14	≥12	≥13	≥27	≥11	≥8
- Résistance (kN/m)					P≥17	≥15				
- Déformation (%)					≥40		≥270	≥550	≥510	≥270
• Au seuil d'écoulement (b) (éventuel)										
- Contrainte (MPa) (f)							NA	≥13,5	≥3,9	NA
- Résistance (kN/m)							NA	≥20	≥4,7	NA
- Déformation (%)							NA	9 à 17	≥28	NA
3. Poinçonnement statique										
• Résistance (N)	LI	X	X	NFP 84-507 (poinçon cylindrique)	≥380	≥350	≥270	≥450	≥180)	≥90
• Déplacement (mm) (a)				(Ø 6 mm)	≥8 (a)		≥16	≥8 (a)	≥12 (a)	≥25

Caractéristiques	Origine de la valeur déclarée *	Géomembrane utilisée avec ou sans structure de protection		Méthode	VALEURS SPÉCIFIÉES (**)					
		Avec	Sans		Bitumineuses		Matériaux de synthèse non armés (k)			
					Oxydé (B0)	Polymère (BP)	PVC-P	PEHD	PP-F	EPDM
4. Souplesse • 4.1. Souplesse à basse température (pliabilité) (SBT) (°C) (d)	LI ou DF	X	X	Pr EN1109 (j) ou NFP 84-350 (d)	≤ 0	≤ - 20	NA	NA	NA	NA
4.2. Pliabilité à basse température	LI ou DF	X	X	Pr EN 495-5 (i)			≤ - 20	≤ - 20	≤ - 20	≤ - 20
5. Résistance à la propagation de déchirure • 5.1. Amorcée (m) (N/mm d'épaisseur) • 5.2. Clou (N)	LI ou DF			T 54108 (trapèze) ISO 34 (i)	NA		≥ 40	≥ 125	≥ 60	≥ 25
		X	X	Pr EN 12310-1	P ≥ 300 / T ≥ 250 même remarque qu'en § 5.1.		NA	NA	NA	NA
6. Stabilité dimensionnelle (retrait libre après température élevée) (en %)	LI ou DF		X	24 h à 80° C pr EN1107-1	≤ 0,6					
				EN 1107-2 6 h à 80° C	NA		≤ 2	≤ 1	≤ 2	≤ 0,5
7. Résistance au stress-cracking (en heures)	LI ou DF	X	X	ASTM D 1693	NA		NA	≥ 2000	NA	NA
8. Planéité ; ondulation maximum des lés (au bord et parties courantes) (en cm)	DF	X	X	Pr EN 1848-1 (c) Pr EN 1848-2 (c)	≤ 4		≤ 3	≤ 6	≤ 4	≤ 3
9. Capacité de rétention de courte durée d'hydrocarbures pour la membrane et les joints (en jours)	LI	X	X	MO LRPC Lyon (essence super sans plomb) (o)	≥ 3		≥ 3	≥ 3	≥ 3	≥ 3
					Le fabricant précisera également le comportement à 10 jours et 1 mois					
10. Durabilité • 10.1. Géomembrane • 10.1.1. Effet de la température.	LI ou DF	X	X	24 semaines à 70° C pr EN 1296	SBT ≤ 5°C (d)	SBT ≤ 5°C (d)	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Variation de [2] inf. à 25 % (relatif) (n) Augmentation [4.2] inf. à 10 ° C (n) </div>			
10.1.2. Tenue dans l'eau – perte de poids (en %)	LI	X	X	• 10 j à 60°C • 6 mois à 23°C NFP 84-509	NA		≤ 1 ≤ 2	NA	NA	NA
10.1.3. Vieillessement artificiel	LI ou DF		X	Pr EN 1297 5000 h UV (e)	pour BP seulement (q)		X	X	X	X
					idem §10.1.1 et pas d'altérations visuelles (1)					

Caractéristiques	Origine de la valeur déclarée *	Géomembrane utilisée avec ou sans structure de protection		Méthode	VALEURS SPÉCIFIÉES (**)					
		Avec	Sans		Bitumineuses		Matériaux de synthèse non armés (k)			
					Oxydé (B0)	Polymère (BP)	PVC-P	PEHD	PP-F	EPDM
10.2. Joints (k) Effet de la température (selon 10.1.1.) Effet de l'eau (selon 10.1.2) • Résistance au pelage • Résistance au cisaillement	LI ou DF	X	X		Variation des résistances mécaniques spécifiées en tableau 2 - inférieures à 25 %; mode de rupture identique à celui spécifié en tableau 2					
					X		X	X	X	X
11. Caractéristiques d'identification										
• 11.1. % de noir de carbone	LI	X	X	NFT 51-140 (mai 1974)	NA	NA	2 à 3	2 à 3	NA	NA
• 11.2. Dispersion du noir de carbone	LI ou DF	X	X	ASTM 5596	NA	NA	Niveau 1 tolérance 2	Niveau 1 tolérance 2	NA	NA
• 11.3. Masse surfacique (g/m ²)	LI	X	X	NFP 84-514	X -10 %	X	2) valeur déclarée par le fabricant avec tolérance	2) valeur déclarée par le fabricant avec tolérance	X	X
• 11.4. Masse volumique (g/cm ³)	LI	X	X	NFT 51-063 (méthode A) NFT 46030 (méthode A)	NA	X valeur déclarée ± 5 %	≥ 0,930 à 0,940 (r)	0,890 à 0,910	NA	NA
• 11.5. Analyse thermique O.I.T. (min) (Oxydation Induction Time)	LI ou DF	X	X	200 ° C 100 kPa ASQUAL	NA	NA	> 80	NA	NA	NA
• 11.6. Analyse thermique a) DSC (p) b) ATG (p)	LI ou DF	X	X	ASQUAL	NA NA	valeurs déclarées par le fabricant (tolérance ASQUAL) courbe à fournir sur demande				NA X
• 11.7 Composition centésimale (t)	LI	X	X	ASQUAL	X valeur déclarée ± 10 %	valeurs déclarées par le fabricant (tolérance ASQUAL) courbe à fournir sur demande				
• 11.8 Nature et % plastifiant	LI	X	X	ASQUAL	± 10 % de la valeur déclarée					
• 11.9 Spectre infra-rouge	LI	X	X	ASQUAL	X (pour BP) spectre à fournir sur demande					

X : Caractéristique à spécifier pour le domaine d'utilisation considéré.

NA : Non Applicable – la mesure de la caractéristique concernée ne s'applique pas à la famille de produit considérée

* Pour une caractéristique donnée, origine de la valeur déclarée par le postulant au marché :

- LI : Laboratoire Indépendant du fabricant ou ASQUAL s'il s'agit d'un matériau certifié ASQUAL et d'une caractéristique prise en compte par l'ASQUAL (Cf. Note 3)

- DF : Déclarée par le fabricant (Contrôle Intérieur)

** Les valeurs indiquées sont les valeurs minima ou maxima exigibles (VME) pour tout contrôle de chantier (pour l'épaisseur et la largeur, les valeurs indiquées sont nominales et les minima exigés sont entre parenthèses).

Note 1 **Évaluation de l'équivalence** - Cf. § 5.1.2.

Note 2 **Pour le choix d'un produit** ces valeurs spécifiées (VME) sont à comparer avec celles garanties (mini ou maxi) par le fabricant et figurant sur les fiches techniques ; pour un matériau certifié ASQUAL, sur les fiches de certification pour chaque caractéristique sont actuellement mentionnées les valeurs nominales : il convient donc de déterminer les valeurs mini et maxi acceptables compte-tenu de la plage de variation admise (PRV 95 %) et les comparer aux valeurs spécifiées (VME) tableau 1.

Note 3 A l'appui de son offre, l'entreprise d'étanchéité fournira une fiche technique de la géomembrane utilisée comportant les valeurs de l'ensemble des caractéristiques mentionnées dans le tableau 1 et mesurées selon les normes indiquées dans ce tableau ; il y sera précisé l'origine de la valeur :

- valeur certifiée par l'ASQUAL (CA)

- valeur mesurée par un Laboratoire Indépendant (LI) accrédité COFRAC (ou équivalent) pour les essais qui relèvent de cette accréditation, ou mesurée par l'ASQUAL mais non certifié ; pour les autres essais, le laboratoire sera certifié ISO 9001 ou 9002 (rapport d'essais de moins de 3 ans)

- valeur déclarée par le fabricant, suite à un contrôle intérieur (DF) (rapport d'essais de moins de 3 ans)

Note 4 Pour un ouvrage donné, on ne doit utiliser qu'une seule référence commerciale, même si la famille chimique est identique. Pour un produit certifié, les appellations commerciales mentionnées sur les fiches de certification, les étiquettes de certification, et le marquage sur le produit doivent être identiques.

Renvois correspondant au tableau 1 :

- a) correspond à la rupture ou au pic d'effort maximum avant la rupture s'il y a plusieurs pics sur la courbe
- b) il s'agit d'un pseudo seuil pour le PP-F
- c) déroulement sur un support plan
- d) S.B.T. : Souplesse Basse température : méthode UEATC (ou NFP 84-350) : réalisation d'un enroulement manuel auto autour d'un mandrin Ø 20 mm sans fissuration à la plus basse température possible.
- e) action combinée chaleur (60° C)/eau/rayonnement UV (U.V.A. par lampes fluorescentes).
- f) n'est à mentionner que pour les géomembranes non armées et non composées
- g) effectués sur une soudure manuelle (bitumineux, EPDM) ou une soudure automatique (autres matériaux de synthèse) conforme aux spécifications (annexe 3.3.), effectuée et fournie par le fabricant
- h) les principes de mesure sont en accord avec la norme pr EN 1847-2 (norme générale sans spécifications précises)
- i) déchirure amorcée sur éprouvette angulaire (idem NF 46007) ; entaille de 1 mm.
- j) pliage à vitesse constante entre 3 mandrins
- k) PVC- P Polychlorure de vinyle plastifié - PEHD Polyéthylène Haute Densité -
 PP-F Polypropylène flexible - EPDM Ethylène propylène diène monomère
- l) observation à la loupe avec grossissement 6 à 10 et selon norme PR EN 1850 (1 et 2) - aucune fissure
- m) les spécifications sont indicatives et provisoires (évolution de la Réglementation dans ce domaine)
- n) il s'agit d'évaluer l'évolution d'une caractéristique mesurée avant vieillissement
- o) méthode selon Document Complémentaire - Partie A-1-3.
- p) **DSC** : Differential Scanning Calorimetry (calorimétrie différentielle : selon les produits on détermine : pour le PVC-P température de transition vitreuse, pour la PEHD et PPF point de fusion, enthalpie de fusion.
ATG : Analyse thermique gravimétrique
 Tolérances sur les valeurs déclarées, en cours d'étude ; courbes à fournir sur demande.
- q) le projet de norme EN 13707 (Août 1999) n'envisage son application qu'aux bitumes-polymères
- r) relatif à la résine de base - une correction est à faire sur la masse volumique du produit fini en fonction du taux réel de noir de carbone
- s) spécification en cours d'étude
- t) pourcentage de liant, de fines et d'armature.

3.2. SPÉCIFICATIONS DES GÉOTEXTILES

Stipulations:

- produits certifiés ASQUAL (ou procédure reconnue équivalente). Cf. § 3.1. note 1
- produits conformes aux spécifications du tableau 2 ci-après.

- **Tableau 2** –Spécifications des géotextiles

- Valeurs nominales certifiées (14) - Entre parenthèses (Valeurs Minima Exigibles VME) (15)	POSITION DU GEOTEXTILE DANS L'OUVRAGE						
	MÉTHODE D'ESSAI	FOND DE BASSIN		TALUS		TALUS	
		Géotextile sous et sur (5) la géomembrane		Géotextile sous géomembrane		Géotextile (11) sur géomembrane (5)	
CLASSE DE RÉSISTANCE AU POINÇONNEMENT STATIQUE		Réduite (17)	Normale	Renforcée	Normal	Renforcée	
Masse surfacique (g/m ²) (9)	NF EN 965	≥ 300 (≥ 270)	≥ 400 (≥ 360)	≥ 600 (≥ 540)	non spécifiée (7)	non spécifiée (7)	
Résistance au poinçonnement statique (κN)	NFP 38019 (pyramidal) ou NF P 84-506 (cylindrique Ø 8 mm) (16)	≥ 1,5 (≥ 1,2) ≥ 0,4 (≥ 0,3)	≥ 2 (≥ 1,6) ≥ 0,5 (≥ 0,4)	≥ 3 (≥ 2,4) ≥ 0,75 (≥ 0,6)	≥ 2 (≥ 1,6) ≥ 0,5 (≥ 0,4)	≥ 3 (≥ 2,4) ≥ 0,75 (≥ 0,6)	
CLASSE DE RÉSISTANCE EN TRACTION		NORMALE (10)			RENFORCÉE		
R résistance (κN/m)	NF EN ISO 10319	≥ 12 κN/m	≥ 15 κN/m		A dimensionner 20 à 100 KN/m (1.1.)		
Deformation (%)		≥ 50 %			A dimensionner (1-2)		
TRANSMISSIVITE (K.e)m ² /s	NFG 38018	pas de spécifications			A dimensionner indicatif : > 10 ⁻⁵ à 10 ⁻⁴ (2)		
PERMITTIVITE (K.v/e)s ⁻¹	NFG 38016	pas de spécifications			A dimensionner indicatif : > 10 ⁻² (6)		
NATURE CHIMIQUE		Indifférenciée sauf (3) et (4)					
TYPE		pas de spécifications (12)			pas de spécifications (13)		

- (1-1) Plage de valeur donnée à titre indicatif ; une étude de dimensionnement est à effectuer à chaque cas ; dans le cas-type traité en Document Complémentaire Partie B , on aboutit à une résistance de 25 à 49 kN/m (non compris coefficients de sécurité).
- (1-2) Variable suivant la nature de la structure de protection : < 50 % (à dimensionner) pour des protections meubles (granulaire ou terre), indifférenciée pour des protections en béton.
- (2) Plage de valeur donnée à titre indicatif ; dans le cas-type traité en Document Complémentaire Partie B, on aboutit à une valeur de $1,4 \cdot 10^{-4}$ et de $1,4 \cdot 10^{-5}$ m²/s suivant la nature des produits, (après avoir pris en compte les différents facteurs de sécurité).
- (3) **Polyester** (plutôt que polypropylène ou polyéthylène) pour contacts avec matériaux de protection chauds (enrobés bitumineux) ou géomembranes bitumineuses soudés à la flamme.
- (4) **Polypropylène ou polyéthylène** (et non polyester) pour contacts avec matériaux alcalins voire très alcalins (béton frais ou durci, sol traité à la chaux, ...).
- (5) Dans le cas où il existe une structure de protection sur la géomembrane
- (6) Spécifications de valeur donnée à titre indicatif ; dans le cas-type traité dans le document complémentaire Partie B, on aboutit à une valeur $2 \cdot 10^{-2}$ s⁻¹.
- (7) Vu la diversité des types de produits "géotextiles et apparentés" utilisables il n'y a pas de spécification de masse surfacique ; dans le cas d'utilisation de géotextile non tissé aiguilleté on utilisera les mêmes spécifications que précédemment.
- (9) L'épaisseur n'est pas spécifiée ; à titre indicatif l'épaisseur des géotextiles non-tissés aiguilletés correspondant à ces spécifications se situe entre 2,5 et 5 mm (sous 2 kPa).
- (10) Une classe de résistance "renforcée" (à dimensionner) est à envisager dans le cas de support instable ou déformable mais cela devrait rester exceptionnel si on a suivi les recommandations concernant la préparation des supports (Cf. § 6.1.2.).
- (11) Géotextile et/ou géocomposite de drainage
- (12) type non spécifié mais le profil des caractéristiques demandées correspond à des géotextiles non tissés aiguilletés qui sont les plus couramment utilisés pour cet usage, quelle que soit la nature de la structure de protection.
- (13) **Cas de couche granulaire ou terre végétale :**
 Les natures de produits utilisables sont diverses : géotextiles tissés ou non tissés, géocomposite de drainage (c'est pourquoi il n'y a pas de spécification de masse surfacique).
- Cas de protection en béton coulé ou préfabriqué :**
 généralement non tissé aiguilleté
- (14) Ces résistances sont des valeurs **nominales** au sens de la réglementation de certification ASQUAL, assorties d'une plage de variation relative à chaque caractéristique ; par exemple pour une résistance au poinçonnement pour laquelle une valeur nominale de 3 kN a été spécifiée., le produit livré sur chantier pourra avoir en fait une résistance effective de 2,4 kN puisqu'actuellement la plage de variation admise est de 20 %.
- (15) La valeur minimum exigible peut varier sensiblement au fil du temps en fonction de l'évolution éventuelle du règlement de certification ASQUAL, qui fixe la plage de variation admissible (PRV 95) – se référer aux fiches de certification du produit, en cours de validité.
- (16) Cette méthode n'existe pas actuellement dans le référentiel de certification ASQUAL – elle ne pourra être utilisée pour l'instant que pour des géotextiles non certifiés ou pour information.
- (17) A n'utiliser que rarement dans les conditions précisées dans le texte § 5.1.2.

3.3. SPÉCIFICATIONS DES JOINTS

- Tableau 3 – Spécifications des joints de géomembranes

Cf. texte § 5.1.3. – poseurs (soudeurs) certifiés ASQUAL (ou certification reconnue équivalente)
Les valeurs sont des Valeurs Minimum Exigibles (VME)

	Bitumineux BO : bitume oxydé BP : bitume polymère	Thermoplastique		Elastomère (EPDM)
		PEHD	Autres (PVC, PP-F)	
Type de joint (soudure)	Simple	Double (9)		Simple
Mode de réalisation	Fusion par flamme	Automatique Air ou coin chaud (1)		Collage - Vulcanisation
Largeur minimale (mm) (7) (6)	≥ 150 (BO) ≥ 120 (BP)	≥ 2 x 12) (9)		≥ 100
Résistance mécanique ● Cisaillement (5) - Mode de rupture - Résistance (N/mm) - Facteur de soudure (5)	DHS (10) ou ≥ 9 (BO) ou ≥ 13 (BP)	Déchirure hors de la zone soudée (DHS) (2) ≥ 90 % ≥ 50 % (3)		> 5
● Pelage (6) et (5) - Mode de rupture - Résistance (N/mm) - Facteur de soudure	(8) à titre indicatif BO : 0,5 - BP : 3	Déchirure hors de la zone soudée (DHS) (2) (3) PVC : 6 (3) - PP-F : 6 (3) ≥ 55 %		(4) ≥ 1,2

- (1) Soudures manuelles autorisées uniquement pour points singuliers : par extrusion pour PEHD, par monosoudure thermique pour les autres thermoplastiques.
L'assemblage des PVC-P par collage (ou au solvant) et des thermoplastiques n'est pas autorisée.
- (2) Tolérance sur le mode de rupture : mode adhésif toléré au maximum sur le quart de largeur minimale soudée spécifiée ; délaminage accepté si résistance au délaminage supérieure à 2,5 N/mm.
- (3) Sur soudures **manuelles** à l'air chaud des PVC-P et PP-F : mode de rupture adhésif toléré mais résistance au pelage supérieure à 3,5 N/mm - pas de facteur de soudure sur soudures manuelles - spécification en cours d'étude pour PP-F.
- (4) Pour ce type de matériau, on obtient généralement un mode de rupture de type adhésif ; la résistance maximum n'est quelquefois obtenue qu'après plusieurs jours de séchage du joint (fonction de la température).
- (5) Définition et méthodes d'essais dans normes NFP 84502-1/2 ; la **détermination du facteur de soudure nécessite la mesure de la résistance en traction de la géomembrane (ou résistance au seuil d'écoulement s'il existe) effectuée sur un échantillon situé juste à côté de la soudure** et dans le sens perpendiculaire à l'axe de celle-ci ; la prise en compte de résistances (souvent des valeurs minimales garanties) indiquées dans les fiches techniques des produits conduit à des erreurs par excès.
- (6) Un bord libre (≥ 3 cm) doit exister sur la membrane inférieure pour permettre les essais de pelage de la soudure.
- (7) Il s'agit d'une valeur minima exigible en tout point.
- (8) Pour ce type de matériau, la rupture a lieu à l'interface, souvent dans la partie inférieure de la membrane supérieure.
- (9) **La double-soudure** permet un contrôle de continuité par pression efficace et économique et elle est donc recommandée ; si des moyens de contrôle d'une efficacité que l'étanchéité peut démontrer au maître d'œuvre (par exemple ultrasons ou méthode électrique avec film d'eau) **une simple soudure** de 30 mm de largeur peut être utilisée.
- (10) DHS : déchirure hors de la zone soudée.

4. PROGRAMME DE CONTRÔLE DES TRAVAUX

4.1 DÉTAILS TECHNIQUES DES DIFFÉRENTS POSTES DE CONTRÔLE MENTIONNÉS AU CHAPITRE 7.2. (TABLEAU 3)

1.1. RÉCEPTION DES MATÉRIAUX MANUFACTURÉS

1.1.1. Contrôle interne

- Conditions de livraison, manutention, stockage.
- Etiquetage des rouleaux et panneaux (***)
- Marquage des produits (***)
- Tenue du registre d'approvisionnement (date, n° lot, quantités).
- Fiche contrôle usine (éventuellement)

1.1.2. Contrôle externe et extérieur

- Idem 1.1.1.
- Prélèvements et essais (fréquence et nature définis au 4.2. tableaux 1 et 2).

1.2. RÉCEPTION DES MATÉRIAUX GRANULAIRES

1.2.1. Contrôle interne

- Nature – Identification des produits-conformité à la commande.
- Présence visuelle d'anomalie
- Tenue du registre d'approvisionnement (date, n° lot, quantités) *.
- Vérification des fiches contrôle de fabrication *

1.2.2. Contrôle externe et extérieur

Idem 1.2.1. et :

- prélèvements et essais : (fonction du matériau) et de l'**étude géotechnique préalable** :
 - granularité
 - propreté
 - angularité
 - teneur en eau éventuellement
- essais spécifiques ** (par exemple diagramme Proctor IPI et Proctor CBR ...)

NB se reporter aux règles habituelles des contrôles de terrassement.

* si adapté au matériau par exemple granulat d/D reconstitué en centrale.

** diagramme Proctor IPI (Cf. normes correspondantes).

*** pour un ouvrage donné, bien vérifier l'**homogénéité des appellations commerciales**, certaines étant peu différenciées et conduisant pourtant à des produits ayant des propriétés différentes.

2. RÉCEPTION DES SUPPORTS

2.1. Contrôle interne

- Portance (essai " praticabilité ") (Cf. Chapitre 6.1.2.)
- Mesure de planéité, géométrie générale et des tranchées d'ancrages.
- Aspérités et autres éléments poinçonnants.
- Continuité (matériaux trop ouverts).

2.2. Contrôle externe et extérieur

Idem 2.1. et :

- Portance en fond (essai de plaque ou de dynaplaque, si nécessaire)
- Compacité en fond de bassin et en talus (essai pénétrodensitographe ou mesure gammadensimètre, si nécessaire)

3. MISE EN ŒUVRE DE LA GÉOMEMBRANE - CONDITIONS GÉNÉRALES

- Plan de calepinage
- Matériel, matériaux et modalités d'assemblage
- Conditions générales : températures, propreté, humidité

4. CONTROLES DESTRUCTIFS ET NON DESTRUCTIFS SUR JOINTS-TRAITEMENT DES POINTS SINGULIERS

(détails, répartition et fréquence en Annexe 4.3.)

5. EXAMEN DE LA GEOMEMBRANE AVANT PROTECTION EVENTUELLE (hors joints)

- Percements - examen visuel ou méthode électrique généralisée (avec film d'eau)
- Plissements

6. MISE EN ŒUVRE DES PROTECTIONS

- Mode de mise en œuvre – circulation
- Epaisseur

7. EVALUATION GLOBALE DU DEG

Vérification éventuelle de la fonction étanchéité selon modalités prévues au CCTP (Cf. Document Complémentaire – Partie A3):

- Remplissage de l'ouvrage
- Méthodes électriques

PS : pour les contrôles d'autres matériaux type béton hydraulique, béton bitumineux, grave ciment, sols traités, ... se reporter aux règles de l'art et règlements correspondants.

4.2. CONTRÔLE DE CONFORMITE DES MATÉRIAUX MANUFACTURÉS – ESSAIS EN LABORATOIRE : NATURE, FRÉQUENCE, RÉPARTITION

4.2.1. Répartition entre les différents intervenants et fréquence des contrôles

Cette méthodologie s'inspire de la norme NF G 38-060.

S : Surface totale de l'étanchéité (d'un ouvrage ou d'un lot d'ouvrages)

S1 et S2 : Voir valeurs en tableau 2.

- Tableau 1 - Nombre d'échantillon à prélever (3) et à tester -

Valeurs de S	S < S1	S1 ≤ S ≤ S2	S > S2
Nombre d'essais	0	1	$1 + \frac{S - S2}{2 \times S2}$ (1)
Prise en charge		Contrôle externe	75 % contrôle externe (2) 25 % contrôle extérieur(2)

(1) arrondi au chiffre entier supérieur le plus proche

(2) répartition à l'appréciation du maître d'œuvre

(3) échantillonnage selon NF P 84-504 (géomembranes)

- Tableau 2 -

Valeurs de S1 et S2	Matériau certifié	Programme d'essais *	S1 (m²)	S2 (m²)
Géotextile (et produits apparentés)	OUI	(3)	5000	30000
	NON	(3)	1000	5000
Géomembrane	OUI	(4)	4000 (5)	25000 (5)
	NON	(4)	1000 (5)	4000 (5)

* Modalités d'essais définies en Annexes 3.1. et 3.2.

- (3) Masse surfacique, poinçonnement statique, traction 2 sens, pour tous géotextiles sauf ceux utilisés en talus sur géomembrane : Masse surfacique, traction sens production, permittivité, transmissivité.
- (4) Épaisseur, masse surfacique, masse volumique (uniquement pour PEHD), traction 2 sens, poinçonnement statique, planéité des lés (éventuellement)
- Pour un matériau non certifié, en supplément identification chimique spécifique à chaque famille selon Annexe 3-1 § 11 avec S2 = 15000.
- (5) Pour un site sensible, le contrôle peut être renforcé (S1 et S2 sont à diminuer).

4.2.2. Suite à donner aux contrôles

Les essais doivent être effectués par des laboratoires accrédités COFRAC/ESSAIS (ou en cours d'extension d'accréditation) pour les essais considérés.

Le refus ou l'acceptation des géotextiles et géomembranes se fait selon les critères de la norme G 38-060 avec les précisions suivantes :

- prise en compte des plages de tolérance PRV95 et PRV99 pour les caractéristiques certifiées ASQUAL pour géotextiles.
- pour les géomembranes, prise en compte des VME (Valeurs Minima ou Maxima Exigibles) mentionnées dans le tableau de spécifications Annexe 3.
- en cas de contestation des résultats du premier laboratoire, le résultat d'une deuxième détermination sur le même lot concerné à la charge de l'entreprise par un laboratoire accrédité COFRAC/ESSAIS fera foi.
- en cas de non conformité avérée d'un matériau certifié, L'ASQUAL en sera informé.

4.3. CONTRÔLE DES JOINTS

Exemple Ouvrage de 5000 m³ soit environ 2500 m² de géomembrane ; pour des lés de largeur 2 m, ceci représente 1250 m de joints et en largeur 4 m : 625 m de joints.

Remarque : Pour chaque phase de contrôle, chaque catégorie d'intervenant, et chaque type de contrôle, les fréquences indiquées sont des minima recommandés.

			INTERIEUR		EXTERIEUR	Fréquence des contrôles	
			Interne	Externe		Poseur (6) CERTIFIE	Poseur (6) NON CERTIFIE
JOINTS PARTIE COURANTE	CONTROLES DESTRUCTIFS	ESSAIS D'INFORMATION NON NORMALISES . Qualitatif . Quantitatif	X (1)	X (2)		Chaque prise de poste 200 m (4) 100 m (4)	
	(essais de pelage et de cisaillement)	ESSAIS NORMALISES		X (3)		500 m (4) (7) (≥ 1)	150 m (4) (7) (≥ 1)
					X (3)	500 m (4) (7) (≥ 1)	150 m (4) (7) (≥ 1)
	CONTROLES NON DESTRUCTIFS	. Qualitatif . Instrumental	X (8)	X (9)	X (9)	- Systématique - Systématique 3 sur 10 (5)	6 sur 10 (5)
JOINTS - POINTS SINGULIERS (croisement)	CONTROLES NON DESTRUCTIFS	. Qualitatif . Instrumental	X (8)	X (9)	X (9)	- Systématique - Systématique 3 sur 10 (5)	6 sur 10 (5)
RACCORDEMENTS AUX OUVRAGES BETONS	CONTROLES NON DESTRUCTIFS	. Qualitatif . Instrumental	X (8)	X (8) X (9)	X (8) X (9)	- Systématique - Systématique 20 % (10)	60 % (10)

■ **Contrôle destructifs des joints (niveaux de complexité croissants)**

- (1) **Essai d'information sur site, qualitatif** : sans dynamomètre (traction avec paires de pinces, ...)
- (2) **Essai d'information sur site quantitatifs**
- effectué avec dynamomètre portable, éventuellement sur nombre réduit d'éprouvettes, avec relevé de résultat ; **essai non normalisé** (problème d'appareillage, de température, ...)
- (3) **Essais normalisés**
- NF P 84-502-1 et NF P 84-502-2
- par laboratoire accrédité COFRAC/ESSAI (ou en cours d'extension d'accréditation).
- (4) signifie 1 échantillon prélevé pour contrôle de X mètres de soudure
- (5) signifie un nombre " X " de soudures (ou points singuliers) **contrôlés** pour un nombre " Y " de soudures (ou points singuliers) **réalisés**.
- (6) Il s'agit de la certification ASQUAL de(des) l'agent(s) qui effectivement réalise(nt) les joints.
- (7) Fréquence suggérée ; répartition entre contrôles Intérieur et Extérieur à décider par maître d'œuvre.

■ **Contrôle non destructif des joints**

- (8) **Qualitatif** : - passage d'une pointe (non agressive) le long de la soudure
- lance à air comprimé
- (9) **Instrumental, quantitatif** (la nature du contrôle est fonction du type de géomembrane et de soudure et de son implantation et elle est à préciser dans le PAQ) ; dans le cas des raccordements aux ouvrages c'est actuellement une opération difficile :
- pression des double-soudures (pneumatique ou hydraulique)
- électrique (directement sur géomembrane sans préinstallation d'électrodes, avec film d'eau)
- cloche à dépression sur points singuliers
- ultrasons pour monosoudure large
- (10) **pourcentage du linéaire**

Page laissée blanche intentionnellement

Conception et impression
Graphi Concept

Tél. : 01 64 13 48 88
Fax : 01 64 13 48 80

Crédits photographiques
droits réservés

Dépôt légal
4^e trimestre 2000

ISBN
2-11-091-1785-7

Page laissée blanche intentionnellement



ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANE DES OUVRAGES POUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT ROUTIER

GUIDE TECHNIQUE

Ce guide technique s'adresse aux bureaux d'études, maîtres d'œuvres et d'ouvrages concernés par la conception, la réalisation et la maintenance de dispositifs d'étanchéité par géomembrane des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier. Les grands types de dispositifs utilisables sont précisés ainsi que les critères à prendre en compte pour établir le projet, les spécifications relatives aux différents composants et le libellé des garanties.

Des recommandations sont données pour la mise en œuvre des dispositifs et l'organisation de la démarche qualité ainsi que pour leur entretien et leur réhabilitation. Des textes types sont proposés pour aider à la consultation des entreprises et la préparation des pièces de marché.

This technical guide is intended for consultants, project engineers and project owners involved in the design, building and maintenance of geomembrane waterproofing systems in works for road runoff water. The main types of waterproofing are described, together with the criteria to be taken into account to develop the project, specifications for the components and the wording of guarantees.

Recommendations are made for the installation of the waterproofing systems and the organisation of the quality approach, and for their maintenance and rehabilitation. Standard texts are proposed to help in the pre-contract negotiations and the preparation of contract documents.

*Ce document fait partie d'un ensemble de deux volumes
qui ne peuvent être vendus séparément.*

Cet ensemble est disponible au prix de **200 F (30,49 €)**
sous la référence **D0035**

au bureau de vente du SETRA

46, avenue Aristide Briand
BP 100
F-92225 BAGNEUX CEDEX
Téléphone : 01 46 11 31 53
Télécopie : 01 46 11 35 55
Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>

à l'IST-Diffusion – LCPC

58, boulevard Lefevre
F-75732 PARIS CEDEX 15
Téléphone : 01 40 43 52 26
Télécopie : 01 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>



Ministère
de l'Équipement,
des Transports
et du Logement



ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANES DES OUVRAGES POUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT ROUTIER

GUIDE COMPLEMENTAIRE



Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Page laissée blanche intentionnellement

ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANES DES OUVRAGES POUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT ROUTIER



GUIDE TECHNIQUE DOCUMENT COMPLÉMENTAIRE

Novembre 2000

Document édité et diffusé par :



Le Service d'Étude Techniques des Routes et Autoroutes
46, avenue Aristide Briand - BP 100 - F-92225 BAGNEUX CEDEX
Téléphone : 01 46 11 31 31 - Télécopie : 01 46 11 31 69
Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>



Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, boulevard Lefebvre - F-75732 PARIS CEDEX 15
Téléphone : 01 40 43 52 26 - Télécopie : 01 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>

Ce document est la propriété de l'Administration et ne peut être reproduit, même partiellement sans l'autorisation du SETRA et du LCPC.

© 2000 - SETRA-LCPC - Dépôt légal 4^e trimestre 2000

ISBN : 2-11-091-1785-7

ISSN : 1151-1516

Prix : 200 F l'ensemble des deux volumes

Sommaire

Partie A - La structure d'étanchéité - informations complémentaires

- 1. Géomembranes 6
- 2. Information sur les géosynthétiques bentonitiques 19
- 3. Évaluation de l'étanchéité globale d'un ouvrage 22
- 4. Dispositions constructives particulières
(arrêts d'étanchéité et raccordements sur ouvrages béton) 26
- 5. Entretien / exploitation 30

Partie B - Dimensionnement des géosynthétiques en talus entre géomembrane et couche de protection en terre végétale ou granulaire

- 1. Démarche méthodologique 34
- 2. Étude d'un cas-type 35
- 3. Conclusion 37

Annexe : Note de calcul pour le dimensionnement du DEG comportant une protection en terre végétale ou en granulats d/D. Étude de la stabilité 39

- A.1. Analyse de la stabilité de la couche de protection et
du DEG (aspect mécanique) - Principe de calcul 39
- A.2. Ancrage du DEG en tête du talus 42
- A.3. Coefficients de sécurité sur les caractéristiques
mécaniques du géocomposite 42
- A.4. Analyse de l'hydraulique du complexe terre végétal/GTX
supérieur/GMB 44

Partie C - Pièces - types de marché

- 1. Etablissement du document de consultation des entreprises (D.C.E) 48
- 2. Cahier des clauses administratives particulières (C.C.A.P.)
Ouvrages neufs 51
- 3. Cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.)
Ouvrages neufs 54
- 4. Bordereau des prix unitaires - Ouvrage neufs 57
- 5. Cahier des clauses administratives particulières (C.C.A.P.)
Réhabilitation 60
- 6. Cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.)
Réhabilitation 60
- 7. Bordereau des prix unitaires - Réhabilitation 63

Partie

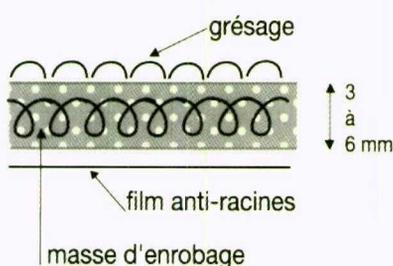
A La structure d'étanchéité Informations complémentaires

1.	Géomembranes	6
1.1.	<i>Description des deux grandes familles de géomembranes (bitumineuse et synthétique)</i>	6
1.2.	<i>Propriétés comparées des grandes familles chimiques de géomembranes</i>	8
1.3.	<i>La résistance aux hydrocarbures des géomembranes</i>	14
1.4.	<i>Spécifications particulières en cours d'étude</i>	18
2.	Information sur les géosynthétiques bentonitiques	19
2.1.	<i>Place des géomembranes par rapport aux géosynthétiques bentonitiques (GSB)</i>	19
2.2.	<i>Présentation des produits</i>	20
2.3.	<i>Définitions des dispositifs d'étanchéité par GSB</i>	21
3.	Évaluation de l'étanchéité globale d'un ouvrage - localisation des fuites	22
3.1.	<i>Notions générales de perméabilité et d'étanchéité</i>	22
3.2.	<i>Mesure des débits de fuite</i>	23
3.3.	<i>Systèmes électriques de détection et de localisation des fuites et de surveillance d'ouvrages hydrauliques</i> <i>Présentation générale</i>	24
3.4.	<i>Idem 3.3. mais à utiliser directement sur la géomembrane</i>	25
4.	Dispositions constructives particulières (arrêts d'étanchéité et raccordements sur ouvrages béton)	26
5.	Entretien et exploitation	
5.1.	<i>Fiches descriptives d'ouvrage</i>	30
5.2.	<i>Fiches densité d'ouvrage</i>	30

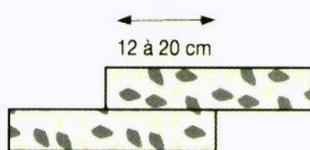
1. GÉOMEMBRANES

1.1. DESCRIPTION DES DEUX GRANDES FAMILLES DE GÉOMEMBRANES

1.1.1. Géomembranes bitumineuses



Géomembrane bitumineuse (avec armature textile interne et film antiracines sur une face).



Monosoudure large

Principe : Une masse bitumineuse chaude et fluide imprègne à cœur ("enrobe") un géotextile généralement non tissé aiguilleté polyester ; le géotextile sert à la fois de support de fabrication et de renfort mécanique.

La membrane peut comporter également un voile de verre.

La géomembrane est obtenue par imprégnation et enduction à l'aide de calandres.

Aspect/présentation :

- Géomembrane de 3 à 6 mm d'épaisseur ; masse surfacique de 5 à 8 kg/m² environ
- en surface éventuellement film antiracine, grésage minéral **
- largeur des lés : généralement 2 à 5,5 m
- livraison en rouleau
- possibilité d'associer un support géotextile externe en usine (géomembrane "composée").

Masse bitumineuse d'enrobage : (liant "fillerisé")

- liant à base de : bitume oxydé (BO ou bitume polymère (BP) (généralement SBS *)
- charge constituée de fines minérales ("filler")

Mode d'assemblage :

- Monosoudure large
- Exclusivement par fusion superficielle des surfaces à assembler (généralement flamme propane ou patin chauffant) sur une largeur de 12 cm à 20 cm, suivi d'un marouflage***.

* SBS : Styrène butadiène styrène

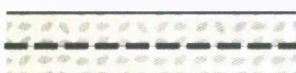
** Sable très fin saupoudré en surface

*** Action d'exercer une pression sur les parties à souder

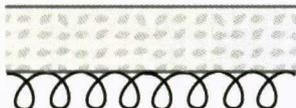
1.1.2. Géomembranes à base de polymères (dites « géomembranes de synthèse » ou « géomembranes polymériques »)



géomembrane polymérique
non armée



géomembrane polymérique
avec armature interne textile
ou voile de verre



géomembrane composée
(avec géotextile associé)



géomembrane avec une face lisse
et une face texturée



monosoudure



double soudure avec canal central



soudure par cordon extrudé

Principe : Géomembrane constituée d'une ou plusieurs couches de matériaux polymériques, obtenue en usine par des procédés d'extrusion, de calandrage ou d'enduction.

Aspect et structure :

- épaisseur 1,2 à 2 mm (pour les bassins) ; masse surfacique 1 à 2,5 kg/m² (environ)
- aspect lisse ou rugueux ; peut comporter des aspérités à géométrie régulière ou non et de hauteur millimétrique.
- une armature textile peut assurer un renfort mécanique ; un voile de verre peut améliorer la stabilité dimensionnelle (PVC-P, par exemple).
- possibilité de support géotextile associé (en usine) pour former une géomembrane composée (PVC-P, par exemple).
- largeur des lés ; généralement de 2 à 6 mètres (possibilité jusqu'à 11 mètres pour les PEHD).
- livrée en rouleau ou en nappe pour les plus souples (PVC, EPDM) ; surface élémentaire livrée sur site de 50 à 1000 m².

Nature chimique du polymère :

- le matériau contient au moins 50 % de polymère, des charges, plastifiants et additifs divers,
- deux grandes familles :
 - THERMOPLASTIQUE : PVC-P ; PP-F ; PEHD et autres polyoléfines (*).
 - ELASTOMERES (ou « caoutchouc ») : EPDM (*)

Mode d'assemblage

- spécifique à chaque famille ; en étanchéité de bassin, on rencontre généralement en France :

- Thermoplastique
 - AIR ou COIN CHAUD, entre les 2 géomembranes ; sans apport de matière (PVC, PP, PEHD).
 - CORDON EXTRUDE en surface (PEHD) ; apport de matière.
 - la soudure peut être SIMPLE 30 mm environ ou DOUBLE (2 x 15 mm environ), avec dans ce cas un canal central (pour contrôle sous pression).
- Élastomère : (EPDM)
 - collage (avec ou sans apport de matière) ; sans canal central, largeur 10 cm environ ; vulcanisation pour certains joints réalisés en usine.

(*)	SYMOBOLES : PVC-P	Polychlorure de vinyle plastifié
	PP-F	Polypropylène flexible
	PEHD	Polyéthylène haute densité
	EPDM	Ethylène propylène diène monomère.

1.2. PROPRIÉTÉS COMPARÉES DES GRANDES FAMILLES CHIMIQUES DE GÉOMEMBRANES

Les éléments ci-dessous sont donnés à titre **d'information comparative, mais ne sont pas en eux-même de réels critères de choix ou d'exclusion** ; leur connaissance peut permettre de mieux comprendre certains comportements des matériaux sur site lors de la réalisation du DEG ou en service et de prendre au niveau du projet d'éventuelles mesures correctives ou compensatoires.

Les appréciations mentionnées sont basées en partie sur l'expérience et en partie sur les caractéristiques mesurables inventoriées en annexe 3 du Document de Base.

Remarque importante : Ce tableau donne des tendances générales mais celles-ci peuvent être notablement variables pour une même famille en fonction de la composition chimique et de la structure physique de la géomembrane, par exemple amélioration de la stabilité dimensionnelle d'une géomembrane PVC par une armature textile (mais moindre capacité de déformation), amélioration de sa résistance aux hydrocarbures en utilisant un plastifiant spécial, amélioration de sa résistance aux UV, etc ...

CRITÈRE	Géomembrane de synthèse				Géomembrane bitumineuse
	PVC-P (non armé)	PEHD	PP-F	EPDM	
1. Comportement mécanique et rhéologique général du constituant de base.	←	Plastique	→	élastique	viscoplastique ou viscoélastique (1) *
2. Assemblages des lés					
<ul style="list-style-type: none"> Mode courant de réalisation des assemblages. 	←	Soudure thermique	→	<ul style="list-style-type: none"> en usine : "vulcanisation" ou "tape" sur chantier ; collage ou « tape » (16) 	Soudure thermique : Chalumeau propane (fusion partielle)
<ul style="list-style-type: none"> Air et fer chaud en automatique Air chaud en manuel 		<ul style="list-style-type: none"> Fer chaud en automatique ; air chaud possible Extrusion en manuel 	<ul style="list-style-type: none"> Fer chaud en automatique Manuel ; par air chaud (extrusion possible) 		
<ul style="list-style-type: none"> Délai avant sollicitation mécanique 	←	Quasi immédiat	→	Plusieurs jours de séchage (13)	Dès refroidissement (une à quelques heures) (13)
<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de double soudure pour contrôle de continuité par pression d'air (ou d'eau) (24). 	OUI	OUI	OUI	NON	NON
<ul style="list-style-type: none"> Appréciation sur la facilité de soudure (produits neufs) (12). 	Très bonne	Bonne (27)	Bonne (26)	Moyenne (28)	Très bonne
<ul style="list-style-type: none"> Réparabilité (soudure sur matériaux vieillis). 	Difficile	Moyenne	Non connue	Moyenne	Facile à moyenne (**)

* renvois explicités à la suite du tableau.

** suivant état de vieillissement

	Géomembrane de synthèse				Géomembrane bitumineuse
	PVC-P non armé	PEHD	PP-F	EPDM	
3. Comportement mécanique de la géomembrane. <ul style="list-style-type: none"> • Sous contrainte imposée constante en traction. • Sous déformation imposée en traction • En cisaillement (dans l'épaisseur de la géomembrane ou des joints) 	Peu de fluage (2)	Pour une contrainte supérieure au seuil d'écoulement, il se produit des déformations importantes (fluage) partiellement irréversibles après cessation de la contrainte (2) (13)		<ul style="list-style-type: none"> • Allongement assez constant, fonction de la contrainte (pas de fluage). • Peu de relaxation de contrainte. 	<ul style="list-style-type: none"> • pas de fluage en partie courante du fait de l'armature • fluage possible au droit des soudures (pas de continuité de l'armature) (13) (14) • en partie courante bonne relaxation (3) du liant • aux soudures : très bonne relaxation (3) • Bon (faible à température élevée pour les joints) (14)
	Relaxation des contraintes variable suivant les matériaux et le niveau de contrainte.		Très bon		
4. Souplesse à basse température (0° C) ; facilité de mise en œuvre dans les angles.	Bonne (9)	Médiocre	Moyenne (9)	Excellente	Moyenne à bonne (9)
5. Facilité de raccordement sur ouvrages : <ul style="list-style-type: none"> ■ en béton hydraulique ■ en béton bitumineux 	Bonne (profilé métallique et soudure sur profilés plastiques)	Assez bonne (profilés métalliques et soudures sur profilés plastiques)		Bonne (profilé métallique et collage possible au support)	Bonne <ul style="list-style-type: none"> - soudure en plein au support, facile - renforcement par profilé métallique - très bonne (7)
	← à vérifier →				
6.1. Comportement physique aux températures élevées sans protection (30° C ambiant) - Déformations Ramollissement (*)					
a). à la pose	Moyen	Médiocre (plissement) (5)	Moyen (soudure automatique difficile)	Très bon	Bon (4)
b). en service	Bon	Moyen (5)	Bon (30)	Bon	Bon : ramollissement possible du matériau (4)
6.2. Comportement physique - fragilité en service aux températures très basses (- 15° C) (19)	Moyen à bon (suivant les produits) (23)	Moyen à bon (22)	Bon	Très bon	Moyen à bon (suivant les produits).

* pouvant induire déchirure ou percement.

	Géomembrane de synthèse				Géomembrane bitumineuse
	PVC-P non armé	PEHD	PP-F	EPDM	
7. Capacité de rétention provisoire d'hydrocarbures (essence super, sans plomb, 3 jours) (voir § 1.3.) - en partie courante - au droit des joints	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI mais fonction du produit (16-1)
	OUI	OUI	OUI	NON (16-2)	Traitement particulier à prévoir (16-1)
8. Durabilité 8.1. Vieillessement climatique pour géomembrane non protégée.	Médiocre à bon suivant les produits (10) (23)	Bon (11)	Bon (à confirmer) (17)	Bon	Médiocre à bon. (6) (suivant les produits)
8.2. Comportement dans l'eau salée, acide et basique diluées (20)	Très bon				
8.3. Résistance intrinsèque aux hydrocarbures (15)	Moyenne à bonne. (Très bonne pour formules spéciales PVC nitrile)	Excellente	Bonne	- Moyenne à bonne pour la membrane - Mauvaise pour les joints collés ou « tape » ; bonne pour les joints vulcanisés en usine (16).	Mauvaise à bonne Fonction de la nature de l'hydrocarbure et de la géomembrane (film de protection en surface courante, protection des joints)
8.4. Sensibilité gel/dégel (25)	Bonne				
9. Sensibilité aux conditions climatiques lors de la pose (21).	Moyenne (les matériaux peuvent être humides mais la zone d'assemblage doit être sèche) Pour PVC, voir note (21)			Importante (il faut des matériaux propres et secs)	Faible (mais la zone d'assemblage doit être sèche)
10. Niveau d'étanchéité (membrane et soudure).	Très bon				
11. Coefficient de frottement (18)	Moyen	Faible à élevé **	A priori moyen peu connu	Moyen	Moyen à bon *
12. Possibilité d'avoir un matériau translucide (29)	OUI	Difficilement	Difficilement	NON	NON

* en fonction de la nature physique de la face considérée (lisse ou granulat ou fines minérales).

** en fonction de la nature physique de la face considérée (lisse texturée).

Commentaires sur le tableau

- (1) Fonction de la température et de la vitesse de sollicitation de la géomembrane et de sa nature (suivant qu'il s'agit d'un bitume oxydé ou d'un bitume polymère)
- (2) Pas de seuil d'écoulement pour le PVC-P ; seuil à 10-15 % de déformation pour le PEHD ; pseudo seuil à 40 - 50 % pour le PP-F ; pour un dimensionnement, seules les valeurs en dessous du seuil sont à considérer.
- (3) Cette relaxation de contrainte est due à une composante « visqueuse » dans les caractéristiques rhéologiques du bitume particulièrement si la température s'élève.
- (4) Du fait de leur couleur noire, ces matériaux absorbent beaucoup le rayonnement solaire ; pour une température ambiante de 30 à 35° leur température de surface peut s'élever à 60 - 70° C, ce qui peut diminuer certaines caractéristiques physiques et mécaniques (poinçonnement) et nécessite quelques précautions à la mise en œuvre pour ne pas endommager le matériau ; à noter cependant que le risque de poinçonnement reste faible du fait de l'armature interne et comme les hauteurs des ouvrages routiers sont rarement importantes, le risque de fluage en service est par ailleurs négligeable.
- (5) Phénomène lié au coefficient de dilatation élevé, à l'échauffement important du matériau lié à sa couleur noire et à sa **rigidité** : ce phénomène de plissement est très gênant lorsque l'on veut mettre en place la structure de protection (surtout si elle est de faible épaisseur) et peut affecter la durabilité de la géomembrane au droit des plis ; lors de l'assemblage, si un lé de géomembrane est plus chaud et dilaté que le précédent, le retrait important lors du refroidissement induit également des plis et des contraintes importantes au droit des soudures ; d'autre part ces plis ne sont pas très esthétiques et peuvent constituer une gêne éventuelle à l'exploitation.
- (6) L'aspect physique n'est souvent pas très bon (microfissuration) mais cette dégradation concerne principalement la masse bitumineuse d'enrobage supercicelle de la géomembrane. Les bitumes polymères se comportent mieux.
- (7) A noter en particulier une très bonne facilité de liaison pour les ouvrages à mode d'étanchement mixte entre la géomembrane en talus et le béton bitumineux du fond ou entre la géomembrane sous accotement et la chaussée bitumineuse.
- (9) Fonction de la nature et de l'épaisseur des produits.
- (10) Des géomembranes PVC-P non protégées et installées sur de grandes surfaces, dans des bassins fonctionnant à vide, ont présenté un très important retrait dimensionnel après quelques années seulement et ont conduit à des éclatements et déchirures : le comportement de ce type de produit est vraisemblablement très sensible à la qualité de la formulation chimique (résistance aux UV), et est fonction de la structure physique de la géomembrane : à qualité égale de matrice polymérique, une membrane possédant un renforcement interne par voile de verre et/ou armature textile ou un renforcement externe (géotextile associé) présentera un retrait dimensionnel moindre lors du vieillissement climatique et consécutivement moins de susceptibilité de déchirure/fissuration à basse température en partie courante et au droit des soudures ; par contre, étant moins déformable, elle sera plus sensible à un poinçonnement sur aspérités car présentera plus de tension sur des zones à déformation imposée.

Actuellement, nous n'avons pas la certitude que les essais de vieillissement prévus dans les spécifications soient de nature à permettre une bonne évaluation de la durabilité sur site des géomembranes PVC ; transitoirement, en cas de doute, leur usage est plutôt recommandé sous structure de protection.

- (11) Fonction de la composition chimique, en particulier du taux et de la dispersion du noir de carbone. Le phénomène de stress cracking (fissuration sous contrainte) peut se produire au droit de certaines soudures (Cf. renvoi 22) à basses températures.
- (12) Appréciation relative au cas de soudeurs professionnels qualifiés (certifiés), et ayant un matériel adapté.

- (13) Fonction de la température ambiante et de celle de la géomembrane.
- (14) Ne pose cependant pas de problème pratique si les soudures sont dans le sens de la pente, ce qui doit être le cas.
- (15) Cette notion de résistance intrinsèque aux hydrocarbures relative au matériau constitutif principal de la géomembrane, comporte deux aspects :
- comportement à long terme en présence d'hydrocarbures plus ou moins dilués (par exemple film surnageant d'hydrocarbure en surface d'un bassin en eau ou dans un ouvrage décanteur/déshuileur) ;
 - incidence d'un contact temporaire avec des hydrocarbures concentrés sur la durabilité de la géomembrane. Cette notion ne fait pas double-emploi avec la capacité de rétention provisoire d'hydrocarbure mentionnée au critère n° 7 : en effet, un matériau peut avoir une **résistance intrinsèque faible**, c'est-à-dire que le contact avec un type donné d'hydrocarbure influera sur les caractéristiques de la géomembrane et sa durabilité et cependant présenter une **capacité de confinement provisoire suffisante** (par exemple, certaines géomembranes bitumineuses) Cf. § 1.3.
- (16) Les joints **vulcanisés** en usine (sur élastomère frais) ont la même résistance aux hydrocarbures que les parties courantes ; des nappes jusqu'à 1000 m² (ou plus) peuvent être préfabriquées.
- (16-1) Géomembrane en partie courante : OUI pour les produits actuellement commercialisés en France mais cette capacité de rétention provisoire est liée à la présence d'un film polyester (anti-racine) ; elle est donc à vérifier selon les produits puisque la masse bitumineuse constitutive elle-même résiste très mal (dissolution rapide).
- (16-2) Géomembrane au droit des assemblages : nécessite un traitement spécial (couvre-joint, enduit antikérosène, ...) devant faire l'objet d'une évaluation par produit. Pour l'EPDM aucun traitement spécial n'est proposé à ce jour.
- (17) Produit d'utilisation relativement récente en France ; a priori comportement correct selon expérience d'une dizaine d'années aux USA.
- (18) Il s'agit du coefficient de frottement (mesuré à la boîte de cisaillement) avec un sable de référence (norme NFP 84 505) ou à l'essai plan incliné NF P 84-522; ceci a une incidence en utilisation sur pente sur la tendance au glissement d'une protection granulaire sur la géomembrane (Cf. document complémentaire PARTIE B).
- (19) Paramètre rarement discriminant, sauf pour des conditions d'utilisation très sévères.
- (20) Eau salée : caractéristique importante pour la pollution saisonnière hivernale.
- (21) Il s'agit des conditions limites de chantier : matériaux très humides voire saturés d'eau, températures basses.
- Pour le PVC-P, s'il est saturé d'eau (1 à 2 %) la soudure devient difficile et un séchage efficace est nécessaire ; cette saturation en eau est facile à déceler pour les matériaux translucides, qui deviennent opaques.
- (22) Des soudures mal effectuées (en particulier, celles par extrusion) peuvent conduire sur certains produits à des fissurations sous contraintes (stress-cracking).
- (23) Fragilisation lors du vieillissement (perte de plastifiants).
- (24) Le cas échéant, le contrôle par d'autres méthodes (ultra-sons, électriques, ...) est possible mais il sera plus long et/ou plus coûteux.
- (25) Il ne s'agit ici que du phénomène de gel/dégel proprement dit et non du comportement du matériau aux grands écarts de température (retraits thermiques).

- (26) Dans certains cas, un ressuage de certains composants peut nécessiter un nettoyage approprié.
- (27) Bonne pour les soudures thermiques ; plus difficile pour les soudures par extrusion nécessitant une préparation de surface par ponçage délicate (la préparation doit être suffisante mais pas excessive).
- (28) Le produit doit être sur un support plan et porteur (pas de plis), et doit être parfaitement propre et sec ; l'assemblage ne doit pas être sollicité mécaniquement pendant plusieurs heures.
- (29) Essentiellement rencontrée avec les PVC-P, la translucidité est un critère de qualité important : grande facilité de contrôle des soudures et assurance que le polymère de base est vierge et non recyclé ; une restriction importante cependant est liée à l'obligation d'une structure de protection, puisque ce type de membrane translucide quelle que soit la famille chimique ne résiste pas aux U.V. (ce type de matériau est utilisé dans la majorité des travaux d'étanchéité d'ouvrages souterrains en France).
- (30) A confirmer car le développement du produit est assez récent.

1.3. RÉSISTANCE AUX HYDROCARBURES DES GÉOMEMBRANES

1.3.1. Capacité de rétention à court terme d'hydrocarbures

Une des fonctions d'une **géomembrane** utilisée en étanchéité de bassins routiers est **sa capacité de rétention à court terme d'hydrocarbures** lors d'un épisode de pollution **accidentelle**.

■ Cette propriété peut être évaluée **très simplement, selon les modalités suivantes** (mode opératoire - LRPC Lyon) :

L'échantillon de géomembrane à tester forme une poche contenant quelques centimètres de l'hydrocarbure à tester. Cet échantillon rectangulaire est disposé dans un récipient également rectangulaire et ses bords sont relevés sur la périphérie de celui-ci.

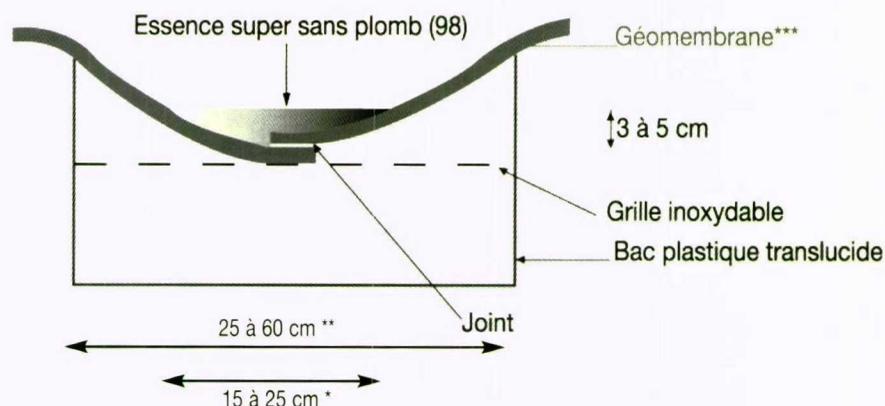
Lorsque la géomembrane (ou le joint) résiste mal à l'hydrocarbure, celui-ci percole à travers elle, passe au travers de la grille inoxydable support de l'échantillon et il est recueilli dans le fond du récipient.

On peut :

- soit noter le temps au bout duquel se produit la percolation,
- soit vérifier qu'il n'y a pas de percolation à un temps donné (dans le cas de ce Guide : 3 jours, 10 jours et 1 mois)

Dans les deux cas, **ce temps** correspond conventionnellement à la **capacité de rétention (ou de confinement) d'hydrocarbure de la géomembrane**.

L'échantillon n'est donc soumis à aucune pression hydrostatique ni à aucune contrainte mécanique ni en partie courante ni sur la zone de joint ; on s'arrange également pour que le bac réservoir soit assez grand pour que l'échantillon de géomembrane présente le minimum de plissement dans la partie immergée.



- * Largeur d'échantillon immergée
 - échantillon sans joint : 15 cm
 - échantillon avec joint : largeur soudée + 5 cm de part et d'autre du joint
- ** Dimensions du bac : largeur minimale 25 cm et 2 fois la largeur de joint, longueur minimale 40 cm ; hauteur environ 10 cm
- *** Taille de l'échantillon rectangulaire : ≥ 60 cm ; $l \geq 50$ cm

■ **Résultats** pour ESSENCE SUPER SANS PLOMB (98)

Il s'agit d'une étude d'orientation, c'est pourquoi les résultats sont approximatifs – Ultérieurement, il appartiendra **aux fournisseurs de donner des résultats précis pour chacun de leurs produits**, à la fois pour les parties courantes et les joints avec ou sans protection spécifique.

	DURÉE DE RÉTENTION	OBSERVATIONS
● Géomembrane bitumineuse (sans film polyester superficiel antiracine – épaisseur 4 mm) ***	< 24 heures	Dissolution assez rapide du bitume
● Géomembrane bitumineuse (avec film polyester superficiel antiracine)	> 3 semaines	C'est le film de polyester qui assure la rétention*
● Soudure de géomembrane bitumineuse (sans protection spéciale)	< 24 heures	Passage de l'hydrocarbure au ras de la soudure
● Soudure de géomembrane bitumineuse avec protection spéciale	> 3 jours à plusieurs semaines	Comportement fonction du type de protection (nature, largeur)
● Géomembrane élastomère EPDM	> 3 semaines	Gonflement important du caoutchouc EPDM mais la rétention est assurée
● Géomembrane EPDM avec joints (collés) **	< 24 heures	Décollement du joint
● Géomembrane EPDM avec protection du joint	Pas de solution technique proposée par le fabricant actuellement	
● PVC-P (formule normale)	> Plusieurs semaines	Rétention assurée mais géomembrane très affectée
● PEHD	Plusieurs mois (évaluation)	Très bonne résistance Géomembrane très peu affectée
● PP-F	> Plusieurs semaines	Comportement intermédiaire entre PVC-P et PEHD

* si c'est la face de la géomembrane avec film polyester superficiel qui est au contact de l'hydrocarbure, ce film résiste à l'hydrocarbure et la masse bitumineuse de la géomembrane est intacte ; si ce n'est pas le cas bien que la rétention de l'hydrocarbure soit assurée, la masse bitumineuse est détruite.

** les joints assemblés à chaud en fabrication et ceux vulcanisés (appareillage avec chaleur et pression) qui a priori devraient mieux résister, n'ont pas été testés.

*** des produits plus résistants sont en cours de développement.

■ Choix d'un type d'hydrocarbure pour le test et choix d'une durée de test

- Les hydrocarbures transportés sur les routes sont de nature chimique (et donc d'agressivité pour les géomembranes) très différentes. Les tonnages transportés sont également très variables.

Le choix pour cet essai de l'essence super sas plomb (98) est conventionnel mais il correspond à une réalité puisque les statistiques montrent que la majorité des liquides dangereux (pour l'environnement) transitant sur les routes sont des hydrocarbures. D'autre part, son agressivité vis-à-vis des géomembranes est **moyenne** ; on aurait pu choisir un produit moins agressif, par exemple du fioul pour lequel presque toutes les géomembranes conviennent* ou un solvant plus agressif (cétonique ou chloré ou certains éthers) mais, dans ce dernier cas, la plupart des géomembranes courantes (bitumineuses, EPDM, PVC normaux ...) ne sont plus utilisables.

- Enfin, si l'on cumule l'agressivité du produit chimique et la **durée du contact, c'est-à-dire si l'on veut** se prémunir contre **la plupart des produits chimiques** pour des durées de contact très supérieures aux trois jours retenus dans les spécifications de ce Guide (par exemple, plusieurs semaines ou plusieurs mois) la liste des produits utilisables se restreint et à la limite il n'y a plus qu'une seule géomembrane courante utilisable, c'est le polyéthylène haute densité (PEHD) et qui elle-même présente certaines limites.
- Compte tenu de la faible occurrence d'accident avec déversement, des délais de récupération de produit généralement courts, de l'examen des sinistres de ces 20 dernières années, il semble que le choix retenu pour qualifier les géomembranes soit justifié et raisonnable **mais en fonction du contexte local (sensibilité du site), le maître d'ouvrage peut spécifier des critères plus ou moins sévères : c'est pourquoi les fabricants de produits** devront fournir les capacités de confinement selon § 1.3.1. également pour 10 jours et 1 mois.

1.3.2. Altération d'une géomembrane lors d'un contact avec des hydrocarbures (ou autres produits chimiques) Résistance intrinsèque

Au paragraphe 1.3.1., on a indiqué que la **fonction première** est la capacité de rétention à court terme du produit déversé ; si, à ce terme, la géomembrane est détruite ou fortement altérée, son **remplacement est à envisager dans le cadre du règlement de l'ensemble des dommages relatifs au sinistre**. Le concept habituel de la résistance à un produit chimique c'est-à-dire l'examen de l'évolution de caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de la géomembrane au cours **d'une immersion complète de moyenne ou longue durée, avec un produit chimique donné, n'est pas vraiment adapté au cas des bassins routiers**, pour lesquels la fonction de rétention reste un cas peu fréquent et de court terme :

Si, cependant, on veut évaluer de manière classique cette « résistance chimique » ou « compatibilité chimique », il existe des essais qui diffèrent complètement de l'essai proposé au § 1.3.1. qui est un essai « performantiel » ; la « résistance chimique » s'évalue par une immersion complète de la géomembrane dans le liquide à tester pendant un certain temps ; au bout de celui-ci, on mesure l'évolution de certaines caractéristiques :

- * épaisseur et autres dimensions (pour mesurer le retrait ou les gonflements),
- * masse surfacique,
- * caractéristiques en traction (modules, résistance et élongation à la rupture),
- * résistance au poinçonnement,
- * etc.

En fonction du pourcentage d'évolution de chacune des caractéristiques, on peut qualifier la résistance chimique de la membrane à tester de TRES BONNE, MOYENNE, etc...

Il n'y a pas en France de normes qui stipuleraient, à la fois, les conditions d'essais et les règles permettant d'arriver au classement précité ; de même, on conçoit que ce genre d'investigation ne peut pas porter sur **tout produit chimique** (il en existe des centaines), **toute concentration** de celui-ci (du produit très dilué au produit pur) et **toute durée de contact**. Dans chaque domaine d'utilisation, **un protocole conventionnel** doit être précisé entre les partenaires concernés.

A titre d'illustration, en nous inspirant du programme FLEX (méthode EPA 9090) utilisé aux USA, nous avons mené **une étude de résistance de quelques géomembranes** à quelques hydrocarbures courants et un solvant. L'essentiel des résultats relatifs à l'essence super sans plomb (SSP) est résumé dans le tableau 1 ci-après :

(*) Attention "convenir" signifie que la fonction **confinement** au sens de l'essai de confinement ci-avant est assurée. Ceci ne signifie pas que la géomembrane n'est pas fortement altérée (Cf. § 2 ci-après).

Tableau 1 : résistance intrinsèque aux hydrocarbures

PEHD	Très bonne résistance
PP-F	Bonne résistance mais l'incidence sur la durabilité d'un contact prolongé n'est pas connue (vraisemblablement entre celle de PEHD et celle du PVC-P).
PVC-P	Bonne résistance mais la durabilité sera affectée pour une formule normale standard (forte perte de plastifiant).
EPDM	Bonne résistance mais gonflement important - les joints (collés) résistent très mal.
BITUMINEUX	Le liant se dissout dans l'essence et seuls reste en place le film mince superficiel polyester anti-racine (s'il existe) et l'armature géotextile ; il existe des protections spéciales à prévoir pour les joints.

On peut noter que **les comportements** sont très divers et que, de plus, il faut considérer les caractéristiques de la géomembrane soit **à l'état saturé** par l'hydrocarbure, **soit sèche** (c'est-à-dire on laisse le temps à l'hydrocarbure de s'évaporer) :

- * Ainsi un EPDM peut absorber une grande quantité d'hydrocarbure et voir de nombreuses caractéristiques mécaniques diminuer ; mais, s'il s'agit d'un hydrocarbure volatil (essence, par exemple), après séchage il retrouvera une partie de ses caractéristiques initiales. Si, au contraire, il absorbe de l'huile moteur, celle-ci restera dans le matériau après séchage et l'évolution des caractéristiques mécaniques sera définitive.
- * Cette même constatation peut être faite pour les géomembranes bitumineuses, mais pour de plus faibles quantités d'hydrocarbures.
- * On peut également citer le cas du PVC (standard), qui est intéressant ; sa capacité de rétention de l'essence est très bonne mais, au cours du contact, le matériau perd une grande partie (60 %) de son plastifiant (quantité initiale 30 à 40 %). De ce fait il durcit, présente du retrait et perd une grande partie de sa flexibilité, qualité première et indispensable pour ce matériau.

L'appréciation de la RESISTANCE AUX HYDROCARBURES est donc une **notion complexe**, multifacettes et il est donc difficile de faire des CLASSEMENTS SIMPLES ; ceci étant, le tableau n° 1, ci-avant issu de l'étude précitée permet de se faire une idée des différents types de comportement.

Quant à la **durabilité à long terme** vis à vis de **solutions aqueuses contenant de faibles proportions d'hydrocarbures**, c'est une approche qui n'a pas été abordée : on peut supposer cependant que les comportements sont sensiblement les mêmes qu'avec les solutions concentrées mais avec un grand décalage dans le temps.

En résumé, actuellement nous suggérons d'en rester à **la notion simple de « capacité de rétention » à court terme d'hydrocarbure** développée au § 1.3.1, **et en cas de sinistre, après l'épisode de rétention, une expertise de l'état de la géomembrane** permettra d'évaluer si sa durabilité va être affectée et d'étudier son remplacement éventuel (dans le cadre général des dommages relatifs au sinistre).

1.4. GÉOMEMBRANES - SPÉCIFICATIONS PARTICULIÈRES EN COURS D'ÉTUDE

Caractéristiques	Géomembrane utilisée avec ou sans structure de protection		Méthode	Bitumineuses BO : Bitume Oxydé BP : Bitume Polymère	VALEURS SPÉCIFIÉES			
	Avec	Sans			Matériaux de synthèse non armés (n)			
					PVC-P	PEHD	PP-F	EPDM
Résistance au vieillissement		X	P. EN 1297	X (BP)	X	X	X	X
Résistance aux hydrocarbures	X	X						
● Incidence d'un contact accidentel sur les propriétés fonctionnelles et la durabilité				X	X	X	X	X
● Comportement à long terme (faible concentration d'hydrocarbures)				X	X	X	X	X
Résistance aux micro-organismes	X	X	NFX 41-514 Déc. 81		X		?	X
Résistance à l'ozone		X	Pr EN 1844	NA	NA	NA	NA	X
Résistance à l'impact de la grêle		X	Pr EN ...	X	X	X	X	X
Résistance à la pénétration de racine	X	X	Pr EN W1 254027	X	X	X	X	X
Stabilité de forme lors de cycles thermiques		X	Pr EN 1108	X				

Ces caractéristiques sont pour la plupart en cours d'étude au niveau européen et seront introduites dans une future mise à jour du Guide.

2. INFORMATION SUR LES GÉOSYNTHÉTIQUES BENTONITIQUES

2.1. PLACE DES GÉOMEMBRANES PAR RAPPORT AUX GÉOSYNTHÉTIQUES BENTONITIQUES (GSB)

Les GSB sont décrits sommairement ci-après (§ 2.2.). Pour toute information complémentaire, on se reportera au fascicule CFG [4] spécifique à ces produits et au document plus spécialisé GEO-BENTO [9].

Au sens de la terminologie normalisée en France, actuellement les GSB ne sont pas des géomembranes. Des discussions sont en cours à ce sujet au niveau européen.

Le seul point commun avec les géomembranes est que, pour la même fonction « étanchéité d'ouvrages en terre », ils se présentent sous forme **de nappes manufacturées**, ce qui les différencie des autres techniques « épaisses » utilisables également pour étancher de tels ouvrages (argiles, béton bitumineux, béton hydraulique).

A partir de ce constat simple, les différences entre ces deux familles de produits sont importantes :

- la nature physique et chimique des produits : la partie étanche des géomembranes est **organique** et celle des géocomposites bentonitiques est **minérale** ;
- le mode de fonctionnement ; en partie courante (hors joints) une géomembrane est dès sa livraison dans un **état prêt à la fonction d'étanchéité, alors qu'un GSB n'acquiert sa propriété d'étanchéité qu'après une phase d'hydratation / gonflement de la bentonite** dans des conditions données, en particulier de confinement, d'où la présence **obligatoire** sur le GSB d'une **structure de confinement (couche de matériaux granulaires)**. Cette hydratation initiale correcte est également nécessaire pour une bonne résistance aux hydrocarbures ;
- les assemblages de géomembranes ont une certaine résistance mécanique (en pelage et cisaillement) alors que, pour le GSB, il s'agit d'un simple recouvrement - la stabilité du support est à prévoir en conséquence ;
- dans certaines conditions, les GSB possèdent une capacité intéressante d'auto cicatrisation (gonflement) au droit de petites perforations ;
- la résistance au cisaillement est variable selon les types de produit : ceci est à prendre en compte pour le dimensionnement du Dispositif d'Etanchéité en talus ;
- actuellement, il n'y a pas encore en France de normes d'essai ni de certification car ces produits sont en cours de développement (depuis une dizaine d'années).

Pour une utilisation optimale de ces produits, il convient donc de ne pas se laisser tromper par leur apparente facilité d'emploi et de suivre attentivement les recommandations données dans le document du CFG précité et celles du fabricant ; c'est pourquoi il est recommandé que leur mise en œuvre soit réalisée par une entreprise d'étanchéité et non par l'entreprise générale.

2.2. PRÉSENTATION DES PRODUITS

Pour de plus amples informations se reporter au document du CFG (4).

■ Principe :

- **Produit manufacturé** en forme de nappes associant de la bentonite à un géosynthétique (géofilm* ou géotextile).
- **Bentonite** : Variété d'argile de type montmorillonite. Les deux types commercialisés - sodique naturelle ou calcique activée ont des propriétés différentes.
- C'est la propriété de **gonflement dans l'eau** de la bentonite qui permet l'utilisation en travaux d'étanchéité ; la fonction étanchéité n'est assurée que si le matériau **est confiné**, une contrainte minimum de 5 kPa est obligatoire pour limiter le gonflement et l'hydratation de la bentonite.

La présence d'une structure de confinement / protection, au-dessus des G.S.B. généralement une couche granulaire ou terre végétale, est impérative.

■ Aspect - Structures :

Actuellement deux grandes catégories sont commercialisées :

- **Géotextile bentonitique** : Produit manufacturé résultant de l'association de géotextile(s) et de bentonite.

- géotextile bentonitique **collé** ; bentonite entre deux géotextiles ; une colle hydrosoluble maintient la cohésion de l'ensemble ;

- géotextile bentonitique **aiguilleté** : bentonite enclouée entre deux géotextiles liés par aiguilletage ; celui-ci améliore la cohésion interne du produit (cisaillement) et limite le gonflement de la bentonite ;

- géotextile bentonitique **cousu** : semblable au précédent mais la liaison entre les deux géotextiles de surface se fait par couture ou par liens.

- **Géofilm bentonitique** : association en usine d'un géofilm*, d'une couche de bentonite et éventuellement d'un géotextile ; l'ensemble est maintenu par une colle hydrosoluble et/ou par couture.



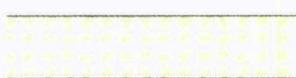
géotextile bentonitique collé



géotextile bentonitique aiguilleté



géotextile bentonitique cousu



géofilm bentonitique

■ Présentation

- en rouleaux ; largeur de 3 à 5 mètres. Longueur suivant les moyens de manutention (30 à 65 mètres).

- épaisseur : 4 à 10 mm ; poids de bentonite au m² supérieur à 3,5 kg.

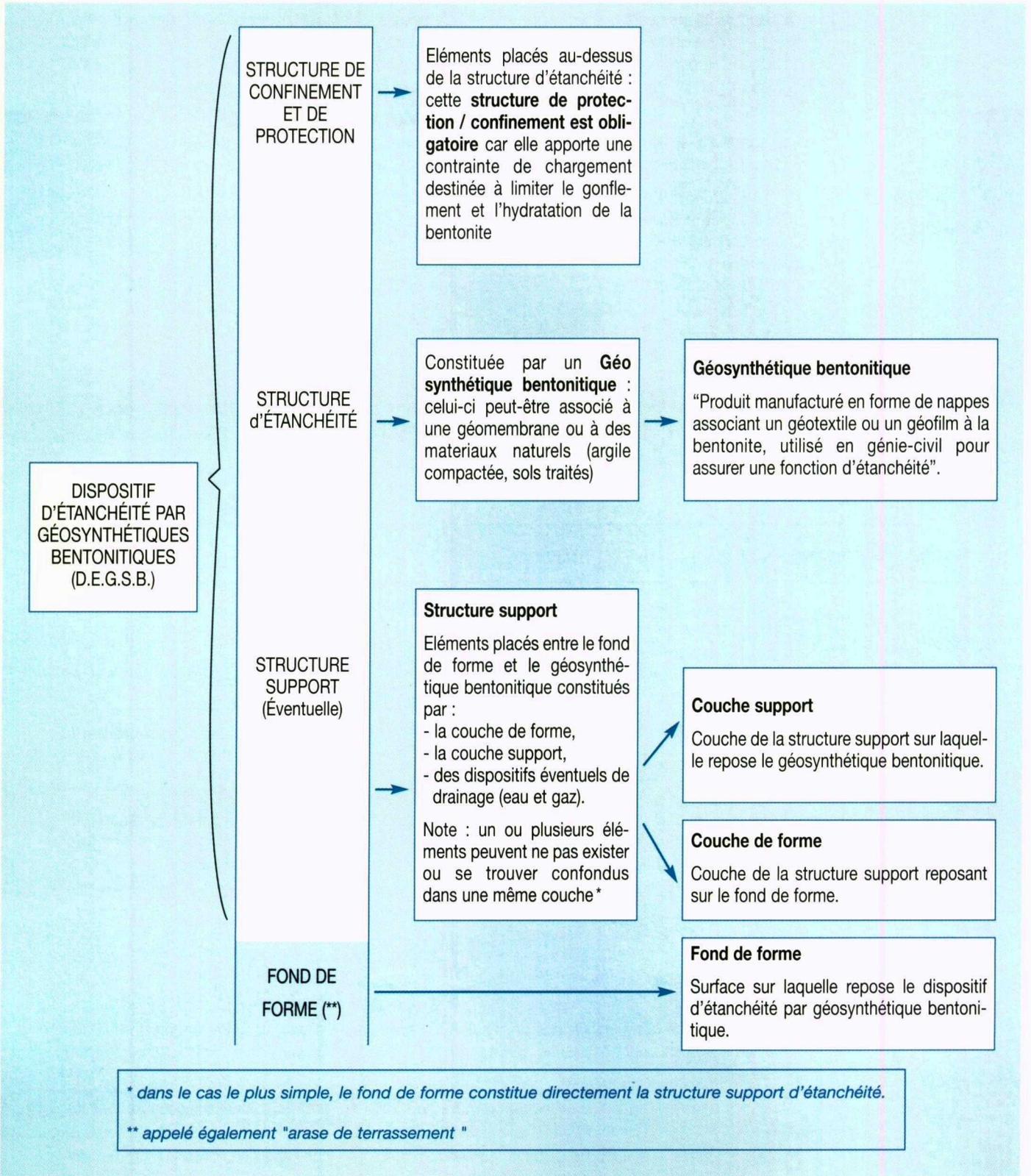
■ Mode d'assemblage

- uniquement par recouvrement (généralement de 15 à 40 cm) avec présence ou apport de bentonite granulaire (ou en poudre ou en pâte).

(*) Géofilm : Nature et propriétés voisines d'une géomembrane de synthèse mais son épaisseur fonctionnelle est inférieure à 1 mm.

2.3. DÉFINITIONS DES DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOSYNTHÉTIQUES BENTONITIQUES (D.E.G.S.B.)

Ces définitions sont tirées du fascicule C.F.G. sur les G.S.B. [4].



3. ÉVALUATION DE L'ÉTANCHÉITÉ GLOBALE D'UN OUVRAGE – LOCALISATION DES FUITES

3.1. NOTIONS GÉNÉRALES DE PERMÉABILITÉ ET D'ÉTANCHÉITÉ

Pour évaluer l'étanchéité apportée par un Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane, les notions habituelles de perméabilité utilisées pour les sols (exprimée en m/s selon la loi de DARCY) sont très mal adaptée car le passage des fluides à travers une géomembrane est essentiellement régi par des lois de diffusion ; il convient donc d'utiliser la notion de FLUX, quantité de matière pouvant traverser le Dispositif par unité de surface et par unité de temps sous des conditions de pression données ; **ce flux est exprimé en litre/m²/jour.**

La norme NF P 84-500 (version de 1998) précise que, pour qu'un produit puisse être dénommé « Géomembrane », ce flux doit présenter un seuil maximum de 0,1 l/m²/j sous 100 kPa de pression d'eau (soit 10 mètres d'eau).

L'objectif assigné aux Dispositifs décrits dans ce Guide est d'avoir un niveau d'étanchéité correspondant à un flux maximum de 1 l/m²/j sous 3 mètres d'eau. Le Dispositif d'Etanchéité est considéré dans son ensemble (partie courante, soudures et fixations sur ouvrages béton).

Le tableau ci-dessous reprend quelques données simples permettant de situer les caractéristiques spécifiées pour les Dispositifs d'Etanchéité décrits dans le présent Guide par rapport aux caractéristiques de sols peu perméables.

			Limons	Argiles	Argiles bien compactées
Épaisseur (m)			0,3	0,3	0,3
Coefficient de perméabilité k (m/s)			10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
FLUX (l/j/m ²)	Hauteur d'eau	0,1 m	10	1	0,1
		3 m	100 (10 ⁻¹)*	100 (10 ⁻²)*	1 (10 ⁻³)*

* entre parenthèse, vitesse correspondante d'abaissement du niveau d'eau dans un ouvrage exprimée en ml/j.

- Le flux spécifié pour le DEG dans le présent Guide (1 l/m²/j sous 3 mètres d'eau) correspond à celui traversant 30 cm d'argile compactée, avec une perméabilité de 10⁻⁹ m/s, sous 3 mètres d'eau.

Ce flux maximal de 1 l/j/m² peut sembler un objectif faible en rapport aux performances des produits utilisés, même s'il prend en compte également les fuites au droit des joints et des raccordements aux ouvrages en béton ; c'est de toutes façons la limite de ce que l'on sait mesurer sur site (1 mm/j), et encore avec difficulté, par la méthode de mesure d'abaissement de niveau d'eau dans l'ouvrage, si les méthodes de mesure des débits de drainage, plus sensibles, ne peuvent être utilisées (Cf. § 3.2.).

- Les méthodes d'évaluation des débits de fuite sont données dans le § 3.2 ci-après ; d'autres méthodes peuvent être utilisées, après accord entre Maître d'Ouvrage et Entreprise ; elles peuvent servir :
 - soit à vérifier pendant la période de garantie de 10 ans que le niveau d'étanchéité requis dans les pièces de marché est effectif ;
 - soit, après la période de garantie, à permettre au maître d'ouvrage de connaître à un moment donné l'efficacité du Dispositif d'Etanchéité.

- En complément aux mesures de débit du § 3.2, dans le § 3.3 ci-après sont indiquées des méthodes de LOCALISATION des fuites, particulièrement intéressantes si une structure de protection recouvre la structure d'étanchéité et de ce fait empêche l'examen visuel.

3.2. MESURES DES DÉBITS DE FUITE

Les éléments ci-après ne constituent pas des protocoles de mesures détaillés, mais donnent des concepts et des orientations.

3.2.1. Mesure de la baisse du niveau d'eau dans un ouvrage

- Son principe découle directement de la spécification de base imposée au Dispositif d'Etanchéité, à savoir un **flux maximal de 1 l/j/m² sous une hauteur d'eau de 3 mètres** - ce flux concerne le dispositif en partie courante, mais également ses raccordements aux ouvrages en béton.
- À ce flux correspond une baisse **du niveau d'eau de 1 mm/j** (pour 3 mètres de hauteur d'eau), ce qui est très faible et nécessite un **très bon appareillage limnimétrique et plusieurs jours de mesure** ; un terme correctif (évaporation/pluie pendant les mesures) est à établir à partir de mesures sur un bac témoin d'au moins 10 m² situé à proximité de l'ouvrage (ou mieux dans l'ouvrage afin de se trouver dans des conditions d'évaporation très proches de celles qui affectent le bassin).
- Cette détermination, délicate en soi comme mentionnée précédemment, peut s'avérer très coûteuse (pour remplir le bassin), elle nécessite de pouvoir court-circuiter l'ouvrage pendant les mesures et ne s'adapte pas à tous les types d'ouvrages décrits dans ce Guide (fossés) ; il convient de ne l'utiliser qu'en cas de doute ou de contentieux persistant après avoir épuisé toutes les investigations et examens pouvant être effectués sur le dispositif lui-même (Cf. Document de Base § 4.5. Garanties).

3.2.2. Mesures des débits dans le réseau de drainage

Ces méthodes ne peuvent être envisagées que si un **dispositif de drainage des eaux est installé** sous la géomembrane et si ce **dispositif de drainage repose sur un support de faible perméabilité**, sinon **tout ou partie des fuites de l'ouvrage** se perd dans le sol support (ce qui donne un résultat par défaut mais qui peut cependant s'avérer très utile).

Il faut d'autre part que le système de drainage soit doté d'une pente minimale de 2 % et qu'il aboutisse si possible à un seul regard d'observation dans lequel on puisse prélever et mesurer le débit d'eau écoulé.

3.2.2.1. Mesures des débits sans traceur

Dans ce cas, le débit du réseau de drainage mesuré dans le regard précité est assimilé au débit de fuite de l'ouvrage ; c'est une méthode simple mais **pouvant être très aléatoire** si le réseau de drainage possède son propre débit d'eaux naturelles captées (autres que celles des fuites du bassin lui-même).

3.2.2.2. Mesure de débits avec traceur

Un traceur chimique totalement soluble dans l'eau et non toxique aux concentrations utilisées (fluorescéine, chlorure de sodium, colorant alimentaire ...) est dissous dans l'eau du bassin (rempli de 3 mètres d'eau).

- soit

M	masse du traceur chimique
V	volume d'eau de l'ouvrage à tester (m ³)
Qt	débit total des eaux transitant à l'exutoire (en m ³) (fuites + drainage éventuel) Qt = Qf + Qd
Qf	débit de fuite (m ³)
Qd	drainage naturel (m ³)
T	durée de la mesure des débits drainés (jours)
C'	concentration du traceur chimique dans l'eau de drainage.
S	surface du Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane.

- Calculer les valeurs suivantes

(1) Concentration initiale du traceur dans le bassin $C = \frac{M}{V}$ (g/m³)

(2) Flux de fuite maximal admissible : 0,1 l/j/m² (Cf. § 4.8)

(3) Débit de fuite maximal admissible : 0,1 x S (l/j)

(4) $Q_f \times C' = Q_f \times C$ soit $Q_f = Q_f \times \frac{C'}{C}$

- Pour que les spécifications d'étanchéité requises soient respectées, il faut que chaque jour la valeur (4) soit inférieure à la valeur (3). Le rapport $\frac{C'}{C}$ donne une idée du volume des eaux de drainage par rapport à celui du volume des fuites du bassin ; il est égal à 1 s'il n'y a pas d'eau de drainage « naturelle » ; il diminue avec la présence de celle-ci.

3.3. SYSTÈME ÉLECTRIQUE DE DÉTECTION ET DE LOCALISATION DES FUITES ET DE SURVEILLANCE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Il existe plusieurs versions du système ; il s'agit généralement de procédés d'entreprise en cours de développement ; on recommande au maître d'œuvre de faire effectuer pour chaque cas un essai de convenance.

3.3.1. Installation fixe d'électrodes sous la géomembrane

Selon un maillage d'environ 10 m x 10 m (ou plus petit), chaque électrode est reliée par un fil électrique au boîtier de connexion.

L'opération de diagnostic consiste à créer un champ électrique entre une électrode « active » située à l'intérieur de l'ouvrage dans le liquide ou sur la couche minérale au-dessus de la géomembrane et le réseau des électrodes « passives » situées sous la géomembrane.

Les données électriques correspondant à l'ensemble de l'ouvrage sont recueillies par l'intermédiaire du boîtier de connexion placé sur le bord de l'ouvrage et relié temporairement ou en permanence à un système d'acquisition et de traitement informatique, permettant d'établir une cartographie des anomalies et une localisation précise des éventuelles fuites dans la géomembrane.

3.3.2. Installation fixe d'électrodes et géotextile conducteur sous la géomembrane :

S'il survient une perforation de la géomembrane, recouverte de liquide ou d'une couche minérale une alarme sonore ou visuelle avertit l'exploitant du bassin de la perte d'intégrité de l'étanchéité de l'ouvrage. Des mesures, déjà décrites, peuvent être alors entreprises pour localiser la fuite précisément.

3.3.3. Localisation de fuite par sonde électrique mobile sans prééquipement d'électrode sous la géomembrane – Ce dispositif est également opérationnel même avec une couche de protection granulaire en place, avec ou sans lame d'eau.

Un champ électrique est créé entre une sonde unique placée dans le sol support de la géomembrane (en crête de talus, par exemple) et une série de sondes mobiles (en général un tripode) déplacées par un opérateur sur l'ensemble de la surface (dans le liquide ou sur la couche de protection supérieure du DEG).

Les données électriques recueillies par la série de sondes mobiles reliées à un système portable d'acquisition et de traitement informatique des données, permettent d'établir une cartographie des anomalies et de détecter et localiser les fuites dans la géomembrane.

Un essai de convenance (fond et talus) est recommandé.

X : OUI O : NON	Avec installation fixe d'électrode sous la géomembrane		Sans pré-installation d'électrodes sous la membrane (§ 3.3.)
	Mesure par campagnes* (§3.1)	Mesure permanente avec alarme (option) sans localisation précise de l'anomalie (§ 3.2.)	
Matériel installé : <ul style="list-style-type: none"> • Electrodes, câble • Boîtier collecteur de signal • Géotextile conducteur sous membrane • Dispositif d'alarme • Générateur courant 	X X O O O	X X X (option) X X	O O O O
Matériel ambulant : → Générateur de courant (analyseur de signal, micro-ordinateur d'acquisition de données).	X		X
Matériel informatique de bureau : → Traitement des signaux, cartographie de fuites (2 D ou 3 D).	X		X
Avantages	Grande sensibilité - Contrôle par campagne à la demande.	Contrôle permanent alarme	- Intervention sur parc de bassin non pré-équipé - Pas d'investissement initial - à étudier chaque fois la faisabilité de la méthode.

* Remarque : Chaque campagne de mesure permet de détecter les fuites les plus importantes ; après obstruction de celles-ci, des campagnes complémentaires permettent de repérer les fuites moins importantes.

3.4. IDEM 3.3. MAIS À UTILISER DIRECTEMENT SUR LA GÉOMEMBRANE

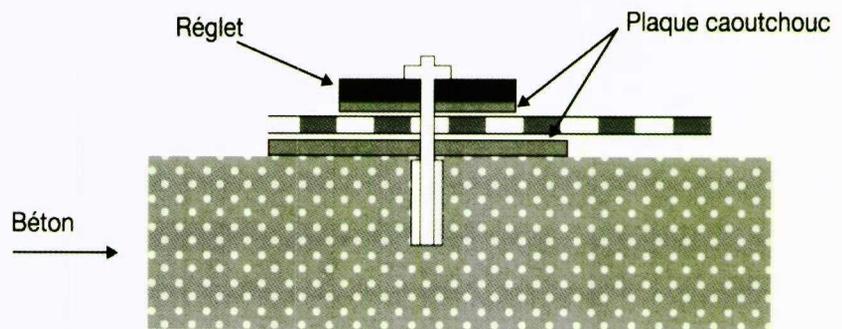
Même principe de base que précédemment ; une électrode est placée en crête de talus hors géomembrane et **une électrode ambulante explore** l'ensemble de la surface **précédée par un système d'arrosage** ; un signal sonore permet de signaler une perforation dans la géomembrane ; ce système ne nécessite pas une lame d'eau permanente dans l'ouvrage à examiner mais, **actuellement, ne fonctionne pas en présence d'une structure de protection, ce qui en limite notablement l'intérêt.**

4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES ARRETS D'ÉTANCHÉITÉ ET RACCORDEMENT SUR OUVRAGES EN BÉTON

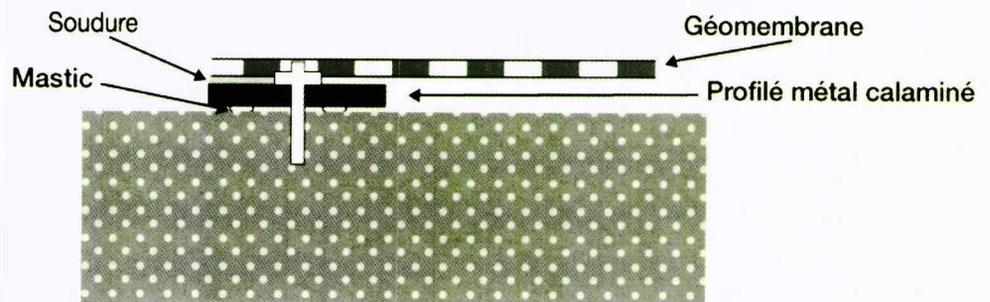
RACCORDEMENT DES GÉOMEMBRANES SUR OUVRAGES EN BÉTON OU SUR UN HORIZON ÉTANCHE OU0 EN TÊTE DE TALUS

Remarque : Plusieurs de ces schémas sont issus du Document [2] du CFG, auquel on se reportera utilement ; se conformer également aux spécifications du fabricant

Figures 1 : Raccordement étanche d'une géomembrane à un ouvrage en béton.

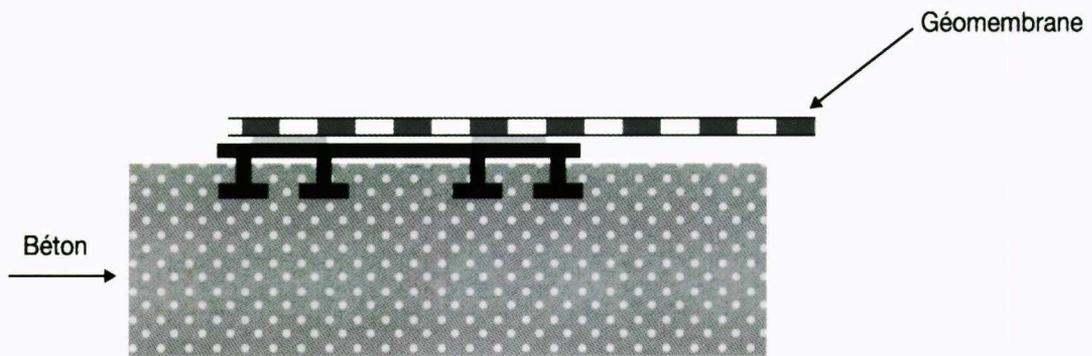


1a) avec réglelet métallique et écrous de fixation*



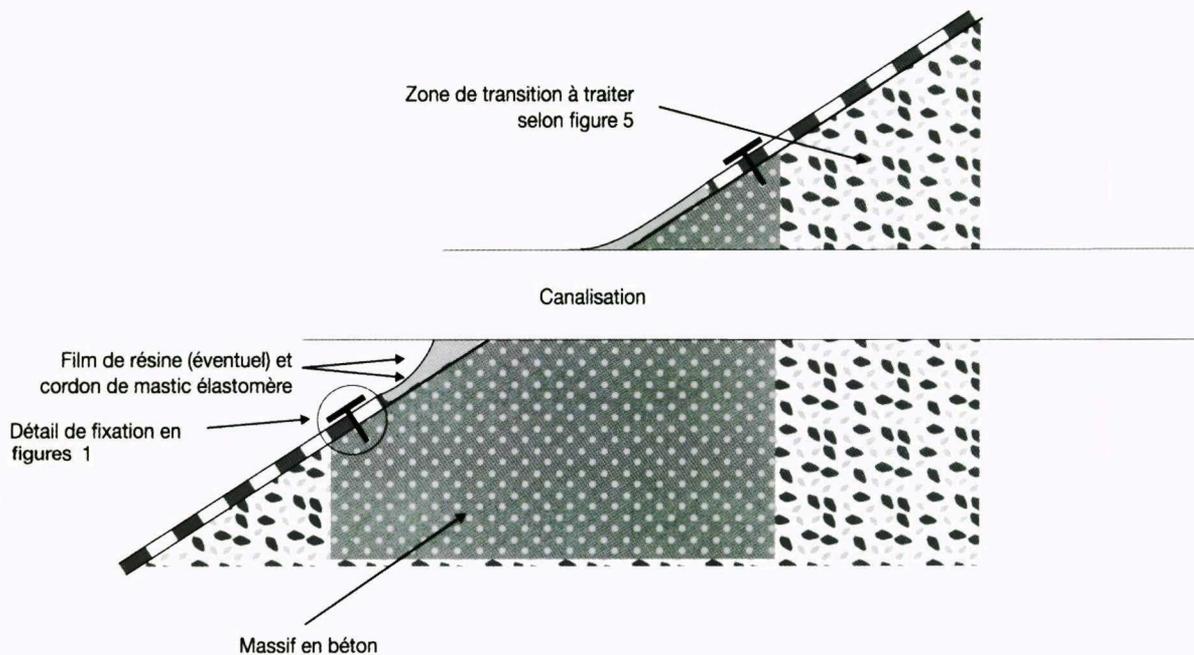
1b) soudure d'une géomembrane thermoplastique sur un profilé métallo-plastique, colaminé, fixé mécaniquement au support.

* dans le cas d'une géomembrane bitumineuse, les bandes compressibles sont supprimées et elle est soudée « en plein » sur le support (avec enduit d'imprégnation à froid).



1c) soudure d'une géomembrane thermoplastique sur un profilé plastique, mis en place avec le béton frais

Figure 2 : Raccordement étanche d'une géomembrane sur une canalisation (cas d'un talus). Un chemisage avec collerette peut également être fait autour du tuyau avec la géomembrane.



Figures 3 : Ancrage de la géomembrane en tête de talus (Cf. dimensionnement en PARTIE B.)

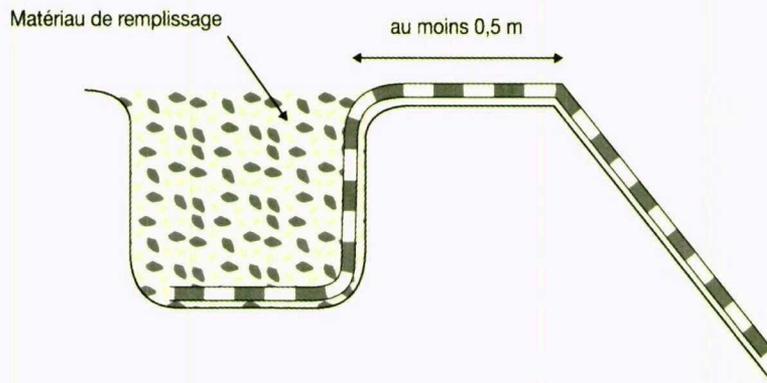
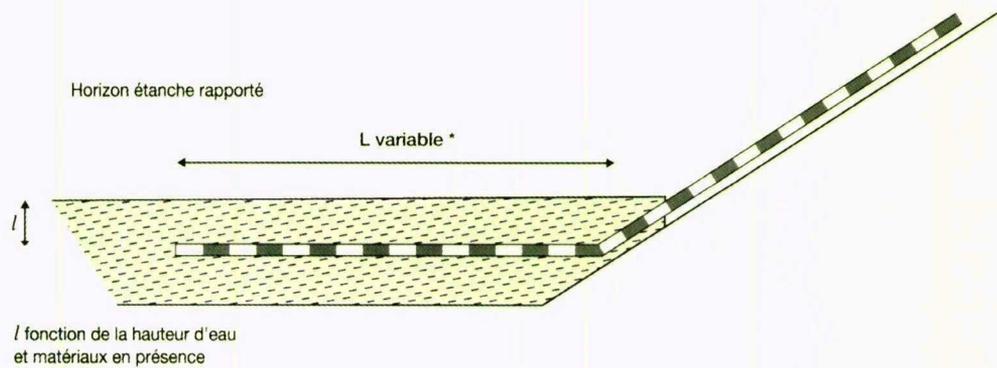


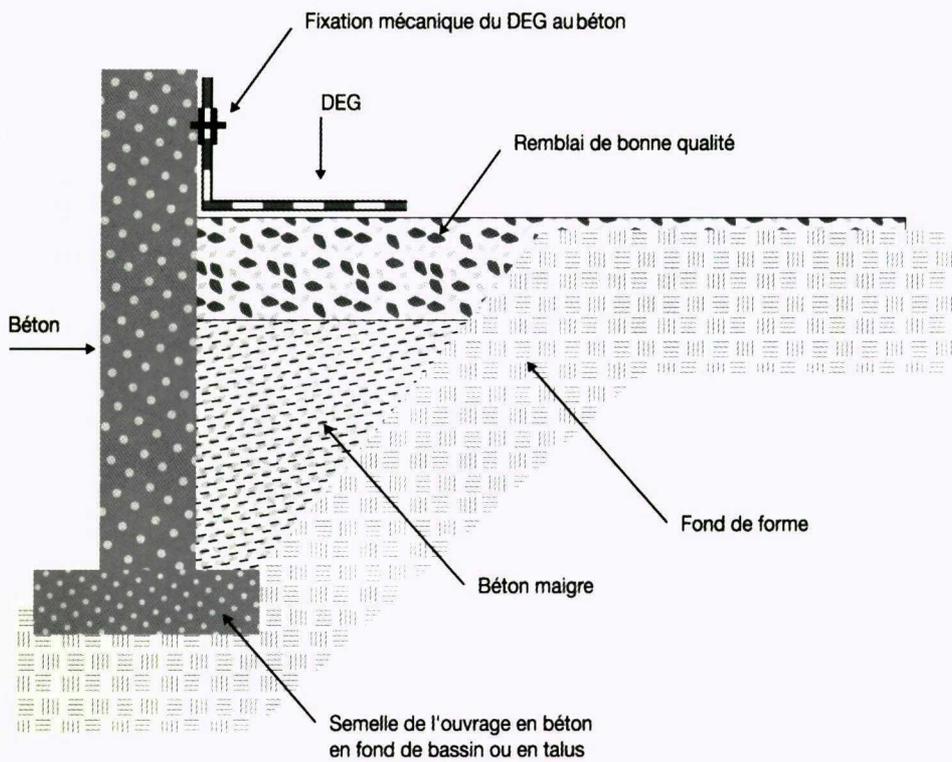
Figure 4 : Raccordement d'une géomembrane sur un horizon étanche en fond d'ouvrage.



l / fonction de la hauteur d'eau
et matériaux en présence

* en fonction du matériau
étanche par exemple
2 m pour une argile,
0,50 m pour
béton bitumineux.

Figure 5 : Raccordement du DEG sur ouvrages béton – Renforcement du sol support adjacent



5. ENTRETIEN / EXPLOITATION

5.1. EXEMPLE DE FICHE DESCRIPTIVE D'OUVRAGE

DISTRICT DE XXXXXX		OUVRAGE N° AA-SS-NNNN
---------------------------	---	-------------------------------------

FICHE D'OUVRAGE D'ASSAINISSEMENT

Date de Mise en Service 06 / 1990		FONCTION BASSIN DE REGULATION / DECANTATION	
NATURE DU D.E.G.		Autoroute	A202
Support	Sablon	Sens	R / C
Géotextile	Oui	PR	39+600
Géomembrane	PVC (15/10)	Commune	COMMUNE
Marque			
Protection fond	Terre végétale		
Protection talus	Terre végétale		
Drainage Eau	Oui (drains)		
Drainage gaz	Oui (drains)		
EQUIPEMENTS		DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE	
By-pass	Oui	Longueur	70,00 m
By-pass	Oui	Largeur	20,00 m.
Vanne aval	Oui	Surface Fond	1 200 m ²
Régulateur débit	Oui	Volume mini	960 m ³
		Volume maxi	1 440 m ³
		Hauteur lame d'eau	0,80 m.
		Cote de fond	72,35.
		Cote Berge	74,90.
		Débit de fuite	50 l/s.
		Pluie de référence	i ₁₀ .
		Méthode de dim.	Courbe enveloppe.
CARACTERISTIQUES BASSIN VERSANT		CARACTERISTIQUES EXUTOIRE	
Type d'impluvium	Section courante	Rivière, cours d'eau, ...	X
Surface impl. routier	5,10 ha	Etangs, lac	
Surface impl. naturel	3,20 ha	Bassin d'infiltration	
		Fossé	
		Réseau	
		Autres	
CURAGES		SENSIBILITE DU MILIEU NATUREL	
15/05/1995	320 m ³	95 2 0050	
06/04/1992	280 m ³	92 2 0743	
ARCHIVES / RECOLEMENT		Cours d'eau de 1ère catégorie, périmètre de protection de captage d'AEP, Réserve naturelle, ...	
Archives	B 124 / 90-1070		
Recolement	1990 / 93 B 124		

REMARQUES : La géomembrane peut assurer la rétention d'hydrocarbure (type essence sans plomb) au moins 10 jours.

5.2. FICHE DE VISITE DE L'OUVRAGE

DISTRICT DE XXXXXX		OUVRAGE N° AA-SS-NNNN
-----------------------	---	---------------------------------

Date de Mise en Service 12 / 1988	FONCTION BASSIN DE REGULATION / DECANTATION
---	--

NATURE DU D.E.G.			
Support	Sablon	Autoroute	A26
Géotextile	Oui	Sens	R / C
Géomembrane	PEHD (15/10)	PR	37+200
Protection fond	RADIER B15 (0,15)	Commune	COMMUNE
Protection talus	Non		
Drainage Eau	Non	DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE	
Drainage gaz	Oui	Surface Fond	1 200 m ² .
By-pass	Oui	Volume mini	960 m ³ .
Régulateur débit	Non	Volume maxi	1 440 m ³ .
		Hauteur lame d'eau	0,80 m.
		Débit de fuite	50 l/s.

FICHE DE VISITE

date		METEO	
heure		Date Dernier curage	25/07/95

DÉSIGNATION	VRF**	CTRL*	REMARQUES
OUVRAGES / COLLECTEURS D'AMENÉE - Débit d'apport - Dégrilleur - Position Vanne(s) Entrée by-pass - Position Vanne(s) Sortie by-pass EFFLUENT / BOUES) - Qualité de l'effluent (irisation, ...) - Flottants - Boues / décantats - Hauteur - Couleur DISPOSITIF D'ÉTANCHÉITÉ PAR.GMB - Couche de protection - Géomembrane - Surface - Joints et soudures - Raccords sur ouvrage béton ÉQUIPEMENTS - Régulateur - Siphon			

** vérifiée
* contrôlé

VISA DU CONDUCTEUR TRAVAUX

Page laissée blanche intentionnellement

Partie

B Dimensionnement des géosynthétiques en talus entre géomembrane et couche de protection en terre végétale ou granulaire

1.	Démarche méthodologique	34
1.1.	<i>Stabilité du D.E.G sur la pente de talus</i>	34
1.2.	<i>Ancrage du DEG en tête de talus</i>	35
1.3.	<i>Conditions hydrauliques</i>	35
2.	Etude d'un cas type	36
2.1.	<i>Données descriptives</i>	36
2.2.	<i>Autres données nécessaires au calcul</i>	36
2.3.	<i>Résultats des calculs</i>	36
3.	Conclusion	37
	Annexe : Dimensionnement du DEG munie d'une protection en terre végétale ou en granulats d/D. Note de calcul.	39
A.1.	Analyse de la stabilité de la couche de protection et du DEG (aspect mécanique) - Principe de calcul	39
A.1.1.	<i>Schéma de calcul</i>	39
A.1.2.	<i>Tenue de la couche de protection</i>	40
A.1.3.	<i>Résistance au glissement des éléments du DEG</i>	40
A.2.	Ancrage du DEG en tête du talus	42
A.3.	Coefficients de sécurité sur les caractéristiques mécaniques du géocomposite	42
A.3.1.	<i>Tension dans le géotextile ou géocomposite</i>	42
A.3.2.	<i>Résistances mécaniques au glissement et à l'accrochage</i>	43
A.4.	Analyse de l'hydraulique du complexe terre végétal/GTX supérieur/GMB	44
A.4.1.	<i>La permittivité</i>	43
A.4.2.	<i>La transmissivité</i>	44
A.4.3.	<i>Coefficients de sécurité</i>	44

Abréviations :	TV	Terre végétale
	GMB	Géomembrane
	GTX sup	Géotextile (ou géocomposite) supérieur (au-dessus de la géomembrane)
	GTX inf	Géotextile (ou géocomposite), inférieur (au-dessous de la géomembrane)
	TN	Terrain naturel
	GR	Grave Reconstituée

1. DEMARCHE METHODOLOGIQUE

1.1. STABILITÉ DU DEG SUR LA PENTE DE TALUS

Coupe Type d'un DEG en talus (exemple)

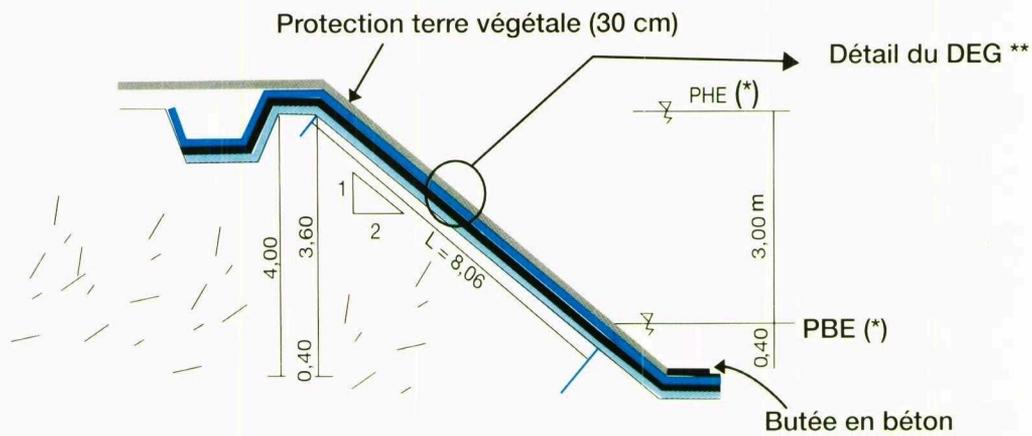
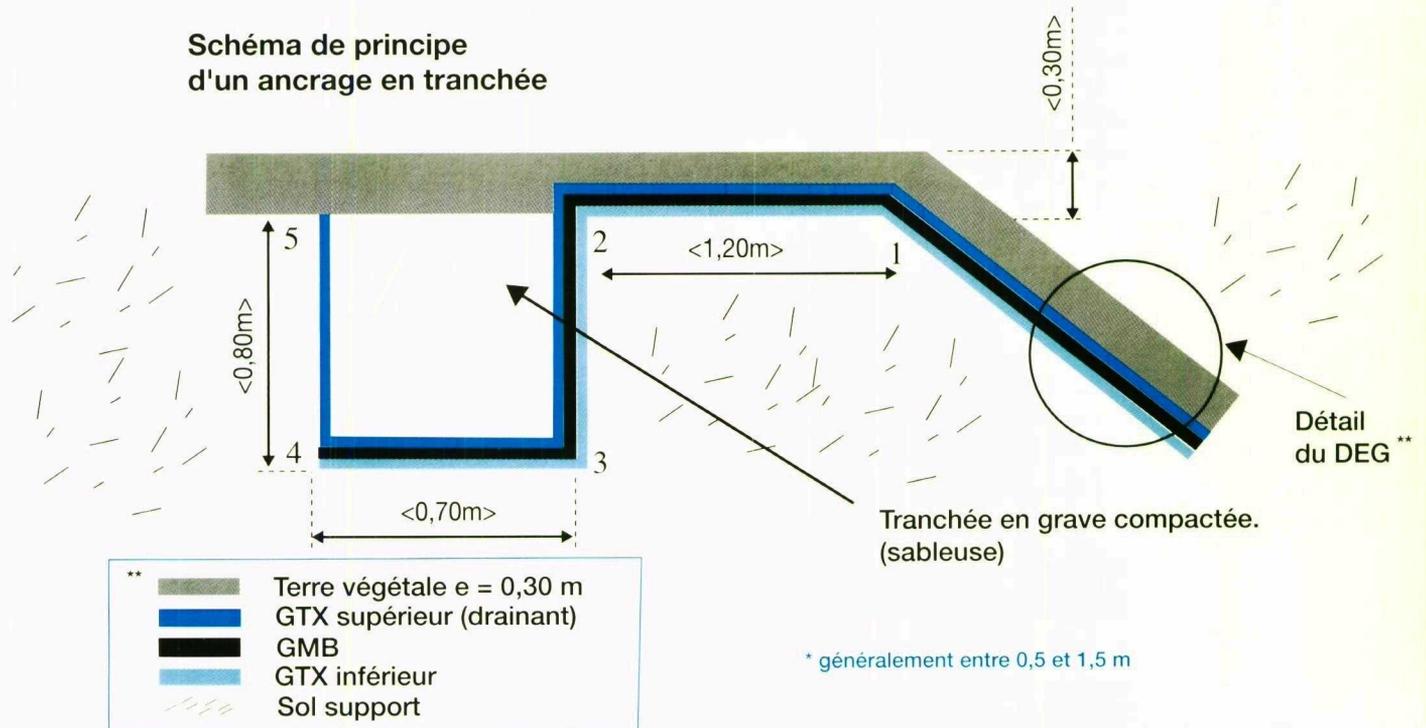


Schéma de principe d'un ancrage en tranchée



Il s'agit de vérifier l'équilibre d'une couche granulaire ou de terre végétale mise en œuvre sur une géomembrane en talus.

Nous considérons que la stabilité du talus proprement dit a été préalablement vérifiée et qu'aucune venue d'eau n'apparaîtra sous le DEG.

1. On détermine par des essais en laboratoire selon les normes en vigueur les caractéristiques mécaniques du frottement des différents éléments en contact :
TV ou GR/GTX sup ; GTX sup/GMB ; GMB/GTX inf ; GTX inf/TN
Celles-ci peuvent être éventuellement estimées d'après des résultats d'essais antérieurs sur des produits et matériaux semblables (voir note de calcul en annexe § 1.3.).
2. On vérifie la stabilité, d'après la pente de talus, de la couche de terre végétale (TV) ou de granulats (GR) sur son support. Le coefficient de stabilité doit être supérieur à 1,10 (1,15 dans certains cas pour lesquels les caractéristiques mécaniques sont mal connues).
3. On calcule les contraintes de frottement τ aux interfaces des différents éléments.
4. On calcule d'après les contraintes de frottement τ et la longueur de talus, les efforts de traction T en tête de talus pour chaque élément du DEG ;

NB : L'élément subissant le plus grand effort est le GTX sup en contact avec les matériaux de couverture et en glissement sur la géomembrane. Le gliss

1.2. ANCRAGE DU DEG EN TÊTE DE TALUS

L'effort résistant est généralement obtenu par enfouissement du DEG dans une tranchée remblayée en tête de talus. L'effet de courroie à chaque retournement de celui-ci dans la tranchée constitue un facteur de stabilisation déterminant. Sinon, le principe reste le même que ci-dessus dans les parties planes de la tranchée.

Le coefficient de sécurité doit être d'environ 6 pour tenir compte de l'endommagement et de mauvais contacts éventuels (plis, adhérence) entre le sol et le DEG dans la zone située entre la tranchée et le bord du talus.

1.3. CONDITIONS HYDRAULIQUES

Lorsque la couche mise en œuvre au-dessus du géotextile supérieur ne permet pas un écoulement d'eau rapide dans son épaisseur (c'est-à-dire le cas de la plupart des matériaux à l'exception des granulats d/D ($d \geq 8$ mm), des pressions hydrauliques peuvent être générées au sein de celle-ci, entraînant des instabilités.

Si l'on désire des pentes de talus fréquemment utilisées pour ce type d'ouvrage ($H = 2$ à 3 , $V = 1$), il conviendra d'interposer, entre la géomembrane (horizon imperméable) et la couche de terre, un géotextile composite drainant. Les conditions hydrauliques seront calculées d'après les formules du fascicule du CFG « Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans les systèmes de drainage et de filtration ».

2. ETUDE D'UN CAS-TYPE

2.1. DONNÉES DESCRIPTIVES

- Support en grave sableuse (subst)
- Pente (1V/2H) : 26,5 degrés
- Epaisseur de la couche de protection 0,30 m
- Géotextile inférieur (GTX inf) sous géomembrane : non tissé aiguilleté
- Géomembrane PEHD lisse
- Géotextile supérieur (GTX sup) sur géomembrane : non tissé aiguilleté
- Couche de protection en terre végétale (TV) : $\gamma = 20$ kN/m³
- Butée en pied de talus, en béton (non prise en compte dans le calcul)
- Développée du talus L = 8,06 m

2.2. AUTRES DONNÉES NÉCESSAIRES AU CALCUL

- Données de frottement (φ) et cohésion (c)

	φ (degrés)	c (kPa)
TV / GTX sup	28	0
GTX sup / GMB	12	0
GMB / GTX inf	12	0
GTX inf / Substratum	30	0

Ces données sont établies à partir des essais normalisés à la boîte de cisaillement ou au plan incliné (Cf. Annexe § 1.3.) et correspondent à des valeurs types de géotextile aiguilleté et de géomembrane en PEHD lisse ; d'autres paramètres de cisaillement sont donnés pour information au § 1.3 de l'Annexe.

- $\mu = 0$ (GTX supérieur drainant)
(μ () pression interstitielle due à l'eau au dessus de la géomembrane)
- coefficient de perméabilité de la terre végétale (hypothèse) : $k_s = 2.10^{-6}$ m/s

2.3. RÉSULTATS DES CALCULS (Cf. note de calcul en annexe)

En suivant la note de calcul, on obtient :

■ Caractéristiques mécaniques

- **En talus** : - Coefficient de sécurité : $F = \frac{\tan \varphi \cdot 1}{\tan \beta} = 1,07$ (un peu faible ;

référence $F > 1,10$) (1) à (4)**

- Tension dans le géotextile supérieur en tête de talus (par mètre) (10)

$T1 = 12,6$ kN/m ou $17,2$ kN/m (pour cette dernière valeur, application des coefficients de sécurité sur γ et $\tan \varphi$) (Cf. A.1.3.)

$T1^* =$ Tension requise : Cf. annexe § 3.1.

Résistance à spécifier pour le géotextile supérieur dans le cas d'une mise en œuvre peu agressive (voir annexe § 3.1.)

Seuil minimum polyester : 25 kN/m

polypropylène : 49 kN/m

Seuil maximum polyester : 57 kN/m

polypropylène : 113 kN/m

- Tension dans la géomembrane $T_2 = 0$ (glissement du géotextile supérieur sur membrane (11)

- Tension dans le géotextile inférieur $T_3 = 0$ (12) (Cf. annexe).

(**) les chiffres entre parenthèses correspondent aux formules mentionnées dans la note de calcul, ou annexe ci-après.

Pour T_2 et T_3 , la somme des contraintes de frottement Γ non nulles développées sur les deux faces s'annule. T_1 doit équilibrer en tête de talus les efforts dus à la terre végétale.

- **En ancrage** : L'application des formules (15) et (16) sur chaque portion rectiligne du DEG, comme indiqué sur le schéma précédent, conduit à un effort résistant de 90 kN par mètre linéaire de talus, soit un coefficient de sécurité de 7 (> 6), dans le cas d'une couverture en terre végétale sur la tranchée.

■ Caractéristiques hydrauliques du géocomposite

● Permittivité (P)

$$\frac{K_n}{C} \text{ calculé} = 2.10^{-6} \text{ s}^{-1} \text{ (soit un débit de } 7 \text{ l/h/m}^2\text{)}$$

$$\frac{K_n}{C} \text{ à spécifier} > 2.10^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ (compte-tenu des coefficients de sécurité mentionnés en annexe 4.3.)}$$

● Transmissivité (θ)

$$- \kappa_{i,c} \text{ calculé} = 4,5.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$- \kappa_{i,c} \text{ à spécifier} : 1,4.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (géotextile homogène)} \text{ et } 1,4.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (géotextile composite)} \text{ (compte-tenu des coefficients de sécurité mentionnés en annexe 4.3.)}$$

3. CONCLUSION

Comme indiqué dans l'Annexe § 3 ci-après, la mise en place d'une structure de protection en terre végétale ou en granulats d/D sur un DEG dont tous les éléments sont plans, nécessite au préalable des essais en laboratoire (frottement) selon les normes en vigueur, si les géotextiles présentent des particularités mal connues, puis une étude de stabilité de l'ensemble de la protection DEG après vérification de la stabilité du talus lui-même.

Les pentes à donner à ce talus n'excéderont probablement pas 2/1 (H = 2 ; V = 1) compte-tenu des performances usuelles au frottement des géotextiles.

Pour des pentes plus raides, hormis de laisser la membrane nue, l'emploi d'un géosynthétique tridimensionnel ancré en tête de talus est préconisé. Il peut être constitué de géoconteneurs alvéolaires (nids d'abeille, par exemple) soutenant la terre végétale ou les granulats ou par l'emploi d'un fascinage ancré en tête et/ou lié au géosynthétique d'interface.

D'autres produits retenus par un ancrage, tels que les « paillasons » préensemencés ou autres géosynthétiques tridimensionnels, peuvent être également utilisés pour la protection superficielle de la couche (antiérosion) : pour ces dispositifs, la demande d'avis à un spécialiste en géosynthétique est conseillée.

Dans le cas traité ci-avant, la géomembrane (quasi lisse) présente peu de frottement vis-à-vis des matériaux géosynthétiques sous et sus-jacents ; il se développe actuellement des géomembranes (PEHD, par exemple) présentant des structures superficielles diverses ; picots, motifs géométriques en saillies, texture irrégulière plus ou moins proéminente et ce, sur l'une ou l'autre des deux faces ou sur les deux faces. Quant aux géomembranes bitumineuses, elles peuvent comporter une face lisse et une face microrugueuse. Cela multiplie donc les cas de figure possibles depuis la désolidarisation totale des éléments jusqu'au frottement partiel des couches de protection et à l'ancrage plus ou moins important de la géomembrane au support. Ceci demande une certaine prudence pour le dimensionnement, en particulier pour ne pas mettre la géomembrane en tension ; il s'agit d'un métier neuf où l'on manque encore de retour d'expérience, ce qui nécessite l'avis d'un spécialiste.

En résumé, il est primordial de vérifier :

- que la pression interstitielle à la base de la couche de terre végétale, lors de l'abaissement du plan d'eau ou tout simplement par une saturation totale ou locale de cette couche due aux précipitations météoriques, est compatible avec la stabilité de la couche de protection ; pour cela **une certaine conductivité des eaux dans le plan et dans l'épaisseur du géotextile ou du géocomposite disposé entre géomembrane et la couche de terre végétale est alors éventuellement nécessaire** ; une couverture en granulats d/D compte tenu de sa propre perméabilité, devrait satisfaire sans vérification particulière à cette condition ;
- que le « **géotextile (ou géocomposite) supérieur** » a des résistances en traction, à l'endommagement à la mise en œuvre et au poinçonnement statique suffisantes. ;
- que les conditions de mise en œuvre ne sont pas trop agressives.

ANNEXE

DIMENSIONNEMENT DU DEG MUNI D'UNE PROTECTION EN TERRE VÉGÉTALE OU EN GRANULATS d/D

Étude de la stabilité de la structure de protection

NOTE DE CALCUL

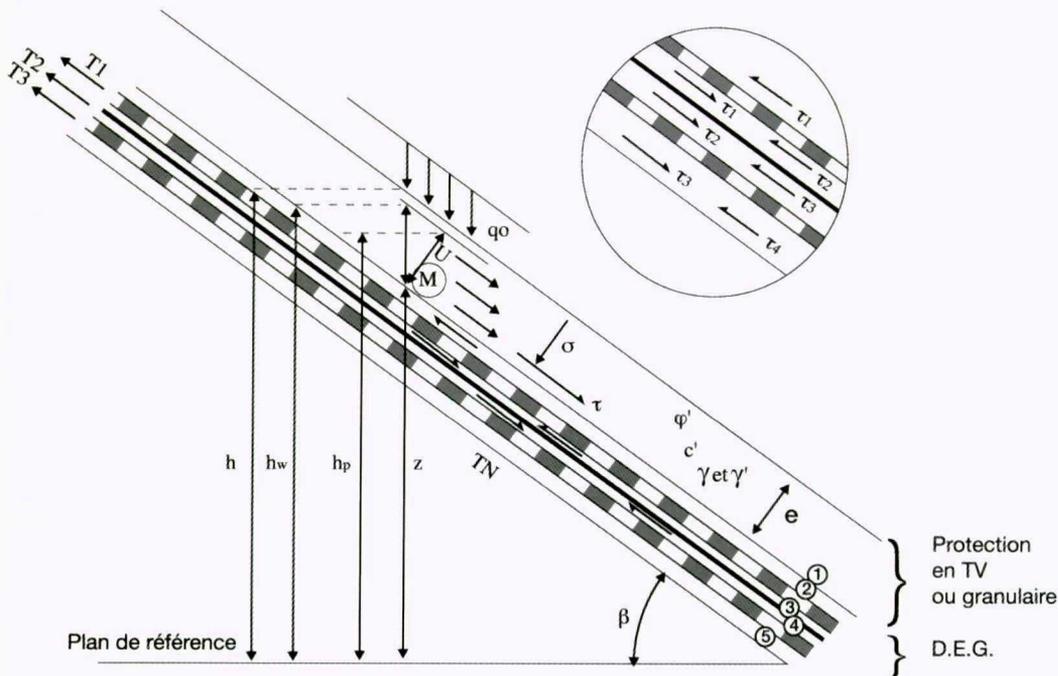
Il s'agit de vérifier l'équilibre d'une couche granulaire ou de terre végétale mise en œuvre sur un DEG plan.

Nous considérons que la stabilité du talus proprement dit, a été préalablement vérifiée et qu'aucune venue d'eau n'apparaîtra sous le DEG.

Les calculs de tenue mécanique et de conductivité hydraulique sont menés par mètre de talus.

A.1. ANALYSE DE LA STABILITÉ DE LA COUCHE DE PROTECTION ET DU DEG (ASPECT MÉCANIQUE) - PRINCIPE DE CALCUL

A.1.1. SCHÉMA DE CALCUL



- ① Couverture (TV ou granulats d/D)
- ② Géotextile supérieur (GTX sup)
- ③ Géomembrane (GMB)
- ④ Géotextile inférieur (GTX inf)
- ⑤ Talus (terrain naturel ou digue)

σ et τ contraintes normales et tangentielles
 φ' , c' , γ' , γ caractéristiques de résistance au cisaillement et poids volumiques
 u pression de l'eau
 T tensions des éléments du DEG

Avec :

σ :	contrainte normale à la base de la couche
τ :	contrainte de frottement dirigée selon la pente du talus
μ :	pression interstitielle due à l'écoulement de l'eau
q_0 :	contrainte uniforme appliquée sur la surface supérieure de la couche, en général nulle
γ :	poids volumique de la terre saturée ou des granulats
γ_w :	poids volumique de l'eau
z :	cote du point M considéré dans la couche, en général à la base de la couche
τ_{max}	résistance maximale de la couche ou du contact couche/DEG, en général couche/DEG
h :	cote du talus au point M considéré
h_w :	cote de l'eau au point M considéré
h_p :	cote piézométrique au point considéré
F :	coefficient de sécurité au glissement
$c'1$ et $\varphi'1$:	cohésion et angle de frottement de la terre ou des granulats sur le géotextile supérieur
β :	angle de talus
e :	épaisseur de la couche de protection

A.1.2. TENUE DE LA COUCHE DE PROTECTION (VOIR SCHÉMA SUR LA PAGE PRÉCÉDENTE)

En raison du rapport de l'épaisseur de cette couche vis-à-vis de la longueur de la pente, sa tenue se limite dans la majeure partie des cas à l'étude du glissement plan. Les relations qui régissent l'équilibre à la base de la couche au contact du DEG sont les suivantes :

$$\sigma = q_0 + \gamma (h - z) \cos^2 \beta, \quad (1)$$

$$\tau = q_0 + \gamma (h - z) \sin \beta \cos \beta \quad (2)$$

$$u = \gamma_w (h - z) \cos^2 \beta \quad (3)$$

et

$$F = \frac{\tau_{max}}{\tau}, \text{ soit } F = \frac{c'1 + (\sigma - u) \tan \varphi'1}{\tau} \quad (4)$$

$$\text{si } u = 0, q_0 = 0 \text{ et } c'1 = 0 \quad \text{alors} \quad F = \frac{\tan \varphi'1}{\tan \beta} \quad (5)$$

A.1.3. RÉSISTANCE AU GLISSEMENT DES ÉLÉMENTS DU DEG

Contraintes de sollicitation du DEG

- Contrainte tangentielle TV/GTX sup : $\tau_1 = \tau = \gamma (h - z) \sin \beta \cos \beta$, (6)
- Contrainte tangentielle GTX sup/GMB : $\tau_2 = \sigma \tan \varphi_2$ (τ_2 max, il y a glissement si $\tau_{2max} < \tau_1$) (7) ce qui sera presque toujours le cas pour des éléments plans non rugueux
- Contrainte tangentielle GMB/GTX inf : $\tau_3 = \sigma \tan \varphi_3$ ($\tau_2 = \tau_3$ si $\varphi_2 = \varphi_3$) (8)
- Contrainte tangentielle GTX inf/substratum : $\tau_4 = \tau \tan \varphi_4$ (en général $\tau_4 \gg \tau_3$) (9)

Effort de traction dans chaque élément du DEG par mètre de talus :

$$\bullet \text{ GTX sup } T1 = (\tau_1 - \tau_2) L \quad (10)$$

$$\bullet \text{ GMB } T2 = (\tau_2 - \tau_3) L \quad (11)$$

$$\bullet \text{ GTX inf } T3 = (\tau_3 - \tau_4) L \quad (12)$$

T1 et T2 doivent être positifs ; T2 doit être nul ou voisin de zéro (pas d'effort transmis dans la géomembrane).

L'introduction de l'épaisseur de la couche de protection $e = (h - z) \cos \beta$ dans les formules (1) et (2)

conduit à la valeur $T1 = \gamma e L (\sin \beta - \cos \beta \tan \varphi_2)$ (13)

Signification des symboles :

L = longueur développée du talus sur laquelle s'applique(nt) la (les) protection(s).

$\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$: angle de frottement des éléments du DEG entre eux et du GTX inf/TN

Remarque importante :

Il est impératif d'annuler la pression interstitielle dans la couche de protection par un dispositif drainant en interposant entre la géomembrane et la terre un géotextile supérieur fortement drainant qui sera, pour la plupart des cas, **un géocomposite de drainage**. De même, la vidange du bassin devra être faite lentement de manière à éviter toute surpression hydraulique à la base de la couche de terre végétale. Le problème ne devrait pas se poser s'il s'agit de granulats, ceux-ci étant autodrainants.

En raison des valeurs des angles de frottement recherchés pour le GTX sup et celui de la GMB, c'est le géotextile supérieur qui reprend le maximum d'effort ; les autres parties du DEG sont peu ou pas sollicitées par la traction.

L'angle de frottement φ_2 doit être le plus faible possible pour favoriser le glissement du GTX sup/GMB de manière à réduire le plus possible les contraintes de frottement de la face supérieure (côté lisse en contact avec GTX sup) de la géomembrane et de là, mobiliser un effort de traction nul ou très faible sur cet élément du DEG. Les normes AFNOR [1] donnent les types d'essais à engager NFP 84-505 « Boîte de cisaillement » et NFP 84-522 « Plan incliné » pour déterminer les caractéristiques mécaniques de cisaillement.

Pour F (4), on prendra une valeur supérieure à 1,10. Quant au choix des éléments du DEG, les valeurs de traction calculées seront pondérées par un coefficient de sécurité, celui du GTX sup sera fonction de la nature du produit utilisé, des incertitudes de charges et de l'endommagement à la mise en œuvre.

L'Eurocode 7 préconise l'application de coefficients de sécurité sur γ et $\tan \varphi$ dans la détermination des tensions des différents géosynthétiques ; ils valent

$F_\gamma = 1,35$ (*) et $F_\varphi = 1,25$ (*) ; la formule (13) devient alors pour le GTX sup :

$$T1 = 1,35 \gamma e L (\sin \beta - \cos \beta \frac{\tan \varphi_2}{1,25}) \quad (14)$$

(*) valeurs non définitives en cours d'examen.

Paramètres de cisaillement

A titre indicatif, le tableau ci-dessous donne quelques fourchettes de valeurs d'angles de frottement à l'interface de produits géosynthétiques et à l'interface de matériau granulaire sur produit géosynthétique. Des essais doivent être effectués en laboratoire pour plus de précision dans chaque cas particulier, étant donné la variété des produits présentés sur le marché.

Géosynthétique ou Matériaux*	Angle de Frottement (degrés)
TV / GTX	26 à 31
Granulats / GTX	25 à 28
GTX / GMB	7 à 18**
TV / GMB	10 à 16**

* Signification des abréviations : voir 1^{ère} page de la partie B
 ** Suivant nature de la géomembrane

Ces valeurs sont relatives à des produits géosynthétiques (GTX, GMB) à surfaces **planes, homogènes et lisses**.

A.2. ANCRAGE DU DEG EN TÊTE DE TALUS

Celui-ci s'effectue en règle générale dans une tranchée légèrement en recul derrière la crête du talus. Les relations qui entrent en jeu par mètre de talus sont :

- sur les surfaces planes : $T = \sigma (f_1 + f_2) \ell$ (15)

- aux changements de direction de part et d'autre : $T^* = T \exp \alpha f$ (16)

avec :

- f_1 et f_2 : coefficients de frottement sur les deux faces du géotextile ($\tan \varphi$)
- f : coefficient de frottement en bord de talus et sur les « arêtes » de la tranchée
- ℓ : longueur d'application sur laquelle s'exercent les frottements
- α : arc d'enroulement

L'effort résistant (ancrage) et l'effort moteur calculés (talus du bassin) doivent être dans un rapport minimal de 6 (coefficient de sécurité Γ). Cette valeur tient compte des aléas de mise en œuvre et du comportement des éléments du DEGH).

NB : Les calculs sont menés dans le sens des points extrêmes vers celui en bord de talus (5 à 1 dans le cas de la figure du § 1.1.).

Remarques importantes :

Les forces de contact exercées par le DEG sur le sol ne doivent pas modifier la géométrie du bord de talus, excluant ainsi ce type d'accrochage dans des sols compressibles ou déformables. Si tel était le cas, il y aurait lieu d'adopter la méthode de la surcharge sur DEG replié horizontalement en haut de talus sur une longueur calculée en fonction des frottements induits par la surcharge sur le DEG ou de reconstituer le haut de talus dans sa zone d'accrochage par un matériau de substitution adéquat.

A.3. COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ SUR LES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DU GÉOCOMPOSITE

Les textes et normes officiels ne prennent pas en compte forcément ce type d'ouvrage qui, généralement, reste de taille modeste et ne met en jeu ni la sécurité publique, ni des enjeux financiers très importants en comparaison de ceux des autres infrastructures routières ou autoroutières en cas de défaillance ; à noter également que la durée de garantie (10 ans) et la durée de vie sont largement inférieures à celles (70 à 100 ans) prises en compte dans d'autres types d'ouvrages de génie civil (ouvrages en terre renforcés, par exemple).

A.3.1. TENSION DANS LES GÉOTEXTILES OU GÉOCOMPOSITE

Considérant ce préalable, nous indiquerons pour les coefficients de sécurité une fourchette utilisable pour les calculs de dimensionnement.

Le coefficient de sécurité global sur la traction d'un géotextile (F_{GT}) à base de polymères est le produit de quatre coefficients de sécurité partiels que l'on peut prendre en compte en tout ou partie.

$$F_{GT} = F_{\text{matériau}} \times F_{\text{fluage}} \times F_{\text{compactage / agressivité}} \times F_{\text{environnement}}$$

polyester $F_{GT} = 1,2 \times 1,5 \text{ à } 2,27 \times 1,1$ (peu agressif) ou $1,5$ (agressif) $\times 1,1$

polypropylène ou polyéthylène $F_{GT} = 1,2 \times 3 \text{ à } 4,55 \times 1,1$ (peu agressif) ou $1,5$ (agressif) $\times 1,1$

L'environnement correspond à un contexte normal (pH de 4 à 9).

Ce qui donne les valeurs de pondération suivantes à appliquer à celle de la traction calculée :

$F_{GT\ max}$ (prise en compte de tous les coefficients avec $F_{fluage\ max}$ pour un ouvrage d'une durée de vie de 70 ans).

Polymère	Polyester		Polypropylène	
Mise en œuvre	peu agressive	agressive	peu agressive	agressive
F_{GT}	3,3	4,5	6,6	9

$F_{GT\ min}$ (prise en compte de F_{mat} , $F_{fluage\ min}$, agressivité minimale)

Polymère	Polyester		Polypropylène	
Mise en œuvre	peu agressive	agressive	peu agressive	agressive
F_{GT}	2	2,7	3,9	5,4

Dans l'exemple traité, la valeur de traction **requis** du GTX sup sera encadrée par les valeurs extrêmes $T1^*_{\ min}$ et $T1^*_{\ max}$.

Polymère	$T1^*_{\ min}$		$T1^*_{\ max}$	
Mise en œuvre	peu agressive	agressive	peu agressive	agressive
Polyester	25 kN/m	34 kN/m	57 kN/m	77 kN/m
Polypropylène Polyéthylène	49 kN/m	68 kN/m	113 kN/m	155 kN/m

NOTA : la valeur de T1 calcul est de 12,6 kN/m (arrondissement de 12,57) pour $T1^*_{\ min}$ et de 17,2 kN/m pour $T1^*_{\ max}$ (application de F_γ et F_ϕ pour la détermination des efforts Cf. A.1.3).

L'agressivité de la mise en œuvre se juge par l'angularité du matériau (concassés), du roulage de la couche par des engins (ce qui est rare en talus), du manque de données sur le sujet au moment du dimensionnement

Les valeurs à prendre dans un projet se situent à l'intérieur d'une fourchette prise dans les tableaux et choisie selon la sensibilité de l'ouvrage en projet.

A.3.2. RÉSISTANCES MÉCANIQUES AU GLISSEMENT ET À L'ACCROCHAGE

Les coefficients de sécurité F proposés figurent dans le tableau ci-dessous.

Stabilité Mécanique	
Glissement TV / GTX sup	Accrochage du DEG
1,10	6

A.4. ANALYSE DE L'HYDRAULIQUE DU COMPLEXE TERRE VÉGÉTALE / GTX SUPÉRIEUR / GMB

Cet aspect du problème ne se pose que dans le cas d'une couverture en terre végétale. Il n'a pas d'objet lorsque la couverture choisie est en granulats d/D (autodrainant).

Les relations à utiliser pour vérifier que la DEG ne génère pas de pressions interstitielles dans la couche de terre végétale et que la conduction hydraulique est suffisante dans l'épaisseur du GTX sup se réfèrent à la norme NFG 38061 de février 1993.

Les paramètres qui déterminent les fonctions hydrauliques de drainage du GTX situé au dessus de la géomembrane sont la permittivité et la transmissivité.

A.4.1. LA PERMITTIVITÉ P : $\frac{K_n}{e} \geq A K_s$ (19)

avec $A = 10^4 \text{ m}^{-1}$

d'où $P \geq 2.10^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Cf. A.4.3.)

A.4.2. LA TRANSMISSIVITÉ Q ;

$$\theta = k_v c$$

Les calculs sont effectués pour une surface de 1 m^2 de géotextile à l'aide de la relation de Darcy $v = ki$

- débit entrant (flux supposé perpendiculaire au plan du géotextile) :

$$Q = k_n \quad (i = 1) \quad (17)$$

- débit à évacuer dans l'épaisseur du géotextile sur 1 m de large :

$$Q = k_v \cdot i \cdot e = \theta \cdot i \quad [i = \frac{H}{L} = \sin \beta] \quad \text{d'où } Q = 2.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Les débits entrant et sortant doivent être identiques :

$$\theta = \frac{K_n}{i} = \frac{Q}{i} \quad (18) \quad \text{d'où } \theta = 4,5.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- débit : $Q = 2.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ou $7,2 \text{ l/h/m}^2$ soit, sur la longueur L de talus, un débit total par mètre de largeur du géotextile de 58 l/h/m (ce débit conditionne la vitesse d'abaissement du plan d'eau dans le bassin afin d'éviter la naissance de pressions interstitielles dans la couche de TV au moment de la vidange).

θ : transmissivité (m^2/s),

P : permittivité (s^{-1}),

k_n : coefficient de perméabilité perpendiculaire au plan du géotextile,

k_v : coefficient de perméabilité dans le plan du géotextile,

k_s : coefficient de perméabilité du sol (pris à 2.10^{-6} m/s – Cf. § 2.2.),

i : gradient hydraulique,

e : épaisseur du géotextile,

Q : débit par mètre carré de surface,

v : vitesse d'écoulement,

L : longueur du géotextile sur talus,

H : hauteur du talus,

h : heure,

TV : terre végétale.

A.4.3. COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ :

Ce rôle est joué par la partie du DEG qui se situe au-dessus de la géomembrane (GTX sup). Il est caractérisé par la permittivité et la transmissivité.

La norme NGF 38061 fournit les éléments suivants :

- dans le cas de la permittivité : $A = 10^4 \text{ m}^{-1}$
- dans le cas de la transmissivité : - pour un géotextile filtre drain homogène $f = 30$
- pour un géotextile filtre drain composite $f = 3$

Dans l'exemple traité :

- permittivité à spécifier en vertu de la formule (19) $P \geq 2.10^{-2} \text{ s}^{-1}$
- transmissivité à spécifier :
 - $\theta \text{ calcul} = 4,5.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (selon la formule 18)
 - $\theta \text{ spéc} \geq 1,4.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ pour un géotextile composite drainant
 - $\theta \text{ spéc} \geq 1,4.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ pour un géotextile homogène drainant

Page laissée blanche intentionnellement

Partie **C** Pièces Types de marché

1.	Etablissement du document de consultation des entreprises (D.C.E)	48
2.	Cahier des clauses administratives particulières (C.C.A.P.) Ouvrages neufs	51
3.	Cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.) Ouvrages neufs	54
4.	Bordereau des prix unitaires - Ouvrage neufs	57
5.	Cahier des clauses administratives particulières (C.C.A.P.) Réhabilitation (cas d'une remise en état globale)	61
6.	Cahier des clauses techniques particulières - C.C.T.P. - Réhabilitation (Cas d'une remise en état globale)	61
7.	Bordereau des prix unitaires - Réhabilitation	63

1. ÉTABLISSEMENT DU DOCUMENT DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

La solution de base du projet comporte une **géomembrane** telle que décrite dans le Guide Technique SETRA/L.C.P.C. pour L'ÉTANCHEITE PAR GEOMEMBRANE DES OUVRAGES POUR EAUX DE RUISSELEMENT ROUTIER - 2000 - notamment au chapitre 4.4 et en annexe 3.

1.1. CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE À ÉTANCHER FONCTIONNALITÉ DE L'ÉTANCHÉITÉ - CONSISTANCE DES TRAVAUX

Consistance des travaux : Cf. C.C.A.P., C.C.T.P., Bordereau des prix.

Les éléments ci-après sont à inclure au D.C.E pour permettre à l'entreprise consultée d'optimiser son offre technique en vue des garanties demandées décrites au § 4.5. du Guide.

Au niveau du D.C.E, le maître d'ouvrage peut prévoir une clause précisant qu'une partie des renseignements nécessaires ci-après mentionnés au § 1.1.4. peut faire partie d'une recherche effectuée par l'entreprise.

1.1.1. *Caractéristiques moyennes des eaux à recevoir*

Pour savoir si le D.E.G va recevoir des produits tels que des tensioactifs, des solvants, des détergents, des huiles, indiquer la présence éventuelle de :

- station service à proximité
- atelier de mécanique à proximité (centre d'exploitation)
- lavage de sols et voiries (centre d'exploitation)
- autres...

1.1.2. *Exigence en matière de déversement accidentel*

Nature chimique du produit à confiner - Temps de contact (durée de rétention dans le bassin avant pompage).

Dans le cas de bassins routiers, on n'a pas les éléments pour préciser tous les paramètres relatifs aux déversements (nature, concentration, miscibilité à l'eau, densité, températures ...) comme c'est le cas dans un bassin industriel (sauf pour des ouvrages spécifiques à fonction principale de déshuileur) ; comme on ne peut se prémunir **contre tous les produits chimiques pouvant transiter sur une route donnée**, on peut prendre un cas **assez représentatif par exemple hydrocarbures (essence super sans plomb) pendant 3 jours; ceci est le cas-type proposé dans le Guide mais on peut rendre cette clause plus sévère en fonction du type d'ouvrage** et de son environnement en modifiant la nature du produit ou la durée de confinement (Cf. § 1.7).

1.1.3. *Paramètres liés au type d'ouvrage et son mode d'exploitation, et au type de système d'étanchéité*

- Indiquer le mode d'exploitation :
 - vidange des décantats par pompage
 - curage mécanique des décantats
 - possibilité ou non d'amenée et de passage de matériel (nettoyeur haute pression lourd) en fond d'ouvrage sur le D.E.G pour l'entretien de l'ouvrage et/ou de la géomembrane
 - utilisation de désherbants
- Type d'ouvrage : a-t-il une fonctionnalité principale de déshuilage ?
- Type de système d'étanchéité : total par géomembrane, mixte, chenal central, (se reporter au Guide Technique chapitre 3 et 4).

1.1.4. **Données liées à l'ouvrage : géotechniques, géométriques, climatiques**

- Géométrie : forme, dimension (surface du fond et talus, linéaire de crêtes), pentes, linéaire de raccordements de géomembranes aux ouvrages béton - raccordements linéaires ou courbes (sur tuyaux).
- Caractéristiques géotechniques du support : nature, granulométrie, venue d'eaux externes, ...
- Position de la nappe phréatique (fluctuations).
- Données climatiques pour les membranes non protégées : emplacement géographique, altitude, ensoleillement, écarts de température (présence de glaces), vents forts habituels, présence de pollution atmosphérique industrielle de proximité, ...
- La géomembrane est-elle protégée, si oui type de protection envisagée en fond et sur talus :
 - Nature et épaisseur : Béton bitumineux, béton hydraulique, couche granulaire, terre végétale, autre...
 - Végétalisation (en fond)

1.1.5. **Données liées à la réalisation**

- Données économiques
- Délais
- Accessibilité de l'ouvrage
- Conditions générales de réalisation (saison, présence d'autre corps de métier)

1.1.6. **Fonctionnalité de l'étanchéité - Garanties**

Garantie de 10 ans suivant les conditions mentionnées au chapitre 4.5. du Guide Technique

1.1.7. **Performances autres que les performances de base décrites dans le chapitre « Garanties » (§ 4.5.) du Guide Technique et les spécifications du chapitre 5 et de l'Annexe 3.**

Par exemple capacité de rétention d'hydrocarbures supérieure ou inférieure à ce qui est préconisé dans ce Guide (par exemple gas-oil au lieu d'essence super sans plomb – durée 10 jours ou 1 mois au lieu de 3 jours).

1.1.8. **Spécifications des produits**

Cf. chapitre 5 du Guide Technique et Annexe 3.

Indiquer, si en plus de la solution de base, des offres portant sur **des solutions variantes sont admises** : par exemple géomembrane d'épaisseur et/ou de nature différente, géosynthétiques bentonitiques, structures de protection autres que celles spécifiées en 1.1.4.

1.1.9. **Spécifications de mise en œuvre**

La mise en œuvre s'effectuera suivant les stipulations du cahier des charges de pose de l'entreprise et celles du chapitre 6 du Guide Technique.

1.1.10. **Spécifications de contrôle**

La nature, la fréquence et la répartition entre intervenant des contrôles internes et externes sont mentionnés dans le chapitre 7 du Guide Technique et son annexe 4 et repris dans le SOPAQ remis par l'entreprise.

1.1.11. Modalités de réception de l'ouvrage sur le plan de l'étanchéité

Le D.C.E doit préciser explicitement si des épreuves d'étanchéité à la charge de l'entreprise sont prévues et leur nature :

- méthode par remplissage : mesure de baisse de niveau d'eau, mesures de débits de drains avec traceurs chimiques
- méthode électrique (avec ou sans installation préalable d'électrode)

1.2. ÉLÉMENTS À FOURNIR PAR L'ENTREPRISE À L'APPUI DE SON OFFRE

- Identification des produits utilisés en solution de base, et ou variante si celle-ci est autorisée :
 - fabricant (nom et usine)
 - appellation, nature chimique et épaisseur
 - société de distribution
- Définition du DEG pour chaque partie d'ouvrage.
- Fiches techniques des produits comportant au minimum les caractéristiques établies selon les normes AFNOR spécifiées au chapitre 5 du Document de Base et ses Annexes 3 et 4.
- conditions de recyclage pour membrane à remplacer (dans le cadre de l'application de la notion de cycle de vie).
- Notice descriptive de mise en œuvre (Cahier des Charges de pose).
- Références d'emploi.
- Certificats de qualité ASQUAL pour les géomembranes et pour les géotextiles.
- Qualification des chefs de chantiers et des soudeurs : certificats ASQUAL pour le type de géomembrane concerné.
- Note technique montrant qu'il y a bien adéquation entre le dispositif proposé et les caractéristiques de l'ouvrage et les performances attendues du DEG (§ 1 ci-avant) et ce, pendant une durée de 10 ans selon les clauses décrites au § 4.5. (« **Garanties** ») du Guide, que ce soit en solution de base ou en variante. En particulier, cette note mentionnera explicitement les compléments d'informations éventuellement nécessaires à l'entreprise pour établir cette adéquation. Cette note devra contenir une justification technique du dimensionnement des géosynthétiques situés en talus entre la géomembrane et une couche granulaire de protection (ou terre végétale) et du géoconteneur qui lui est éventuellement associé. Cette note devra également préciser la justification des dimensionnements des éventuels dispositifs de drainage des eaux et gaz sous la géomembrane.
- Engagement de souscrire une assurance spécifique dommage pour l'ouvrage en relation avec les garanties précitées
- **Gestion de la qualité :**
 - Dans un SOPAQ (Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité) l'entreprise présentera son organisation et les moyens matériels et humains mis en œuvre en vue de la gestion et de l'assurance de la qualité requise par le maître d'œuvre.
 - Cette qualité requise est celle correspondant au moins à celle exprimée dans le REFERENTIEL TECHNIQUE DU MAITRE D'ŒUVRE : D.C.E, Guide Technique * (Chapitre 5 - spécifications et Chapitres 6 et 7 - Mise en œuvre et contrôle et les annexes correspondantes).
 - Ce SOPAQ contiendra donc les éléments principaux du PLAN D'ASSURANCE QUALITE, ce dernier document étant définitivement établi dans son détail et présenté au maître d'œuvre pendant la phase de préparation du chantier après l'adjudication des travaux.

* Note : il n'existe pas actuellement de document-type spécifique à l'étanchéité de ce type d'ouvrage.

1.3. PIÈCES CONTRACTUELLES

PRIORITÉS

1. Acte d'engagement
2. C.C.A.P.
3. C.C.T.P.
4. Sous réserves mentionnées au C.C.A.G.
 - Plans
 - Notes de calculs
 -
 -
5. Bordereau de prix
6. Détail estimatif
7. SOPAQ-type*
8. Si mentionné au C.C.A.P.
 - Décomposition prix forfaitaire
 - Sous détail des P.U.
9. C.C.T.G.*
10. C.C.A.G.

2. CAHIER DES CLAUSES ADMINISTRATIVES PARTICULIÈRES - TYPE (C.C.A.P.) OUVRAGES NEUFS

Ce document est une aide à l'établissement du C.C.A.P.

Toutes ces rubriques sont celles des C.C.A.P. types applicables à tout marché public ; celles qui sont spécifiques aux travaux d'ETANCHEITE DE BASSINS D'EAUX DE RUISSELLEMENT ROUTIER sont signalées par une flèche.

ARTICLE 1 - OBJET DU MARCHÉ - DISPOSITIONS GÉNÉRALES

- 1.1. - Objet du marché - Domicile de l'Entrepreneur
- 1.2. - Décomposition en lots
- 1.3. - Travaux intéressants la défense
- 1.4. - Contrôle des prix de revient
- 1.5. - Maîtrise d'œuvre
- 1.6. - Nature des obligations à la charge de l'Entrepreneur y compris celles afférentes au contrôle intérieur : **le contrôle intérieur comprendra au moins les éléments décrits dans le chapitre 7 du Guide Technique*et ses ANNEXES 3 et 4.**

** Guide Technique
Setra / L.C.P.C. pour
l'étanchéité par
géomembrane des
ouvrages des eaux de
ruissellement routier
- 2000 -*

ARTICLE 2 - PIÈCES CONSTITUTIVES DU MARCHÉ

ARTICLE 3 - PRIX ET MODE D'ÉVALUATION DES OUVRAGES VARIATIONS DANS LES PRIX - RÈGLEMENTS DES COMPTES

- 3.1. - Répartition des paiements
- 3.2. - Tranche conditionnelle
- 3.3. - Contenu des prix - Mode d'évaluation des ouvrages et de règlement des comptes
Travaux en régie
- 3.4. - Variation dans les prix
- 3.5. - Paiement des co-traitants et sous-traitants
- 3.6. - Changement dans l'importance des travaux

ARTICLE 4 - DÉLAI(S) D'EXÉCUTION - PÉNALITÉS ET PRIMES

- 4.1. - Délai(s) d'exécution des travaux
- 4.2. - Prolongement du délai d'exécution
- 4.3. - Pénalités de retard
- 4.4. - Repliement des installations de chantier
- 4.5. - Délais et retenues pour remise des documents fournis après exécution
- 4.6. - Pénalités

ARTICLE 5 - CLAUSES DE FINANCEMENT ET DE SURETÉ

- 5.1. - Cautionnement
- 5.2. - Avance forfaitaire
- 5.3. - Avance sur travaux (matériels et matériaux)

ARTICLE 6 - PROVENANCE, QUALITÉ, CONTRÔLE ET PRISE EN CHARGE DES MATÉRIAUX ET PRODUITS

- 6.1 - Provenance des matériaux et produits
- 6.2. - Mise à disposition de carrières ou lieux d'emprunt
- 6.3. - Caractéristiques, qualité, vérifications, essais et épreuves des matériaux et produits en solution de base et ou variante si celle-ci est admise. **Tous les produits utilisés doivent être conformes au chapitre 5 du Guide Technique et ses Annexes 3 et 4** ; ils doivent faire l'objet d'une certification ASQUAL lorsqu'elle existe dans la catégorie de produits considérée ou d'une procédure équivalente. Le contrôle de réception s'effectue selon les modalités du Chapitre 7 et Annexes 3 et 4 correspondantes du Guide. A noter que dans le cas de matériaux non certifiés ASQUAL, le contrôle de réception partiellement à la charge de l'entreprise est renforcé.
- 6.4. - Prise en charge, manutention et conservation par l'Entrepreneur des matériaux et produits.

ARTICLE 7 - IMPLANTATION DES OUVRAGES

- 7.1. - Piquetage général
- 7.2. - Piquetage spécial des ouvrages souterrains ou enterrés

ARTICLE 8 - PRÉPARATION, COORDINATION ET EXÉCUTION DES TRAVAUX

8.1. - Période de préparation - Programme d'exécution des travaux

8.2. - **Plan d'exécution - Notes de calcul - Etudes de détail**

- **Une étude géotechnique et hydrogéologique** permettra de justifier en s'appuyant en particulier sur le Guide Technique, les différents éléments pris en compte pour assurer la stabilité et la portance des différents supports, elle devra en particulier mettre en évidence **la nécessité éventuelle d'un drainage adéquat des eaux et des gaz sous la géomembrane** et préciser les données nécessaires à leur dimensionnement**.
- **Une note de calcul justifiera les modalités d'ancrage de la géomembrane en tête de talus et donnera les éléments justificatifs du dimensionnement du géotextile (ou géosynthétique de drainage) utilisé entre la géomembrane et la structure de protection sur la base des stipulations du Guide Technique, notamment chapitre 4 et Document Complémentaire partie B. Tous les travaux seront effectués en tenant compte de la Notice Technique (ou Cahier des Charge de pose) du fabricant et des stipulations du Guide Technique.**

8.3. - Mesures d'ordre sociale

8.4. - Organisation, sécurité et hygiène des chantiers

8.5. - Réunion de chantier - Journal de chantier
Le journal de chantier est obligatoire.

8.6. - **Qualification des personnels : les chefs de chantier ainsi que les personnels réalisant les assemblages de géomembranes (soudeurs) devront être CERTIFIÉS ASQUAL ou une certification reconnue équivalente pour la catégorie de travail considérée***. Dans le cas contraire, l'entreprise devra être certifiée ISO 9002, des références dans des travaux équivalents devront être fournis et les épreuves de convenance en début de chantier seront renforcées.

8.7. - L'entreprise présentera un Plan d'Assurance Qualité spécifique au chantier qui complètera les éléments généraux du SOPAQ, présenté lors de la remise des offres et basé sur les éléments du Guide et notamment les Chapitres 5, 6, 7. La certification ISO 9002 de l'entreprise sera prise en compte dans l'évaluation de l'offre.

* Une telle qualification sera également demandée aux conducteurs de travaux et entreprise lorsque celle-ci existera pour chacune de ces catégories.

** **Remarque** : en fonction du contexte cette prestation séparée (hors marché) et peut être confiée à un Bureau d'étude.

ARTICLE 9 - CONTROLES ET RÉCEPTION DES TRAVAUX

9.1. - **Essais et contrôles des ouvrages en cours et fin de travaux**

Les contrôles **intérieurs demandés à l'entreprise et les points d'arrêts sont ceux mentionnés dans le Guide Technique et notamment le chapitre 7 et l'annexe 4. Les essais effectués dans le cadre du CONTROLE EXTERIEUR et certains essais du contrôle INTERIEUR / externe sont effectués par un laboratoire accrédité COFRAC (ou équivalent) pour les essais relevant de cette accréditation et ISO 9002 ou 9001 pour les autres essais.**

Les résultats du Contrôle Intérieur doivent pouvoir être présentés au maître d'œuvre à tout moment du chantier.

9.2. - Réception ; elle se fera comme précisé au CCTP :

- D'une part à la vue des résultats de contrôle mentionnés en 9.1.
- Eventuellement par des essais de remplissage (Cf. Guide Technique)
- Eventuellement par des méthodes électriques (Cf. Guide Technique)

9.3. - Mise à disposition de certains ouvrages

9.4. - Documents fournis après exécution

Un plan de récolement de pose et des soudures avec éventuellement une copie du cahier journal et les résultats du contrôle intérieur / externe.

9.5. - Délais de garantie contractuelle : Cf. chapitre 4.5. du Guide

- 9.6. - Garanties particulières d'étanchéité : Cf. chapitre 4.5. du Guide
- 9.7. - *Assurances Dommages Ouvrage concernant les garanties des § 9.5. et 9.6. : une police par ouvrage est obligatoire - une attestation devra être fournie (Cf. chapitre 4.5. du Guide).*
- 9.8. - Compétence juridique

ARTICLE 10 - DÉROGATIONS AUX DOCUMENTS GÉNÉRAUX

3. CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES TYPE (C.C.T.P.) (OUVRAGES NEUFS)

Ce document est une aide à l'établissement du C.C.T.P.

CHAPITRE I - INDICATIONS GÉNÉRALES ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Article 1.1. - Objet du marché et indications générales

Article 1.2. - Consistance des travaux

1.2.1. Lieu d'exécution des travaux

1.2.2. Travaux compris dans l'entreprise : terrassement, structure support, drainage (éventuel), dispositif d'étanchéité par géomembrane, structure de protection, ancrages, raccordements, essai d'étanchéité (éventuel), assurance et contrôle de la qualité, ...

1.2.3. Travaux non compris dans l'entreprise

- Signalisation
- Travaux de plantation
- Clôtures, etc...

Article 1.3. - Description des travaux (Cf. 1.2.2. et se conformer aux éléments du D.C.E. complétés si nécessaire par les éléments des chapitres 3 et 4 du Guide Technique*)

Article 1.4. - Durée des travaux

Article 1.5. - Conditions du contrôle des travaux (voir C.C.A.P. article 9)

Article 1.6. - Nature et durée de la garantie (voir C.C.A.P. article 9)

Article 1.7. - Les produits, matériaux utilisés, leur mode de mise en œuvre et de contrôle doivent être conformes aux normes AFNOR en vigueur, aux stipulations du Guide Technique (*), complétées éventuellement si nécessaire par les Recommandations des Fascicules du Comité Français des Géosynthétiques (CFG). L'entreprise signalera au maître d'œuvre pour éventuelle suite à donner si certaines stipulations ci-dessus sont en désaccord avec son référentiel technique (Cahier des Charges de pose, fiches techniques).

CHAPITRE II - SPÉCIFICATIONS DES MATÉRIAUX, PRODUITS ET COMPOSANTS

Article 2.1. - Généralités : l'ensemble des matériaux et produits utilisés est soumis à l'agrément du maître d'œuvre.

Article 2.2. - Matériaux divers non dénommés : matériau de la meilleure qualité, sans aucun défaut nuisible à la bonne exécution et à la bonne sécurité des ouvrages

Article 2.3. - Matériaux pour couche de réglage

Référence au GTR 92, et chapitre 4.4.1. du Guide Technique

Article 2.4. - Dispositif de drainage d'eau et des gaz

Voir article 4.4.1. du Guide Technique

Le dimensionnement fera l'objet d'une note de calcul comme exigé dans le C.C.A.P. article 8.

* Guide Technique
Setra / L.C.P.C. pour
l'étanchéité par
géomembrane des
ouvrages des eaux de
ruissellement routier
- 2000 -

Article 2.5. - Géotextile antipoinçonnement

Produit certifié ASQUAL (à défaut C.C.A.P. § 6.3.) et dont les caractéristiques spécifiées sont celles mentionnées au chapitre 5. du Guide Technique et les annexes correspondantes.

Article 2.6. - Géomembrane

C'est un produit certifié ASQUAL (à défaut Cf. C.C.A.P. § 6.3.) et dont les caractéristiques répondent à celles du chapitre 5 du Guide Technique et ses annexes 3 et 4.

Article 2.7. - Structure de protection de la géomembrane

Spécification du Guide Technique et notamment articles 4.4.3. et 5.2.

Les géotextiles (ou géocomposites de drainage) ont une certification ASQUAL (sinon Cf. C.C.A.P. § 6.3) lorsque celle-ci existe pour la catégorie de produit et de caractéristiques considérées. Leur dimensionnement fera l'objet d'une note de calcul comme exigé dans le C.C.A.P. article 8.

Article 2.8. - Ouvrages annexes

Les collecteurs, les ouvrages d'arrivée d'eau, les exutoires et les regards de visite coulés en place ou préfabriqués doivent respecter les prescriptions des Fascicules 63, 64, 65, 65A et 70 du C.C.T.G. ; l'étanchéité des joints entre éléments devra être particulièrement soignée.

Article 2.9. - Dispositions particulières inhérentes aux procédés envisagés (décrite en § 4.3. du Guide Technique).

- Exemple :
- a) Echelles à rongeurs
 - b) Escaliers de visite
 - c) Eléments constitutifs de la fixation de la géomembrane sur le béton ; ceux-ci devront être conformes aux différentes recommandations du Guide Technique et soumis à l'agrément du maître d'œuvre.

CHAPITRE III - MODE D'EXECUTION DES TRAVAUX

Article 3.1. - Préparation de la structure support

Selon les spécifications du Guide Technique et notamment le chapitre 6.1.

Article 3.2. - Assainissement en cours de travaux

Selon les spécifications du Guide Technique et notamment le chapitre 6.1.

Article 3.3. - Mise en œuvre du DEG.

Selon les spécifications du Guide Technique et notamment le chapitre 6 et l'annexe 3.3. Les personnels sont certifiés ASQUAL (ou équivalent Cf. § 8.6. - C.C.A.P.).

3.3.1. Ecran antipoinçonnement (Cf. Guide Technique notamment § 6.1.4. et ses annexes)

3.3.2. Géomembrane (Cf. Guide Technique et notamment § 6.2. et ses annexes)

3.3.3. Structure de protection éventuelle de la géomembrane

Selon les spécifications Guide Technique et notamment § 6.3. et ses annexes.

Article 3.4. - Traitement des points particuliers (raccordement de la membrane d'étanchéité aux ouvrages annexes, ...)

Selon les spécifications du chapitre 6.2.3. du Guide Technique et document complémentaire A-4.

CHAPITRE IV - CONTRÔLES ET QUALITÉ

Les contrôles et la gestion de la qualité sont réalisés selon les spécifications des chapitres 6 et 7 du Guide Technique et l'annexe 4 et les dispositions complémentaires éventuelles prévues au PAQ de l'entreprise.

Article 4.1. - Organisation et contenu du contrôle intérieur et extérieur (voir chapitre 7 du Guide Technique et Annexe 4). Qualification des laboratoires : Cf. § 9.1. du C.C.A.P.

Contrôle inhérent au point d'arrêt (voir chapitre 7 et Annexe 4 du Guide Technique).

Pour tout point d'arrêt le maître d'œuvre sera averti 48 heures à l'avance et les travaux ne peuvent être poursuivis sans son accord.

La traçabilité de l'ensemble des contrôles intérieurs doit être assurée. Les relevés des contrôles sont effectués chaque jour et disponibles pour consultation par le maître d'œuvre.

Article 4.2. - Le C.C.T.P. précisera si un contrôle global d'étanchéité doit être effectué.

Si oui les modalités pourront être celles décrites notamment au chapitre 4.5. du Guide Technique et documents complémentaires Parties A.3.

Article 4.3. Récolement : le dossier de récolement comprendra les éléments suivants :

- si demandé, un mémoire technique d'exécution des travaux (journal de chantier, conditions météo, matériels)
- les fiches techniques, nature et provenance des matériaux utilisés si différents de ceux mentionnés dans le PAQ
- si demandé, le planning réel d'exécution des différentes phases
- les essais et contrôles et leurs résultats réalisés dans le cadre du contrôle intérieur/externe avec repérage sur plans des joints contrôlés et des prélèvements et réparations effectués
- un dossier de plans : plans topographiques (si demandés) et plan de calepinage des géomembranes, des joints.

4. BORDEREAUX DES PRIX UNITAIRES

Ouvrages neufs

N° DES PRIX	DEFINITION DES PRIX ET PRIX HORS TAXE EN TOUTES LETTRES	UNITE	PRIX HORS TAXE EN CHIFFRE
■ 1	<p>• INSTALLATION DE CHANTIER</p> <p>Ce prix rémunère forfaitairement les frais d'installation et de fonctionnement des locaux de chantier, l'aménée et le repli du matériel, la remise en état des lieux.</p> <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	
■ 1 bis	<p>• ÉTUDES ET NOTES DE CALCUL</p> <p>Ce prix rémunère forfaitairement les études et notes de calculs décrites à l'article 8 du C.C.A.P. et relatives en particulier aux différents dispositifs d'ancrage, de drainage et de géocomposites en talus.</p> <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	
■ 2	<p>• FOURNITURE ET POSE DU SYSTÈME DE DRAINAGE EAUX ET / OU GAZ SOUS GÉOMEMBRANE</p> <p>Ce prix rémunère au mètre linéaire la fourniture et la pose d'un système de drainage tel que défini au CCTP. Il comprend : les terrassements, la mise en place du drain, l'évacuation des déblais, le remblai de la tranchée en gravillons dans le cas d'un système de drainage par matériaux granulaires, ou la pose de lés de géocomposite dans le cas d'un drainage par nappe drainante, la mise en place d'évents.</p> <p>Prix 2.1. : drainage par matériaux granulaires en tranchée (y compris filtre géotextile) ; le mètre linéaire hors taxe :</p> <p>Prix 2.2. : drainage par couche de matériaux granulaires</p> <p>Prix 2.3. : géocomposite de drainage en nappe ; le mètre carré hors taxe :</p>	m m ² m ²	
■ 3	<p>• FOURNITURE ET POSE D'UN GÉOTEXTILE ANTIPOINÇONNANT SOUS LA GÉOMEMBRANE</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré la fourniture et la pose d'un géotextile anti poinçonnement tel que défini au C.C.T.P., sur les flancs et le fond du bassin et dans les tranchées d'ancrages. Les recouvrements et les pertes ne sont pas rémunérées. Il comprend toutes sujétions de liaisonnement.</p> <p>Le mètre carré hors taxe :</p>	m ²	

N° DES PRIX	DEFINITION DES PRIX ET PRIX HORS TAXE EN TOUTES LETTRES	UNITE	PRIX HORS TAXE EN CHIFFRE
■ 4	<p>• FOURNITURE ET MISE EN ŒUVRE DE LA GÉOMEMBRANE</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré la fourniture et la mise en œuvre d'une géomembrane sur support hors d'eau sur l'ensemble de la surface du bassin, tel que définit au CCTP. Il comprend également :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les ancrages en tête de talus - l'exécution du plan de calepinage - l'exécution et le contrôle des soudures (contrôle intérieur) - la garantie de 10 ans <p>Les recouvrements et les pertes ne sont pas rémunérés.</p> <p>Le mètre carré hors taxe :</p>	m ²	
■ 5	<p>• FOURNITURE ET MISE EN ŒUVRE D'UNE STRUCTURE DE PROTECTION</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré la fourniture et la pose sur la géomembrane d'une structure de protection tel que définit au CCTP. En fond, elle comprend le géotextile et la couche de protection elle-même.</p> <p>Sur les pentes, elle comprend un géotextile et/ou un géocomposite de drainage, la couche (ou structure) de protection, avec ou sans géoconteneurs au sein de celle-ci, selon le CCTP.</p> <p>Prix 5.1. : fond de bassin : le mètre carré hors taxe</p> <p>Prix 5.2. : pente : le mètre carré hors taxe</p>	m ² m ²	
■ 6	<p>• RACCORDEMENT DE LA GÉOMEMBRANE SUR LES OUVRAGES BETON</p> <p>Ce prix rémunère au ml le raccordement de la géomembrane sur les ouvrages béton tel que définit au CCTP.</p> <p>Le mètre linéaire :</p>	m	
■ 7	<p>• ASSURANCE ET CONTRÔLE DE LA QUALITÉ</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fourniture d'un PAQ - Contrôle intérieur (interne et externe) prévus au CCTP - Mise à disposition du cahier journal, et résultats de contrôle externe en cours de travaux - Fourniture d'un dossier de récolement tel que prévu au CCTP <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	

N° DES PRIX	DEFINITION DES PRIX ET PRIX HORS TAXE EN TOUTES LETTRES	UNITE	PRIX HORS TAXE EN CHIFFRE
■ 8	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuellement : <p>MESURE DE L'ÉTANCHÉITE GLOBALE DE L'OUVRAGE suivant les conditions précisées au C.C.T.P. ; méthode par remplissage ou méthode électrique (matériel ambulant sans pré-installation d'électrode) sur l'ensemble des surfaces.</p> <p>Le forfait hors taxe :</p>	F	
■ 9	<ul style="list-style-type: none"> • Eventuellement : <p>ÉQUIPEMENT DE DISPOSITIF ÉLECTRIQUE DE CONTRÔLE PERMANENT, pré-installation d'électrode avec ou sans alarme.</p> <p>Le forfait hors taxe :</p>	F	

5. CAHIER DES CLAUSES ADMINISTRATIVES PARTICULIÈRES RÉHABILITATION (C.C.A.P.)

*cas d'une remise en état globale**

- Se référer au chapitre 2. - « C.C.A.P. relative aux ouvrages NEUFS »-
- Article 8.2. : Idem Chapitre 2. (C.C.A.P. - Ouvrages neufs) mais en fonction du contexte, l'étude géotechnique peut faire l'objet d'un marché d'étude préalable séparé.

6. CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES RÉHABILITATION (C.C.T.P.)

*cas d'une remise en état globale**

Ce document est une aide à la rédaction du C.C.T.P.

CHAPITRE I - INDICATIONS GÉNÉRALES ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

Article 1.1. - Objet du marché et indications générales

Article 1.2. - Consistance générale

1.2.1. Lieu d'exécution des travaux

1.2.2. Travaux compris dans l'entreprise : études préalables, travaux, assurance et contrôle de la qualité voir article 1.3.

1.2.3. Travaux non compris dans l'entreprise

- Signalisation

- Travaux de plantation

- Etc...

1.2.4. Contraintes générales du chantier : accès, maintien en service d'une partie de l'existant, ...

Article 1.3. - Description des travaux

Se reporter aux éléments du D.C.E complétés si nécessaire par les éléments des chapitres 3. et 4. du Guide Technique

- Pompage des eaux et évacuation des boues (éventuel)

- Dépose et évacuation de l'ancienne géomembrane et de sa structure de protection

- Nivellement du fond et des flancs avec apport éventuel de matériau (0/80, 0/31,5 et 0/20)

- Réalisation des tranchées d'ancrages

- Réparation des bétons, des exutoires et arrivées d'eau

- Mise en œuvre du système granulaire de drainage des gaz et des eaux

- Mise en œuvre du géotextile ou des géocomposites de drainage sous la géomembrane et événements

- Mise en œuvre de la géomembrane

- Mise en œuvre de la protection de la géomembrane y compris géotextile

* Les réparations localisées ne pas considérées dans ce texte

et/ou géocomposite de drainage

- Mise en œuvre de structure de protection (éventuelle)
- Essais d'étanchéité (éventuel)
- Dépose et repose des clôtures
- Modification ou création de voies d'accès
- Création de rampe d'accès (si nécessaire)
- Etc...

Article 1.4. - Evacuation et mise en décharge des matériaux divers

Charge à l'entrepreneur de mettre les matériaux (eaux, boues, géomembranes, drains, etc...) en décharge agréée et d'en apporter la preuve. Un bordereau de suivi de déchet et de mise en décharge sera exigé.

Article 1.5. - Durée des travaux (Cf. C.C.A.P.)

Article 1.6. - Conditions du contrôle des travaux (Cf. C.C.A.P.)

Article 1.7. - Nature et durée de la garantie (Cf. C.C.A.P.)

Article 1.8. - Les produits, matériaux utilisés, leur mode de mise en œuvre et de contrôle doivent être conformes aux normes AFNOR en vigueur, aux stipulations du Guide Technique, complétées éventuellement si nécessaire par les Recommandations des Fascicules du Comité Français des Géosynthétiques (CFG). L'entreprise signalera au maître d'œuvre pour éventuelle suite à donner, si certaines stipulations ci-dessus sont en désaccord avec son référentiel technique (Cahier des Charges de pose, fiches techniques)

CHAPITRE II - PROVENANCE ET QUALITES DES MATERIAUX ET PRODUITS

Cf. : « C.C.T.P. - Travaux neufs »

CHAPITRE III - MODE D'EXÉCUTION DES TRAVAUX

Article 3.1. - Curage du bassin et dépose de la membrane d'étanchéité et des réseaux de drainage
- modalités à soumettre à l'agrément du maître d'œuvre.

Article 3.2. - Préparation de la structure support, assainissement en cours de travaux, mise en œuvre du DEG, traitement des points particuliers – se reporter au chapitre 3, C.C.T.P. – Type Ouvrages Neufs.

Article 3.3. - **Assainissement** - Déblais - Remblais

Article 3.4. - Exécution des bétons, mortier, coffrage et ferrailage ; réparation des bétons (respect des Fascicules 63, 64, 65, 65A et 70 du C.C.T.G. et du Guide L.C.P.C. sur la réparation des bétons)

Article 3.5. - Collecteurs

Si nécessaire

Article 3.6.- Regards

Si nécessaire

Article 3.7. - Clôtures

Si nécessaire

Article 3.8. - Engazonnement

Si nécessaire

Autres ...

CHAPITRE IV - CONTRÔLES ET QUALITÉ

Idem Chapitre IV du C.C.T.P. « Travaux neufs » avec en ajout à l'article 4.3.

- fourniture d'attestation de mise en dépôt des boues et sédiments dans un site de décharge agréé et adapté à leur nature.

7. BORDEREAU DES PRIX UNITAIRES RÉHABILITATION

Remise en état

N° DES PRIX	DEFINITION DES PRIX ET PRIX HORS TAXE EN TOUTES LETTRES	UNITE	PRIX HORS TAXE EN CHIFFRE
■ 1	<p>• INSTALLATION DE CHANTIER</p> <p>Ce prix rémunère forfaitairement les frais d'installation et de fonctionnement des locaux de chantier, l'amenée et le repli du matériel, la remise en état des lieux.</p> <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	
■ 1 bis	<p>• ÉTUDES ET NOTES DE CALCUL</p> <p>Ce prix rémunère forfaitairement les études et notes de calculs décrites à l'article 8 du C.C.A.P. et relatives en particulier aux différents dispositifs d'ancrage, de drainage et de géocomposites en talus.</p> <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	
■ 2	<p>• VIDANGE DES EAUX DU BASSIN</p> <p>Ce prix rémunère forfaitairement la vidange du bassin. Il comprend l'amenée et le repli du matériel de pompage, l'obtention des autorisations nécessaires au rejet de l'eau pompée au milieu naturel si sa qualité le permet.</p> <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	
■ 3	<p>• VIDANGE DES BOUES DU BASSIN</p> <p>Ce prix rémunère au mètre cube les frais de pompage et d'évacuation des boues dans un centre agréé et la remise d'un bordereau de suivi et d'évacuation des boues.</p> <p>Le mètre cube hors taxes :</p>	m ³	
■ 4	<p>• TERRASSEMENT EN TRANCHÉES</p> <p>Ce prix rémunère au mètre cube les terrassements des tranchées d'ancrage existantes en périphérie du bassin, nécessaire à la dépose de la géomembrane existante ou à la pose de celle à mettre en œuvre.</p> <p>Le mètre cube hors taxes :</p>	m ³	

N° DES PRIX	DEFINITION DES PRIX ET PRIX HORS TAXE EN TOUTES LETTRES	UNITE	PRIX HORS TAXE EN CHIFFRE
■ 5	<p>• DÉPOSE DE LA GÉOMEMBRANE ET ÉVACUATION</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré la dépose de l'ancienne géomembrane ainsi que tous les éléments annexes en particulier la structure de protection de l'évacuation des ces produits et matériaux dans une décharge agréée conformément au C.C.T.P.</p> <p>Le mètre carré hors taxe :</p>	m ²	
■ 6	<p>• DÉPOSE DE SYSTÈME DE DRAINAGE EAU ET / OU GAZ</p> <p>Ce prix rémunère au mètre linéaire la dépose du système de drainage eau et/ou gaz existant (dans le cas où ils existent) et son évacuation dans une décharge agréée conformément au C.C.T.P.</p> <p>Le mètre linéaire hors taxe :</p>	ml	
■ 7	<p>• TERRASSEMENT EN FOND DE BASSIN</p> <p>Ce prix rémunère au mètre cube en place le terrassement du fond de bassin. Il comprend l'enlèvement de tous végétaux, le nivellement et le compactage du fond de forme y compris assèchement des eaux parasites.</p> <p>Le mètre cube hors taxe :</p>	m ³	
■ 7bis	<p>• COUCHE GRANULAIRE SUPPORT (suivant C.C.T.P.) le mètre carré</p>	m ²	
■ 8	<p>• ASSAINISSEMENT : détournement si nécessaire des eaux de ruissellement en amont du bassin</p> <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	
■ 9	<p>• DRESSAGE ET REPROFILAGE DE TALUS</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré le dressage, reprofilage et compactage des talus.</p> <p>Le mètre carré hors taxe :</p>	m ²	
■ 10	<p>• FOURNITURE ET POSE DU SYSTÈME DE DRAINAGE DES EAUX ET/OU GAZ SOUS LA GÉOMEMBRANE</p> <p>Ce prix rémunère la fourniture et la pose d'un système de drainage des gaz tel que définit au C.C.T.P. Il comprend : les terrassements, la mise en place du drain, l'évacuation des déblais, le remblai de la tranchée en gravillons dans le cas d'un système de drainage par drain et/ou la pose de lés de géocomposite dans le cas d'un drainage par nappe drainante, la mise en place d'évents.</p> <p>Prix 10.1. : drainage par matériaux granulaires en tranchées (y compris filtre géotextile) : le mètre linéaire hors taxe.</p> <p>Prix 10.2. : géocomposite de drainage en nappe : le mètre carré hors taxe.</p>	m m ²	

N° DES PRIX	DEFINITION DES PRIX ET PRIX HORS TAXE EN TOUTES LETTRES	UNITE	PRIX HORS TAXE EN CHIFFRE
■ 11	<p>• FOURNITURE ET POSE D'UN GÉOTEXTILE ANTIPOINÇONNEMENT SOUS LA GÉOMEMBRANE</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré la fourniture et la pose d'un géotextile antipoinçonnement tel que définit au C.C.T.P., sur les flancs, le fond du bassin et les tranchées d'ancrages.</p> <p>Le mètre carré hors taxe :</p>	m ²	
■ 12	<p>• FOURNITURE ET MISE EN ŒUVRE DE LA GÉOMEMBRANE</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré la fourniture et la mise en œuvre d'une géomembrane sur l'ensemble de la surface du bassin tel que définit au C.C.T.P. Il comprend également :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les ancrages en tête de talus - l'exécution du plan de calepinage - l'exécution et le contrôle des soudures - la garantie de dix ans <p>Les recouvrements et les pertes ne sont pas rémunérés.</p> <p>Le mètre carré hors taxe :</p>	m ²	
■ 13	<p>• FOURNITURE ET MISE EN ŒUVRE D'UNE STRUCTURE DE PROTECTION</p> <p>Ce prix rémunère au mètre carré la fourniture et la pose d'une structure de protection tel que définit au C.C.T.P.</p> <p>Prix 13.1. : fond de bassin : le mètre carré hors taxe :</p> <p>en fond, elle comprend un géotextile et la couche de protection elle-même</p> <p>Prix 13.2. : pentes : le mètre carré hors taxe :</p> <p>sur les pentes, elle comprend un géotextile ou un géocomposite de drainage et d'éventuels géoconteneurs disposés dans la couche de protection, et la couche de protection elle-même</p>	m ²	
■ 14	<p>• RACCORDEMENT DE LA GÉOMEMBRANE SUR LES OUVRAGES BÉTON</p> <p>Ce prix rémunère au forfait le raccordement de la géomembrane sur les ouvrages béton tel que définit au C.C.T.P.</p> <p>Le forfait hors taxe :</p>	F	

N° DES PRIX	DEFINITION DES PRIX ET PRIX HORS TAXE EN TOUTES LETTRES	UNITE	PRIX HORS TAXE EN CHIFFRE
■ 15	<ul style="list-style-type: none"> • ASSURANCE ET CONTRÔLE DE LA QUALITÉ • Fourniture d'un PAQ • Mise à disposition d'un cahier journal de chantier, plan de calepinage, et résultats de contrôle externe ; traçabilité du contrôle et accessibilité des résultats pour le maître d'œuvre en cours de travaux • Contrôle intérieur (interne et externe) prévu au C.C.T.P. ; • Fourniture d'un dossier de recollement tel que prévu au C.C.T.P. <p>Le forfait hors taxes :</p>	F	
■ 16	<ul style="list-style-type: none"> • Éventuellement : <p>MESURE DE L'ÉTANCHÉITÉ GLOBALE DE L'OUVRAGE suivant les conditions précisées au C.C.T.P. ; méthode par remplissage ou méthode électrique sans préinstallation d'électrode (matériel ambulant) généralisée à l'ensemble des surfaces.</p> <p>Le forfait hors taxe :</p>	F	
■ 17	<ul style="list-style-type: none"> • Éventuellement : <p>ÉQUIPEMENT DE DISPOSITIF ÉLECTRIQUE DE CONTRÔLE permanent, préinstallation d'électrodes avec ou sans alarme.</p> <p>Le forfait hors taxe :</p>	F	

Page laissée blanche intentionnellement

Conception et impression
Graphi Concept

Tél. : 01 64 13 48 88
Fax : 01 64 13 48 80

Crédits photographiques
droits réservés

Dépôt légal
4^e trimestre 2000

ISBN
2-11-091-1785-7

Page laissée blanche intentionnellement



ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANE DES OUVRAGES POUR LES EAUX DE RUISSELLEMENT ROUTIER

GUIDE COMPLEMENTAIRE

Ce guide technique s'adresse aux bureaux d'études, maîtres d'œuvres et d'ouvrages concernés par la conception, la réalisation et la maintenance de dispositifs d'étanchéité par géomembrane des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier. Les grands types de dispositifs utilisables sont précisés ainsi que les critères à prendre en compte pour établir le projet, les spécifications relatives aux différents composants et le libellé des garanties.

Des recommandations sont données pour la mise en œuvre des dispositifs et l'organisation de la démarche qualité ainsi que pour leur entretien et leur réhabilitation. Des textes types sont proposés pour aider à la consultation des entreprises et la préparation des pièces de marché.

This technical guide is intended for consultants, project engineers and project owners involved in the design, building and maintenance of geomembrane waterproofing systems in works for road runoff water. The main types of waterproofing are described, together with the criteria to be taken into account to develop the project, specifications for the components and the wording of guarantees.

Recommendations are made for the installation of the waterproofing systems and the organisation of the quality approach, and for their maintenance and rehabilitation. Standard texts are proposed to help in the pre-contract negotiations and the preparation of contract documents.

*Ce document fait partie d'un ensemble de deux volumes
qui ne peuvent être vendus séparément.*

Cet ensemble est disponible au prix de **200 F** (30,49 €)
sous la référence **D0035**

au bureau de vente du SETRA

46, avenue Aristide Briand
BP 100
F-92225 BAGNEUX CEDEX
Téléphone : 01 46 11 31 53
Télécopie : 01 46 11 35 55
Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>

à l'IST-Diffusion – LCPC

58, boulevard Lefevre
F-75732 PARIS CEDEX 15
Téléphone : 01 40 43 52 26
Télécopie : 01 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>