

Etanchéité des bassins et barrages par géomembranes

Mémento sur la conception et le prédimensionnement

Version 2

Par Daniel FAYOUX – *AppliGEO*

Introduction¹

Ce mémento est établi à partir d'une synthèse de trois textes de référence, mais dont 2 concernent des types d'ouvrages particuliers, et aussi de l'expérience acquise permettant d'élargir les spécifications à des cas plus variés. Dans cette première version, on trouvera des tableaux comparatifs indiquant les spécifications imposées pour les ouvrages visés par les textes de références et les valeurs préconisées pour les autres cas. Il appartient au concepteur d'adapter ces valeurs en fonction des caractéristiques de l'ouvrage, de son usage, des risques encourus ou acceptables, de la durée de vie espérée et des conditions économiques.

La conception doit aussi prendre en compte l'auscultation (en particulier mesure des débits de fuite) et le suivi de l'ouvrage, ainsi que son entretien. Ces points ne sont pas détaillés dans cette version.

Textes de référence

Les textes de références sont

- Recommandations du CFG Fascicule 10 : Recommandation générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes. Ce fascicule, publié en 1990, détaille les principes de conception, et disposition constructives, indique des valeurs sur la géométrie des ouvrages, mais ne donne pas de spécifications sur les caractéristiques des produits. (Disponible en téléchargement gratuit sur www.cfg.asso.fr)
- Guide technique SETRA LCPC : « Etanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier. Son objet est limité aux bassins routiers, de faible profondeur (environ 3 m et en tous cas inférieurs à 5 m) ainsi qu'aux fossés. Ces bassins doivent par contre résister à des pollutions accidentelles par hydrocarbures et doivent aussi pouvoir être curés. Le guide donne des spécifications sur la géométrie des ouvrages ainsi que sur les composants du DEG et détaille les méthodes de calculs de stabilité des protections sur talus.

¹ Remerciements : Je remercie Monsieur Hugues Girard, du CEMAGREF Bordeaux, pour sa relecture efficace et ses commentaires pertinents.

- "Retenues d'altitude" : établi par le CEMAGREF, avec la collaboration d'ISL et d'EDF, cet ouvrage établit les « Recommandations pour la conception, la réalisation, le suivi et la remise à niveau des retenues d'altitude », et en particulier pour la réalisation de leur étanchéité par géomembrane, qui constitue la solution privilégiée pour ces ouvrages. Ces ouvrages sont nettement plus importants que les précédents, leur hauteur est généralement comprise entre 10 et 20 m. Un certain nombre, de par leur situation au dessus de stations, intéressent la sécurité publique, et ils sont souvent fondés sur des matériaux morainiques très agressifs pour les systèmes d'étanchéité. Enfin, la neige et la glace sont aussi un facteur important à prendre en compte. Les recommandations portent sur la conception de l'ensemble de ces ouvrages. En ce qui concerne la partie étanchéité, les recommandations portent sur la géométrie, les caractéristiques des géotextiles, le type de géomembrane à utiliser et leurs épaisseurs.

Ces textes sont le fruit d'un travail et d'un consensus collectif, étayé par l'examen des nombreux ouvrages réalisés par le passé et prenant en compte les causes de la pathologie observée, pour proposer des solutions fiables. Mais ces recommandations s'appliquent à des ouvrages bien particuliers.

Ce mémento présente des propositions permettant de guider les concepteurs pour le prédimensionnement des bassins, en s'appuyant sur les textes précédents comme "points pivots" et sur l'expérience acquise.

Bien sur, les ouvrages sont très variés par leur contexte géotechnique, environnemental, économique et sécuritaire. Les valeurs indiquées ne sont que des valeurs "moyennes" ou indicatives, et il conviendra que chaque concepteur fasse son analyse pour moduler ces valeurs en fonction du projet. De plus, contrairement aux recommandations des textes précédents, les extensions proposées n'ont aucun caractère officiel, mais sont quand même étayées par plus de 35 ans d'expérience, et leur utilisation prudente doit éviter des sous-dimensionnement ou des surdimensionnements flagrants.

Sont à prendre en compte pour les spécifications :

- Norme NF EN 13361 et NF EN 13361/A1: Barrières géosynthétiques – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des réservoirs et barrages.
- Norme NF EN 13254 et NF EN 13254/A1: Géotextiles et produits apparentés – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des réservoirs et barrages.
- Norme NF EN 13252 et NF EN 13252/A1: Géotextiles et produits apparentés – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les systèmes de drainage.

Ces trois normes décrivent les caractéristiques à spécifier et les normes d'essais à utiliser, mais ne donnent pas de valeur seuil.

1 Les bases du dimensionnement

L'étanchéité par géomembrane est assurée par un ensemble : le dispositif d'étanchéité par géomembranes

Constitué par : *Support*
 Drainage
 Géomembrane
 Protection éventuelle

Objectif : créer une bonne *adéquation* entre les *sollicitations* sur la géomembrane et ses *caractéristiques* à toute époque de sa vie, pour assurer la *durabilité* requise.

1.1 La première démarche est la collecte des informations sur l'ouvrage, son but, son environnement

Les bases du dimensionnement (Check-list)

- Intérêt économique de l'ouvrage
- Risques aux biens et aux personnes
- Durée de vie
- Chimie des liquides stockés
- Températures liquide et air, et leurs variations
- Géologie et Géotechnique : Déformation du support, nappe phréatique, zone karstique, position de la nappe phréatique.
- Poinçonnement: état de surface du support, hauteur d'eau, recouvrement éventuel.
- Vagues
- Vent
- Conditions d'exploitation et de maintenance
- Vandalisme

Ces points sont explicités ci dessous

① Analyse de l'ouvrage et des objectifs à atteindre par la conception

- Les besoins du Maître d'Ouvrage/gestionnaire (quels sont ses problèmes à résoudre : réglementation, environnement, amélioration du process, etc.)
- Les contraintes sur l'ouvrage : gestion, exploitation, maintenance, environnement
- Conséquences en cas de défaillance (économiques, environnementales, sur les personnes)?
- Durée de vie souhaitée. Faut-il envisager un renouvellement de l'étanchéité (à long terme, il sera économique de le prévoir dès la conception initiale).

② Les bases de la conception et du dimensionnement - Information à collecter auprès du Maître d'Ouvrage

- Destination de l'ouvrage, valeur économique et risques → choix entre solution « rustique », « moyenne » ou « à haute sécurité »
- Conditions d'exploitation et de maintenance de l'ouvrage → géométrie de l'ouvrage, accès, largeur en crête des digues, rampe d'accès en fond de bassin, fond circulaire, etc.
- Le liquide stocké : nature des composants, concentration, température (valeurs moyenne, valeurs extrêmes + durée et fréquence des pointes) → peut orienter ou définir le choix du type de géomembrane et son épaisseur

- ③ **Les bases de la conception et du dimensionnement –Etudes géotechniques**
- caractéristiques mécaniques des matériaux en fond de bassin et constitutifs des talus
→pentes des talus
 - Tassements éventuels → si oui, préférer des géomembranes déformables et, sur le fond, favoriser le glissement entre sol et géomembrane par des structures appropriées.
 - Position et **fluctuations** de la nappe phréatique → Drainage eau et gaz
 - Présence de matières organiques → drainage gaz
 - Granulométrie et état de surface du support → détermination du couple géotextile géomembrane pour résister au poinçonnement, compte tenu de la déformabilité de la géomembrane et de la hauteur d'eau.
 - Présence de karsts (dans ce cas, il vaut mieux choisir un autre site, sinon, procéder à une détection poussée des cavités, mais le risque demeure)

④**Les bases de la conception et du dimensionnement– Autres données du site**

- **Hauteur d'eau** → poinçonnement, épaisseur de la géomembrane et caractéristiques du géotextile en fonction du support et du type de géomembrane
- **Pentes des talus** → stabilité d'ensemble et des éléments en surface du support, sécurité des personnes (sur le chantier et pendant l'exploitation) ; stabilité de la protection éventuelle. stabilité de la protection éventuelle.
- **Vent** (valeur, fréquence et durée des extrêmes) → ancrages, lestage éventuel
- **Dimensions du plan d'eau** →détermination de vagues
- **Vagues** f(vent, fetch), effet aggravé par la pente des talus et une faible cohésion du support) → si nécessaire, protection au dessus de la géomembrane ou traitement du support pour renforcer sa cohésion (béton poreux par exemple)

1.2 ⑤ Caractéristiques de la géomembrane à prendre en compte en fonction des sollicitations.

- Résistance chimique
- Adaptation au support et résistance au poinçonnement (la déformabilité est souvent un atout) : Pour une même configuration du support et de hauteur d'eau, une géomembrane déformable (PVC, PP) pourra être moins épaisse et associée à un géotextile moins performant qu'une géomembrane rigide (PEHD), ou, pour une même épaisseur et un même géotextile, être sur des éléments plus agressifs (⊗)
- comportement sous traction permanente
- comportement à long terme des plis
- Résistance à long terme des soudures sous élongation/effort permanent Les soudures horizontales sur talus sont possibles pour le PVC.

2 Le support

⑦ **Le support**

Il doit être :

- Non poinçonnant (compactage du sol en place ou matériau d'apport)
- Stable
 - Stabilité d'ensemble de la pente
 - Stabilité des agrégats sur la pente : les éléments grossiers du support peuvent être mis en saillie, soit par le battement de la géomembrane du au vent sur un support en forte pente, soit par des arrivées d'eau sur talus
- Complété par un drainage:
 - Drainage des fuites éventuelles (contrôle possible)
 - Drainage des eaux en provenance du terrain environnant
 - Drainage des gaz

2.1 @ Géométrie du bassin

	Fascicule 10 CFG	SETRA LCPC Bassins	Retenues d'altitude	Mes commentaires et conseils
Largeur en crête digues	>1,5 m (?) si enfouissement manuel >3 m si circulation d'engin	>3 à 4 m en plus de la tranchée d'ancrage	5 m conseillé , 4 m minimum	>3 à 4 m en plus de la tranchée d'ancrage. La valeur minimale marquée par le CFG est insuffisante.
Pente des talus	Recommandé : entre 1V/3,5H et 1V/2H	Plus faible que 1H/2V	Recommandé : <1V/2,25H h<5m <1V/2,5H h>5m <1V/3H si GMB recouverte (cf. p 158)	Idem retenues d'altitude. Jamais > 1V/2H
Pente du fond	~ 2% recommandé	2% longitudinal 3 à 5% transversal suivant la largeur	2 % minimum	Si possible 2 %, plus si sol support « mou », à adapter si grandes dimensions
Raccordement fond/talus et angles		Arrondi, rayon 0,30 à 0,50 m		Arrondi, rayon 0,30 à 0,50 m, 1m pour PEHD

Une pente en fond de bassin permet d'assurer :

- Un meilleur drainage des liquides et gaz
- Une vidange complète de l'ouvrage
- Facilite le nettoyage et l'entretien

2.2 Pentes des talus préconisées par "Retenues d'Altitude"

Le tableau reproduit ci-dessous donne des valeurs indicatives des pentes pour assurer la stabilité des talus des digues des bassins. Ces valeurs sont à utiliser uniquement lors des études d'avant projet pour établir un prédimensionnement. Ces valeurs doivent être confirmées ensuite au niveau des études du projet sur la base d'essais de laboratoire et de calculs de stabilité.

Tableau 3.1. Valeurs indicatives des pentes maximales des talus d'un barrage en terre et en matériaux grossiers sur fondation non compressible.

Hauteur	Type de barrage	Amont	Aval
< 5 m	Avec géomembrane recouverte	1/3	1/2
	Avec géomembrane non recouverte	1/2,25	1/2
5 à 10 m	Avec géomembrane recouverte	1/3	1/2
	Avec géomembrane non recouverte	1/2,5	1/2
10 à 15 m	Avec géomembrane recouverte	1/3	1/2,25
	Avec géomembrane non recouverte	1/2,5	1/2,25

La pente d'un talus rectiligne est le rapport V/H entre sa hauteur verticale et sa projection horizontale (*figure 3.10*). Le rapport inverse est appelé *fruit*.

On note, en particulier, que les pentes recommandées sont au plus égales à 1/2. Des talus en terre dont la pente est de l'ordre de 2/3 ne sont pas stables à long terme ou sont en stabilité limite.

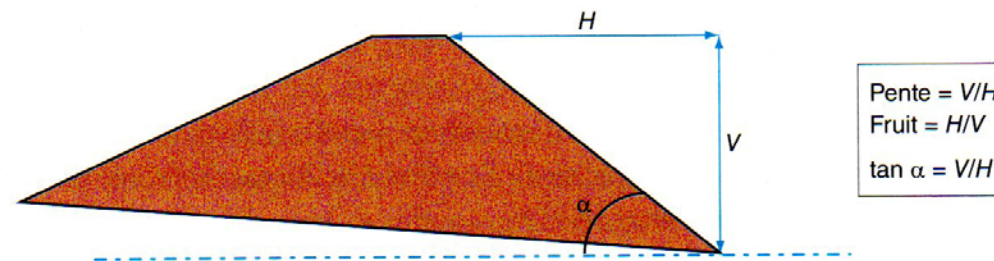


Figure 3.10. Pente d'un talus de barrage.

(Extrait de "retenues d'altitudes")

2.3 @ Spécifications sur le support

	Fascicule 10 CFG	SETRA LCPC Bassins	Retenues d'altitude	Mes commentaires et conseils
Préparation du fond de forme. (Le compactage doit être aussi appliqué à la couche support)	<p>limiter les tassements différentiels près des ouvrages béton</p> <p>Si nécessaire, purge locales et/ou couche support compactée</p>	<p>Compactage superficiel à prévoir sur l'ensemble du support : fond et talus</p> <p>Compactage à 95% de l'OPN pour matériaux avec $D_{max} < 50$ mm</p> <p>Matériaux plus grossier : densification équivalent à Q4</p> <p>Portance pour éviter orniérage EV2 ou $E_{dyn} \geq 30$ MPa</p>	<p>Compactage à 95% de l'OPN pour matériaux avec $D_{max} < 50$ mm</p> <p>Matériaux plus grossier : densification équivalent à Q4</p>	<p>Rien à rajouter en ce qui concerne le tassement!</p> <p>Pour la granulométrie, les limites retenues par le SETRA LCPC sont assez élevées, compte tenu de la faible hauteur d'eau, mais tenir compte aussi de la planéité exigée. Retenir les</p>
Granulométrie du support Classe de résistance au poinçonnement des GT	Essais labo et chantier	<p>Cl réduite : sols fins, grave roulée sableuse 0/20</p> <p>Cl normale : grave roulée 0/50 Concassé 0/20</p> <p>Cl renforcée : concassé 0/40, grave grossière >0/50</p>	Sable à Grave 5/20 maxi	<p>valeurs SETRA LCPC si profondeur <5 m, sinon \leq Grave 5/20 + exigences planéité. Si éléments plus grossiers, justification du DEG par essais</p> <p>Envisager aussi support en béton poreux en particulier sur fond rocheux ou talus soumis à des vagues</p>
état de surface du support	Compactage à 95% de l'OPN, sans ornières ni éléments en saillie	<p>Si points singuliers en saillie classe de résistance du GT renforcée</p> <p>Planéité 3 cm à la règle de 4 m</p>	Définit par le matériau de la couche support	

2.4 Spécifications sur le géotextile sous géomembrane

Rôle : protection contre le poinçonnement + propreté (soudures),

Type de produit : géotextile aiguilleté (polypropylène ou polyéthylène si en contact avec béton)

Peut aussi être un géocomposite drainant

« Sur support en sol fin ou sable, le géotextile **peut éventuellement et avec réserve** être supprimé » (SETRA LCPC)

	Fascicule 10 CFG	SETRA LCPC Bassins	Retenues d'altitude	Commentaires et conseils
Masse surfacique	Pas une obligation	300 à 800 g/m ² voir plus pour cas difficiles Cl réduite ≥ 300 g/m ² Cl normale ≥ 400 g/m ² Cl renforcée ≥ 600g/m ²	500 à 1000 g/m ²	Les spécifications du guide SETRA LCPC sont une bonne base, à moduler en plus en fonction de la hauteur d'eau et éventuellement en moins (géomembranes déformables ou géomembrane plus épaisses).
Resistance au poinçonnement statique NFP 38019		Cl réduite ≥ 1,5 kN Cl normale ≥ 2 kN Cl renforcée ≥ 3 kN	A spécifier par le concepteur	Ne pas descendre en dessous du produit défini en classe réduite, sauf éventuellement sur sol fin ou sable, sans aucun risque de cailloux , où le géotextile n'a qu'une fonction de propreté. Mais même dans ce cas, utiliser un géotextile.
Résistance en traction NF EN ISO 10319		Résistance : Cl réduite ≥ 12 kN/m Normale ou Renforcée ≥ 15 kN/m Déformation ≥ 50 %	Déformation ≥ 50 %	

2.5 Spécifications sur le drainage

	Fascicule 10 CFG	SETRA LCPC Bassins	Retenues d'altitude	Commentaires et conseils
Drainage liquide	Matériau perméable ES>60, épaisseur > 0,1 m, ou géodrains ou tranchées drainantes	Renvoie au fascicule 10	Fond couche sable ou grave 2/20 (ou géocomposite drainant) + tranchée drainante collectrices Talus : en déblai, drainer séparément les venues d'eau	Lire fascicule 10 et Retenues d'altitude
Drainage gaz	Tuyaux perforés 40 à 80 mm ou géodrains. Sorties: → Ils ne doivent jamais être noyés	idem	Sorties placées aux points hauts et munies d'évents protégés des entrées d'animaux et de la pénétration d'eau.	Tuyaux 40 mm trop petits. On retient 100 à 110 ou bandes drainantes géodrains
Position de la nappe phréatique	Doit être connue	Le cas du bassin recoupant une nappe phréatique n'est pas traité	Etude géotechnique préliminaire : nappe et perméabilité des couches	Déterminer ses positions extrêmes. Ne pas se fier à une mesure faite en été

Connaissance de la nappe phréatique

- Piézomètres généralement posés lors de la reconnaissance géotechnique
- Mesures faites lors de la reconnaissance, mais après?
- Missionner la société de géotechnique pour continuer les mesures
- Ou la collectivité locale assure elle-même les relevés
- Mais faire des relevés, surtout en période humide

Références

NFG 38061 (ex guide drainage du CFG, en fin de réécriture)
NF EN 13252 drainage (ne donne pas de valeur seuil)

3 Spécifications sur la géomembrane

3.1 Bases réglementaires

	Fascicule 10 CFG	SETRA LCPC Bassins	Retenues d'altitude	Commentaires et conseils
		Certifiés ASQUAL	Certifiés ASQUAL	Analyse suivant diapos ③ à ⑥ + critères CFG
Critères de choix du type : compatibilité chimique ou mécanique	-Niveau de fuite admissible - Compatibilité chimique - Contraintes géométriques et mécaniques	rétenion essence super sans plomb (géomembrane et joints) : 3 jours + petite pollution chronique	déformabilité pour adaptation au support souvent agressif et comportement à basse température.	Voir proposition de synthèse pour les épaisseurs sur diapos suivantes. Pour les caractéristiques autres que l'épaisseur, se reporter au guide SETRA LCPC, mais attention, les normes viennent de changer, ce qui entraîne des changements de valeur (par exemple allongement à la rupture du PVC suivant NFP 84-501 > 270 % devient > 300 % avec NF EN ISO R527 ; préconiser aussi une résistance à la rupture > 15 MPa pour le PVC)
Epaisseur minimale	- Considérations économiques et bon fonctionnement pendant la durée de vie de l'ouvrage	PEHD : ≥ 1,5 mm PP – F : ≥ 1,2 mm PVC : ≥ 1,2 mm EPDM : ≥ 1,14 mm (exclusivement avec joints vulcanisés à chaud en usine) Bitumineuses : film anti racine au dessus et pontage des soudures résistant aux hydrocarbures) Bit oxydé : ≥ 4 mm Bit. polymère : ≥ 3,5 mm	PVC-P : ≥ 1,5 mm PP-F : ≥ 1,5 mm EPDM : ≥ 1,5 mm Bit. polymère : ≥ 4mm Le PEHD ne s'est pas montré adapté à ces ouvrages (pose, raccordements aux ouvrages, poinçonnement)	

3.2 Spécifications sur la géomembrane - Proposition de synthèse

(Synthèse de l'expérience et des documents officiels) **Les valeurs proposées sont à moduler en fonction de l'analyse du projet, du support, des géotextiles associées et de la mise en œuvre**

Certification Asqual	A spécifier, car outre la constance de production garantie, l'annexe 10 impose des spécifications qui assurent une bonne durabilité du produit			
Compatibilité chimique	Une fois les données collectées, les mettre dans le dossier de consultation (sans majoration abusive) et exiger une garantie. (Consulter les producteurs en début d'étude pour s'orienter sur les bons produits)			
Caractéristiques ouvrages	Ouvrages ①	Ouvrages ② Ou Ouvrages ① avec petite contrainte hydrocarbure, ou avec support plus agressif, ou durée de vie plus longue	Ouvrages ③ Ou Ouvrages ② en site sensible, ou à durée de vie plus longue. Ou Ouvrages ① avec intérêt économique notable, longue durée de vie recherchée Bassins d'altitude	Ouvrages ③ avec intérêt économique notable. Ou Ouvrages ② en site très sensible, ou à durée de vie plus longue et support médiocre. Ou Ouvrages ① avec intérêt économique important, longue durée de vie recherchée Bassins d'altitude proche des 20 m, ou pour lequel on attend plus de sécurité
Epaisseurs Minimales préconisées	PVC-P : ≥ 1,0 mm PP-F : ≥ 1,0 mm EPDM : ≥ 1,14mm PEHD : ≥ 1,5 mm Bit. oxydé: ≥ 3,5mm Bit. polymère : ≥3,5mm	PVC-P : ≥ 1,2 mm PP-F : ≥ 1,2 mm EPDM : ≥ 1,14mm PEHD : ≥ 1,5 mm Bit. oxydé: ≥ 4 mm Bit. polymère : ≥3,5mm	PVC-P : ≥ 1,5 mm PP-F : ≥ 1,5 mm EPDM : ≥ 1,5 mm PEHD : ≥ 2,0 à 2,5 mm Bit. oxydé: ≥ 5 à 6 mm (sauf pour bassins d'altitude) Bit. polymère : ≥ 4 à 5,5mm	PVC-P : ≥ 2 mm PP-F : ≥ 2 mm EPDM : ≥ 1,5 mm * (*n'est pas fabriqué en plus épais) PEHD : ≥ 2,5 à 3 mm Bit. oxydé: ≥ 6mm Bit. polymère : ≥ 5,5mm

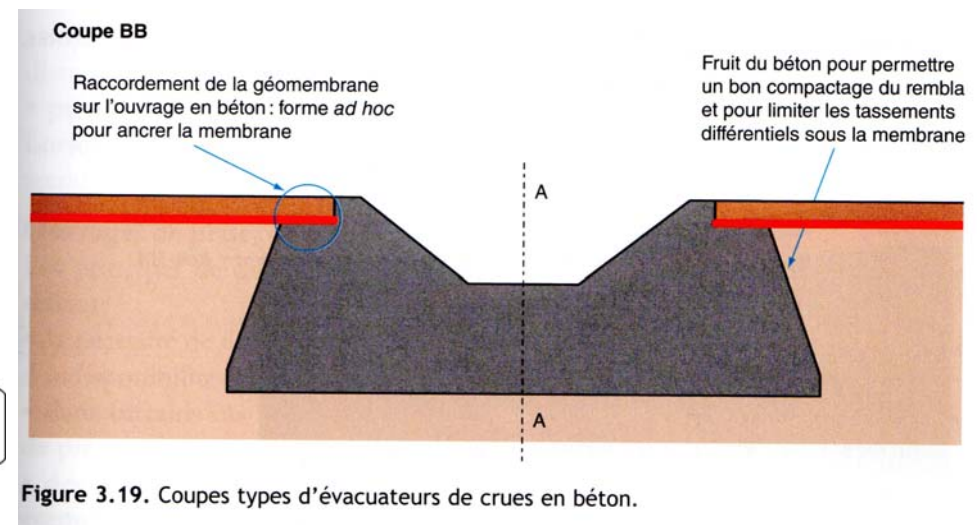
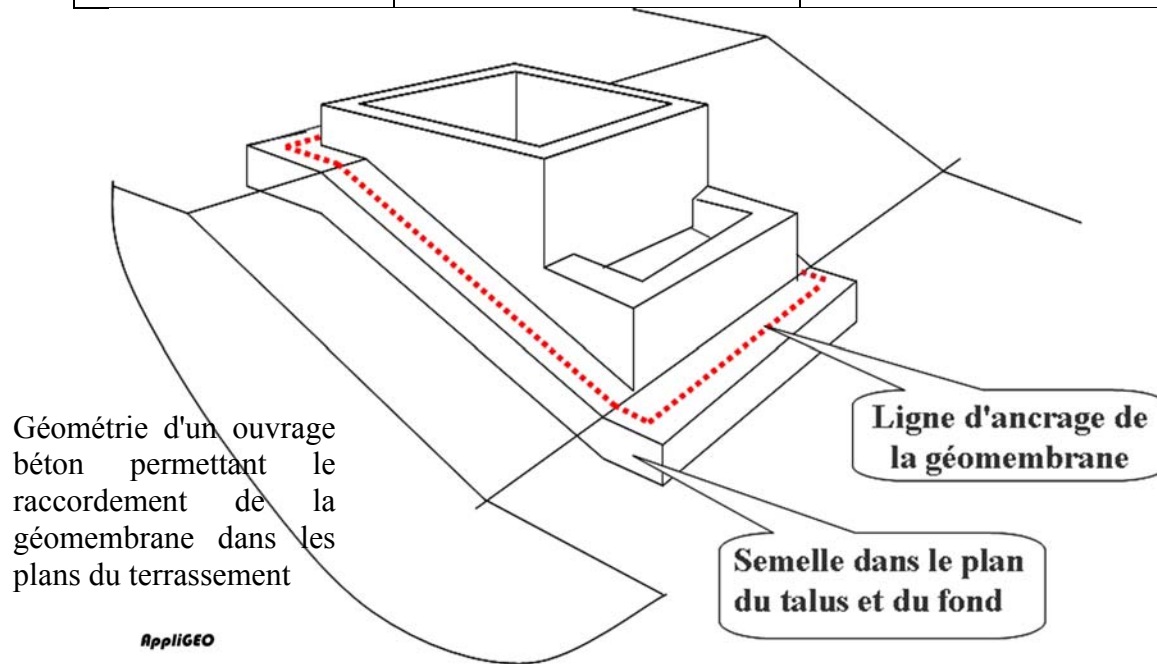
Ouvrages ① : Bassins < 10 m, faible contrainte chimique (eau, fosse à lisier, bassins de sucrerie, etc.) durée de vie 15 à 20 ans ; granulométrie de la couche support $D_{max} \leq 20$ mm. Durée de vie demandée : 15 à 20 ans

Ouvrages ② : bassins routiers suivant spécifications SETRA LCPC,

Ouvrages ③ Bassins entre 10 et 20 m, faible contrainte chimique (eau, fosse à lisier, bassins de sucrerie, etc.) durée de vie 15 à 20 ans ; granulométrie de la couche support $D_{max} \leq 20$ mm

4 Raccordement aux ouvrages

Fascicule 10 CFG	SETRA LCPC Bassins	Retenues d'altitude	Commentaires et conseils
Souligne la difficulté du compactage au voisinage de l'ouvrage. Propose zone de transition	Compactage le long des ouvrages béton et canalisations ou massifs de béton maigre contre l'ouvrage béton, recouvert de 0,20 m de matériaux du site	Idem avec si possible fruit des parois béton dans le sol pour favoriser un meilleur contact sol/paroi (p 201) Sous l'eau , prévoir: <ul style="list-style-type: none"> • Surfaçage du béton et lissage résine • Plats et boulonnerie inox • Fixation par chevilles chimiques, écartement fonction de la rigidité du plat 	Idem
Schémas de principes	Schémas de principe dans guide complémentaire (en partie extraits du fascicule 10)	Géométrie de l'ouvrage béton adaptée pour permettre raccordement dans le plan du talus ou du fond	Idem Voir schéma de principe ci-après



5.1 Intérêt de la protection

→ Assure la résistance :

- Au trafic (nécessité d'un support portant, même si il est saturé, ou d'une couche de protection répartissant les contraintes à un niveau admissible)
- Au vent (autres solutions : lestage, ancrage)
- Aux vagues: Nécessaire dans le cas de grands bassins (>300 à 400m) pour résister à la houle:
 - soit protection granulaire ou béton
 - Soit traitement du sol support par liant hydraulique ou bitumineux, ou couche de béton poreu
- Au vandalisme humain et animal (autre solution: clôture, ...+gardiennage dans certaines zones)
- → **Augmente fortement la durée de vie de la géomembrane**
- → **malgré coût supérieur à celui de la géomembrane, l'investissement est rentable pour les ouvrages à longue durée de vie**
- → **Risque d'endommagement à la mise en œuvre (donc planche d'essais nécessaire pour valider le DEG et sa mise en œuvre) et en exploitation : calculer la stabilité de la protection sur talus ; disposer la géomembrane avec son interface le moins frottant sur le dessus)**

5.2 Spécifications sur le géotextile au dessus de la géomembrane, sous protection et Stabilité sur talus de la protection

Si l'angle de frottement géotextile/géomembrane est inférieur à l'angle du talus, nécessité d'assurer la stabilité de la protection sur talus :

- géotextile de renforcement : voir guide Setra LCPC bassins routiers (guide complémentaire). Une norme française vient d'être finalisée et redonne la méthode de calcul et surtout les coefficients de sécurité à appliquer.
- Surépaisseur en pied de talus
- Protection en béton butée en pied
- Matelas textile remplis de matériaux granulaires, ou de béton, ancrés en tête
- Matelas gabions (attention à la mise en œuvre et à la qualité des fils du gabion)
- **Il est primordial de localiser le plan de glissement potentiel à l'interface géomembrane/géotextile supérieur, pour éviter toute rupture de l'étanchéité en cas de mouvement de la protection** (par exemple, pour les géomembrane bitumineuse, film anti-racines vers le dessus, pour les géomembrane PVC, face la plus lisse vers le dessus, etc.)

5.3 Spécifications sur le géotextile au dessus de la géomembrane, sous protection

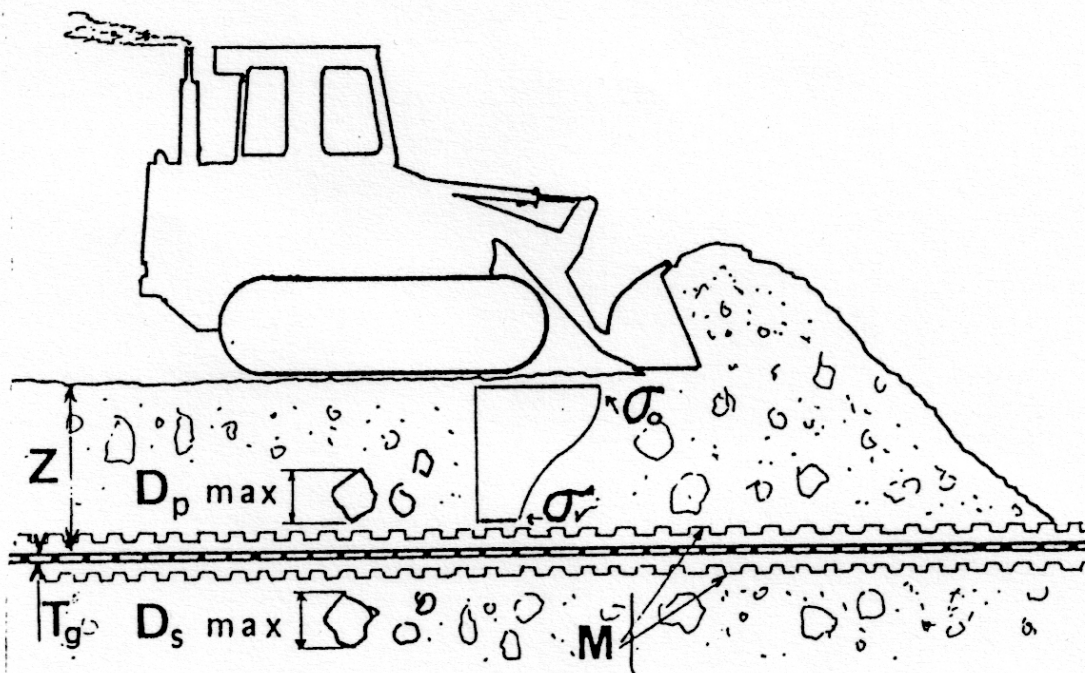
	SETRA LCPC Bassins		Commentaires et conseils
	Fond : idem géotextile sous la géomembrane	Talus	<p>Pour GMB déformables, fonction du produit des Dmax support et protection</p> <p>Dépend des conditions d’approvisionnement et de mise en œuvre des matériaux.</p> <p>Si trafic sur la structure, prévoir couche suffisamment épaisse pour réduire les contraintes et Valider la solution par planche d’essai</p> <p>Mise en place sur talus du bas vers le haut.</p> <p>Couture recommandée pour assurer la continuité</p>
Masse surfacique	Cl réduite $\geq 300 \text{ g/m}^2$ Cl normale $\geq 400 \text{ g/m}^2$ Cl renforcée $\geq 600 \text{ g/m}^2$	Non spécifié, vu la diversité produits utilisables	
Resistance au poinçonnement statique NFP 38019	Cl réduite $\geq 1,5 \text{ kN}$ Cl normale $\geq 2 \text{ kN}$ Cl renforcée $\geq 3 \text{ kN}$	Cl normale $\geq 2 \text{ kN}$ Cl renforcée $\geq 3 \text{ kN}$	
Résistance en traction NF EN ISO 10319	Résistance : Cl réduite : $\geq 12 \text{ kN/m}$ Normal ou Renforcé $\geq 15 \text{ kN/m}$ Déformation $\geq 50 \%$	A dimensionner par le concepteur 20 à 100 kN/m Calcul stabilité donné dans guide complémentaire	

CFG Fascicule 10: préconise des planches d’essais – Géotextile $\geq 300 \text{ g/m}^2$ entre PVC et bitume pour éviter la migration des composants

Bassins d’altitude : planche d’essais; calcul stabilité cf. norme « géosynthétiques. Géotextiles et produits apparentés- Stabilisation d’une couche de sol mince sur pente – Justification ... » NF XP G38-065

5.4 Paramètres influant sur le choix des composants du DEG,

Par rapport à la mise en œuvre de la protection



Les paramètres influant sur le choix des composants du DEG sont, en première approximation :

- La nature et les propriétés de la géomembrane
- T_g son épaisseur
- D_s le diamètre maximal des éléments du support*
- D_p le diamètre maximal des éléments de la couche de protection
- Les propriétés des géotextiles de protection
- M la masse surfacique totale de ce géotextile sur les 2 faces de la géomembrane; (Cette masse n'a pas le même effet pour deux géotextiles de caractéristiques différentes)
- Z l'épaisseur de la couche de protection
- σ_0 la contrainte sous l'engin de terrassement
- La nature de l'engin de terrassement (chenille ou roue)
- σ_z la contrainte au niveau des géosynthétiques, à la base de la couche de protection

5.5 Evolution de la contrainte en fonction de la profondeur Z (Boussinesq)

La contrainte à la base de la couche de protection peut être déterminée, en fonction de l'épaisseur de la couche et du type d'engin, à l'aide de l'abaque établie à partir de la formule de Boussinesq. La précision de la méthode est largement suffisante pour cette utilisation

