

Géomembranes

Utilisation en génie civil

par **Jean-Louis BORDES**

Ingénieur de l'École Centrale de Paris
Expert, Coyne et Bellier

1. Définition et nature des géomembranes	C 5 430 - 2
1.1 Définition.....	— 2
1.2 Fonction et nature.....	— 2
1.3 Différents types de géomembranes.....	— 2
1.3.1 Premières géomembranes.....	— 2
1.3.2 Fabrication et matériaux de base.....	— 2
1.3.3 Additifs aux composants de base.....	— 3
1.3.4 Renforcement.....	— 4
1.3.5 Géocomposites.....	— 4
1.4 Pérennité des membranes.....	— 5
1.4.1 Généralités.....	— 5
1.4.2 Comportement à long terme de quelques types de membranes.....	— 5
2. Utilisation des membranes dans les ouvrages hydrauliques	— 6
2.1 Historique.....	— 6
2.2 Contraintes et dispositifs.....	— 6
2.2.1 Barrages.....	— 6
2.2.2 Réservoirs.....	— 6
2.3 Exemples d'application.....	— 6
3. Utilisation des géomembranes dans l'environnement	— 7
3.1 Finalité et cadre législatif.....	— 7
3.2 Décharges ou centres d'enfouissement techniques.....	— 8
3.2.1 Conception générale.....	— 8
3.2.2 Stabilité.....	— 8
3.2.3 Étanchéité.....	— 8
3.2.4 Évolution.....	— 9
3.3 Bassins pour le stockage d'effluents industriels.....	— 10
3.4 Autres emplois pour la protection de l'environnement.....	— 10
4. Utilisation des géomembranes pour l'étanchéité	— 10
5. Mise en œuvre	— 11
5.1 Généralités.....	— 11
5.2 Surface courante.....	— 11
5.3 Limites de la surface recouverte.....	— 11
5.4 Points singuliers.....	— 11
6. Normalisation, essais et contrôle	— 13
Pour en savoir plus	Doc. C 5 430

Les géomembranes sont apparues depuis quelques dizaines d'années, mais leur utilisation s'est développée de façon considérable en raison, en particulier, de l'attention portée aux problèmes de l'environnement.

Le développement des géomembranes s'inscrit dans celui de l'emploi de matériaux synthétiques dans le génie civil. C'est le géotextile qui a été le premier d'un ensemble de matériaux qui maintenant rassemble plusieurs familles différentes. Celles-ci permettent ainsi la réalisation, dans le génie civil, de matériaux composites. Le nom générique de tous ces produits est celui de géosynthétique.

1. Définition et nature des géomembranes

1.1 Définition

Pour bien situer la place des géomembranes, il est indispensable de donner la définition de tous les membres de cette famille, d'autant plus que leur emploi est souvent combiné.

On rappellera que les **géosynthétiques** sont des matériaux **manufacturés** en forme de nappe, à base de polymères, utilisés dans les applications de la géotechnique et du génie civil, et assurant l'une ou plusieurs des fonctions définies ci-après. Ils se subdivisent en six familles, dont les définitions suivantes sont, pour partie, en cours d'élaboration ou d'adoption par les organismes de normalisation européens à partir d'usages consacrés par différentes sociétés savantes, comme le Comité Français des Géotextiles et Géomembranes [1].

■ Géomembrane (définition AFNOR NF P84-500)

Produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche aux liquides même sous les sollicitations de service. Dans l'état actuel des techniques, ni les produits de faible épaisseur fonctionnelle (< 1 mm), ni les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériau argileux, ne sont considérés comme des géomembranes.

■ Géotextile

Matériau perméable, qui peut être tissé, non tissé ou tricoté, utilisé dans les applications de la géotechnique et du génie civil.

■ Géogrille

Structure plane constituée par un réseau ouvert d'éléments résistants à la traction, reliés entre eux selon un motif régulier, et utilisée dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.

■ Géospaceur

Structure polymère tridimensionnelle utilisée dans les applications de la géotechnique et du génie civil, permettant de maintenir l'espace entre deux matériaux, notamment en vue d'un drainage.

■ Géoconteneur

Structure tridimensionnelle permettant le confinement, la stabilité et le renforcement d'un matériau de remplissage.

■ Géocomposite

Matériau composite comprenant au moins l'un des géosynthétiques suivants :

- géomembrane ;
- géotextile ;
- géospaceur ;
- géogrille ;
- géoconteneur.

Pour des raisons pratiques, notamment liées à des procédures d'essai ou à des méthodes de caractérisation identiques, on est amené à regrouper ces géosynthétiques en deux groupes :

- les **géotextiles et produits apparentés**, 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 ;
- les **géomembranes et produits apparentés**, dont la fonction principale est l'étanchéité aux fluides : géomembranes, géocomposites bentonitiques...

Le présent article traitera plus spécialement de ces derniers produits.

1.2 Fonction et nature

La fonction des géomembranes est d'assurer une étanchéité que les conditions naturelles d'un site ne présentent pas, ou que doit comporter un ouvrage à réaliser.

Ce peut être, dans le premier cas, un bassin de réception d'un effluent de nature quelconque ou une décharge de déchets, dans le second cas, un barrage, un canal en remblai, un tunnel ou une canalisation.

Les géomembranes présentent l'avantage d'une grande minceur (1 à 6 mm). On doit néanmoins, à cause de cette minceur, les protéger. Elles sont donc associées à une couche support en dessous et reçoivent une protection au-dessus. On parle alors, pour l'ensemble, de dispositif d'étanchéité par géosynthétique (DEG).

À la fonction étanchéité on doit souvent, par sécurité et complément dans la conception de la barrière, associer une fonction drainage. Celle-ci sera constituée de géosynthétiques. On conçoit ainsi des dispositifs de drainage par géosynthétique (DDG), de faible épaisseur et de structure identique à la barrière d'étanchéité, par la similitude de la nature des matériaux mis en œuvre. Mais on peut, en utilisant des matériaux naturels et des géosynthétiques, concevoir des DDG de forte épaisseur.

1.3 Différents types de géomembranes

1.3.1 Premières géomembranes

Pour la première fois, Goodyear, en 1938, réalisait du caoutchouc synthétique par vulcanisation de caoutchouc naturel avec du soufre. La Seconde Guerre mondiale vit le développement de ce produit. Ce fut en premier lieu le caoutchouc butyl, produit quasi imperméable utilisé pour le revêtement intérieur de tubes ou pour les chambres à air.

Les premières géomembranes furent réalisées en PVC et mises en place dans des ouvrages hydrauliques (1960) comme les barrages pour assurer l'étanchéité à l'amont de l'ouvrage.

Parallèlement, on a utilisé des élastomères et en particulier les caoutchoucs butyls pour assurer l'étanchéité de bassins d'eau (1960) après les avoir utilisés pour des réservoirs dans les années 40.

Ensuite, on a développé des membranes bitumineuses employées au début pour des applications hydrauliques, comme pour le revêtement de canaux ou pour le masque amont de barrages.

Enfin, dans les années 80, les applications liées à l'environnement requièrent des membranes constituées de matériaux ayant une grande inertie chimique. Ce sont les polyéthylènes à haute densité (PEhd) qui ont été en particulier retenus comme matériau constitutif pour de nombreuses applications.

1.3.2 Fabrication et matériaux de base

1.3.2.1 Fabrication

Le lecteur pourra se reporter à la référence bibliographique [3] dans [Doc. C 5 430].

La fabrication des géomembranes commence par la fabrication des matériaux de base. Ceux-ci comprennent la résine de base thermoplastique ou élastomérique ainsi que les plastifiants ou agents de vulcanisation.

On distinguera trois grandes méthodes de fabrication :

- l'**extrusion**, pour la fabrication des membranes les plus simples, en simple pli renforcé ou non. L'extrusion/soufflage est un procédé dans lequel un cylindre de thermoplaste est extrudé puis étiré longitudinalement et transversalement par soufflage ;

— le **calandrage** pour réaliser des géomembranes multipliés avec ou sans renforcement par colaminage de différentes épaisseurs de produits. C'est le procédé utilisé en particulier pour les géomembranes bitumineuses ;

— l'**enduction** ; un géotextile en général non tissé aiguilleté est utilisé comme matériau de base et pénétré par un polymère pour obtenir l'épaisseur finale.

1.3.2.2 Matériaux de base

On distingue deux grandes catégories : les polymères de synthèse et les matériaux bitumineux.

■ Polymères de synthèse

Ce sont des composés chimiques de masse moléculaire élevée. Les plus communément utilisés actuellement comme produits de base pour la fabrication des géomembranes peuvent être classés de la manière suivante (les symboles entre parenthèses sont consacrés par l'usage en France) :

— les **thermoplastiques** : polychlorure de vinyle (PVC) ; PVC résistant aux huiles (PVC-OR) ; thermoplaste PVC nitrile (PVC-NT) ; alliage éthylène interpolymère (AEI) ;

— les **thermoplastiques cristallins** : polyéthylène basse densité (PEbd) ; polyéthylène haute densité (PEhd) ; alliage polyéthylène haute densité (PEhd-A) ; polyéthylène moyenne densité ; polyéthylène linéaire basse densité ; polypropylène ;

— les **élastomères** : caoutchouc isoprène-isobutylène (IIR) communément appelé caoutchouc butyl ; éthylène-propylène diène monomère (EPDM) ; polychloroprène (CR) également appelé couramment *Néoprène* ; caoutchouc d'épichlorohydrine (CO) ;

— les **élastomères thermoplastiques** : polyéthylène chloré (PE-C) ; alliage polyéthylène chloré (PE-C-A) ; polyéthylène chloro-sulfoné (PE-C-S) appelé couramment *Hypalon* ; éthylène propylène diène terpolymère thermoplastique (EPDM-T).

■ Matériaux bitumineux

Ce sont des mélanges d'hydrocarbures d'une masse moléculaire élevée obtenus soit à partir de produits naturels, soit plus généralement sous forme de sous-produits de distillation du pétrole. Ils

présentent un comportement viscoélastique, c'est-à-dire que leur déformation peut dépendre non seulement de la charge, mais aussi de sa durée d'application et de la température.

On peut distinguer :

- les bitumes de distillation directe ;
- les bitumes soufflés, moins sensibles à la température ;
- les émulsions de bitume utilisables à froid ;
- les bitumes avec additifs : bitume caoutchouc, bitume soufre, etc. ;
- les associations de bitume et d'élastomère ou de plastomère dits bitumes modifiés dont le comportement est semblable à celui des matériaux thermofixés (polyacrylamide et copolymère de bitume), les thermoplastiques (polyéthylène et bitume) ou les élastomères (SBS = bitume styrène – butadiène styrène).

Le comportement de ces deux catégories de matériaux est résumé dans le tableau 1, extrait d'un fascicule du Comité français des géotextiles et géomembranes.

Le tableau 2 réunit des données sur les propriétés des membranes fabriquées avec les mêmes matériaux.

1.3.3 Additifs aux composants de base

Les géomembranes comportent généralement différents additifs aux matériaux de base :

- des charges minérales, du carbone, des fillers calcaires, de la poudre d'ardoise, etc. ;
- des agents stabilisants, du noir de carbone (utilisé notamment dans la fabrication du polyéthylène et de certains PVC) ;
- des agents fongicides, herbicides, algicides, bactéricides ;
- des auxiliaires de transformation ;
- des fibres et des élastomères (notamment pour les géomembranes bitumineuses).

Tableau 1 – Résumé du comportement des grandes familles de géomembranes (d'après [5])

	Géomembrane de synthèse		Géomembrane bitumineuse	
	Élastomère	Plastomère	Bitume soufflé	Bitume modifié aux polymères
Comportement général	Élastique	Plastique	Viscoplastique	Viscoélastique
Comportement sous contrainte imposée	Allongement élastique constant fonction de la contrainte La déformation disparaît avec la contrainte	Pour une contrainte supérieure au seuil d'écoulement, il se produit des déformations partiellement irréversibles après cessation de contrainte	Même comportement que les plastomères, avec une valeur différente pour le seuil	Même comportement que les élastomères, avec limite élastique
Comportement sous allongement imposé	Reste sous tension	Relaxation partielle de la contrainte	Relaxation de la contrainte	Reste sous tension
Influence d'une température élevée	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Souplesse à froid	Très bonne	Bonne ; variable suivant les produits	Assez bonne	Bonne à très bonne suivant nature et teneur des polymères
Soudure thermique	Impossible si réticulé	Très facile	Très facile	Très facile
Soudure par solvant	Impossible si réticulé	Possible suivant produit	Sans objet	Sans objet
Collage	Facile	Facile à difficile	Facile	Facile
Vulcanisation	Possible	Sans objet	Sans objet	Sans objet

Tableau 2 – Quelques propriétés mécaniques des géomembranes

Propriétés (1)	Type			
	Membrane bitumineuse	PEhd	PEbd	Géocomposite
Épaisseur..... (mm)	3 à 6	1 à 3	0,5 à 2,5	< 10
Masse volumique..... (g/cm ³)	3 à 5 kg/m ²	0,94	0,89	
Perméabilité <i>K</i> (m/s)	< 10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹²
Angle de frottement..... (°)	variable avec support 27° sur du sable	variable avec support 18° sur du sable	variable avec support 18° sur du sable	variable 9° à 26°
Résistance à la rupture.....	14 à 32 kN/m	24 à 36 N/mm ²	24 N/mm ²	14 à 27 kN/m
Allongement..... (%)	35 à 50	600 à 800	900	15 à 140
Limite élastique.....	Sans objet	10 N/mm ²	15 N/mm ²	Sans objet
Allongement..... (%)		15	20	
Résistance à la déchirure amorcée.....		100 à 430 N	30 à 180 N	
Poinçonnement.....	230 à 400 N	30 à 150 N	170 à 400 N	
Résistance à fissuration sous contrainte.....		1 500 h	1 500 h	

(1) Il s'agit d'ordres de grandeur.

1.3.4 Renforcement

Le renforcement d'une géomembrane peut être pratiqué notamment pour une ou plusieurs des raisons suivantes :

- pour conférer de la stabilité au composé au cours du processus de fabrication ;

- pour donner une stabilité dimensionnelle aux géomembranes qui rétréciraient ou s'agrandiraient par suite de variations de température ;

- pour augmenter la résistance (à la traction, au déchirement, au poinçonnement, à la perforation) et le module d'élasticité de la géomembrane.

Lorsque les renforts utilisés sont des nappes continues, la géomembrane est dite **armée**. Selon le type de géomembrane, l'armature pourra être :

- un géotextile non tissé : polyester, polypropylène, polyamide, verre ;

- un géotextile tissé : polyester, polypropylène, polyamide, verre ;

- une géogrille : polyester, polyamides, verre.

Un renforcement par armature réduit de manière importante l'allongement à la rupture de la membrane.

1.3.5 Géocomposites

Le concept de géocomposite est apparu dans les années 80 : il s'agissait de conditionner de la bentonite entre deux géotextiles pour obtenir une membrane de quelques millimètres d'épaisseur. Ce produit a été imaginé pour pallier, dans le site d'une décharge, l'absence d'une épaisseur d'argile suffisante exigée par différents règlements.

Les avantages et les inconvénients de cette formule par rapport à la mise en place d'une couche d'argile compactée sont présentés dans le tableau 3, extrait d'un article de David E. Daniel [4].

Par rapport aux autres types de membranes, le principal avantage des géocomposites réside dans leur pouvoir d'autocicatrisation en cas de perforation accidentelle ou de poinçonnement : l'ouverture, si elle est de faible taille, est colmatée par la bentonite.

Tableau 3 – Comparaison des membranes géocomposites et des couches d'argile compactée conventionnelles (d'après [4])

Couche d'argile compactée	Membrane géocomposite
Épaisse (0,6 à 1,5 m)	Mince (10 mm)
Construite en place	Manufacturée
Difficile à mettre en place correctement	Facile à mettre en place (dérouler et positionner)
Impossible à perforer	Susceptible d'être endommagée et perforée
Mise en place avec un matériel lourd	Peut être installée avec un équipement léger
Données spécifiques sur le matériau nécessaire	Produit manufacturé, données disponibles
Grande capacité d'absorption des lixiviats	Faible capacité d'absorption de lixiviats
Temps de stockage relativement long	Temps de stockage réduit
L'épaisseur importante dans la couche demande de la place	Une place très faible suffit
Coût très variable	Coût plus prévisible
Résistance à la traction faible	Résistance à la traction plus importante
Peut se dessécher et se fissurer	Ne peut pas se fissurer avant d'avoir été hydratée
Difficile à réparer	Facile à réparer
Sensible au cycle gel/dégel	Moins sensible au cycle gel/dégel
Performance très liée à la qualité de l'installation	Propriétés hydrauliques moins sensibles aux variables apportées par l'installation
Mise en place longue	Mise en place très rapide

Il en est de même pour les joints, qui sont obtenus par simple superposition des membranes (Claymax[®]) ou complétés par un (Bentomat[®]) voire deux (Bentofix[®]) épandages de bentonite pour obtenir le colmatage.

Les produits se distinguent par le type de bentonite employée (sodium, naturelle ou activée), la nature des géotextiles (PEhd, polypropylène, polyester) et la façon dont la cohésion de la bentonite est assurée.

Lors de la mise en place, la plupart des techniciens préconisent d'hydrater la membrane avec de l'eau douce de manière qu'elle soit déjà gonflée et qu'elle soit étanche lorsque, par exemple, elle entrera en contact avec les lixiviats ; des solutions salées peuvent en effet empêcher le gonflement et donc la membrane resterait perméable. Des tests effectués avec de l'eau de mer se sont soldés par un échec.

1.4 Pérennité des membranes

1.4.1 Généralités

Sur le terrain, des tenues très satisfaisantes de membranes bitumineuses, ou de PVC, bien protégées, ont été observées pour des durées de 20 à 30 ans. On peut en particulier se référer à l'expérience des barrages où les membranes sont parfois utilisées comme étanchéité principale sur de petits ouvrages, et plus généralement à des fins de réhabilitation. Le premier exemple est celui du barrage de Contrada Sabetta (Italie) où une membrane en polyisobutylène posée en 1959, protégée par des dalles en béton, est restée efficace jusqu'à présent [5].

De nombreuses études, analyses, ont été consacrées au problème du vieillissement des membranes. Des moyens de vieillissement artificiel ont été développés et mis en œuvre en laboratoire. Ils ont consisté, en particulier, en des essais de mise en contact avec l'oxygène sous plusieurs centaines de bar et d'accélération de l'évolution des phénomènes par élévation de la température. Il apparaît que les matériaux en PEhd et polypropylène ont respectivement des durées de vie estimées de 100 ans et 200 ans.

1.4.2 Comportement à long terme de quelques types de membranes

Le bulletin de la Commission internationale des grands barrages, dans sa synthèse sur le comportement à long terme des membranes [5], présente des conclusions identiques à quelques additions près faites pour le PEbd. On peut les résumer comme suit.

Le vieillissement d'une géomembrane est la détérioration progressive de ses caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques sous l'action des conditions courantes de son environnement :

- eau et sol en contact ;
- rayonnement ;
- gaz (ozone) ;
- chaleur ;
- gel ;
- micro-organismes ;
- produits stockés : eau éventuellement polluée par des hydrocarbures, détergents et lixiviats.

Par ailleurs, une sollicitation mécanique prolongée accélère en général le vieillissement.

Le comportement de longue durée dépend des caractéristiques de la géomembrane et de ses constituants et notamment de la présence de polymères, d'impuretés, d'adjuvants, d'un renforcement mécanique, ainsi que des modalités d'assemblage et de protection.

■ Géomembranes bitumineuses

Elles sont très stables à l'exposition aux rayons ultraviolets (UV) et résistent bien aux agressions par pollution chimique accidentelle du plan d'eau, à l'exception des hydrocarbures et des solvants organiques.

Non protégées, elles ont parfois tendance à se craqueler, du moins en surface, mais sans conséquence importante.

■ Polychlorure de vinyle (PVC)

L'exposition à la chaleur accélère la perte de plastifiant des géomembranes en PVC. Ce phénomène amène une rigidification du produit, variable suivant les plastifiants utilisés.

Les produits traités en usine contre les rayons ultraviolets se comportent relativement bien à l'exposition au soleil.

Le comportement à long terme face à des solutions salines, acides ou à des hydrocarbures est satisfaisant, malgré des baisses de caractéristiques chimiques et mécaniques observées.

■ Polyéthylène haute densité (PEhd)

Ce polymère est remarquablement stable chimiquement face aux sollicitations de la chaleur, des rayons ultraviolets et des produits chimiques. Une certaine rigidité et un important coefficient de dilatation thermique handicapent toutefois les géomembranes en PEhd (tendance à se plisser).

■ Polyéthylène basse densité (PEbd)

Ce polyéthylène a une inertie chimique un peu moins universelle que le PEhd, mais sa grande souplesse plastique associée à un domaine réduit de déformation élastique en fait un produit plus efficace que le PEhd lorsque des grands tassements sont à craindre.

■ Polyéthylène chlorosulfoné (PE-C-S)

Le PE-C-S, communément appelé *Hypalon*, présente les mêmes garanties de vieillissement que le PEhd, mais les réparations deviennent difficiles dans le temps.

■ Polyéthylène chloré (PE-C)

Le PE-C a une bonne stabilité chimique face aux effets de la chaleur, des ultraviolets et de certains produits chimiques. Une certaine absorption d'eau se produit à haute température.

■ Butyl

Le caoutchouc butyl est détérioré lentement par l'ozone, ce phénomène s'accroissant aux endroits sous tension.

Des échantillons de géomembranes en butyl ont été prélevés après 10 ans de service dans des ouvrages réels. Une rigidification a été constatée, accentuée aux parties exposées aux intempéries.

Le butyl est par ailleurs très sensible aux hydrocarbures, même présents en faible quantité sous forme de film à la surface de l'eau.

■ L'absence de références de longue durée, tant pour le PEhd, le PEbd que pour les géocomposites, à cause de leur emploi récent, oblige à rester prudent et à ne surtout pas oublier de considérer l'ensemble des facteurs concourant à l'obtention d'une étanchéité satisfaisante qui sont :

- la facilité de pose et l'insensibilité aux phénomènes atmosphériques : humidité, température extérieure ;
- la facilité de soudure et la longueur minimale des soudures ;
- la facilité de contrôle des soudures ;
- la facilité et la qualité de correction des défauts de soudure.

Par ailleurs, de nombreux auteurs [6] soulignent que les écoulements à travers la membrane elle-même, dont la perméabilité est généralement très satisfaisante, sont négligeables par rapport à ceux qui sont dus aux défauts de fabrication, aux incidents qui interviennent lors de la pose, aux problèmes de raccord et aux joints défectueux. Il faut donc accorder la plus grande importance à tous les facteurs qui commandent la qualité de tout ce qui est raccordement et joint.

Or on doit noter que les membranes en PEhd sont plus délicates à installer que les autres. Ainsi un taux d'humidité important, ce qui est fréquent sur le site, peut provoquer la formation de microbulles lors de la soudure. Ces membranes possèdent également un coefficient de dilatation important, ce qui entraîne l'apparition de plis et de contraintes dans la nappe après la pose. Des procédures de mise en œuvre peuvent parfaitement faciliter la solution à ce genre de difficulté, en tenant compte des phases de travaux et des conditions de l'environnement. Chaque cas est à traiter de façon particulière.

Mais les aspects concernant la mise en œuvre doivent être pris en compte dès le choix de la membrane pour être intégrés dans les contraintes d'exécution et bien fixer les spécifications techniques.

2. Utilisation des membranes dans les ouvrages hydrauliques

2.1 Historique

On entend par ouvrages hydrauliques les ouvrages ayant pour fonction de conduire ou stocker les eaux claires.

Les géomembranes sont utilisées pour assurer l'étanchéité.

Les premières applications eurent lieu en 1959 en Italie pour un barrage en enrochement, Contrada Sabetta, avec une géomembrane de polyisobutylène. La hauteur de l'ouvrage était de 32,5 m. En général, cette solution a été retenue par la suite pour des ouvrages de 30 m de hauteur maximale. Elle a été employée sur un barrage de 110 m de hauteur au Portugal, mais à titre de réparation comme en France pour un barrage de 60 m de hauteur.

En 1971, on utilisait pour la première fois une membrane en polyisobutylène sur la face verticale amont d'un barrage poids en vue de sa réhabilitation. Plusieurs barrages de 70 m de hauteur furent ainsi traités. Un barrage en BCR (béton compacté au rouleau) de 20 m de hauteur fut conçu avec une étanchéité par membrane sur son parement amont en 1990.

De nombreux réservoirs et longueurs de canaux furent également étanchés avec des membranes à partir de 1970. La superficie d'un réservoir étanché a même atteint plus de 100 ha et sa profondeur 40 m.

2.2 Contraintes et dispositifs

L'utilisation des géomembranes a donc été progressive. Elle est le résultat, au départ, du besoin de réparer des masques amont de barrage en remblai.

2.2.1 Barrages

On se reportera à l'article spécialisé du présent traité.

On doit distinguer le cas des barrages en remblai, dont le problème à résoudre est analogue à ceux des canaux et bassins de rétention d'eau, du cas des barrages en béton à parement quasi vertical.

Dans les barrages en remblai (figure 1), on dispose l'étanchéité en amont, en substitution ou en complément des masques en béton qui étaient une solution très classique. Les problèmes sont :

- s'assurer d'un support dont les tassements locaux ne provoquent pas de sollicitations excessives dans la membrane ;
- protéger la membrane contre les sollicitations extérieures de toute nature, UV, oxygène, chaleur et chocs ;

- drainer la face inférieure de la membrane suivant que le corps du barrage est en matériau drainant ou non drainant ;
- tenir compte du frottement entre la membrane, sa couche support et sa protection dans le choix de la pente du talus amont.

Lorsque le remblai du barrage n'est pas drainant, on leste la membrane, c'est-à-dire en la disposant assez profondément dans la partie amont de l'ouvrage. Celui-ci est drainé par un drain cheminée (figure 1b).

Le dispositif pour les géomembranes sur talus consiste, sur une couche support bien compactée en grave béton, grave émulsion ou enrobé, à disposer un géotextile puis la géomembrane et, à nouveau, un géotextile, puis enfin la protection qui peut être faite de pavés en béton de ciment ou d'une dalle.

On attire l'attention sur les zones particulières que sont les limites géométriques de la géomembrane le long desquelles on doit réaliser le raccordement à l'étanchéité de la fondation et de la retenue. Un soin particulier doit être apporté à la conception et à l'exécution de ces raccordements, où les tassements différentiels et les contrastes de perméabilité sont autant de difficultés à surmonter. Cela implique des spécifications très détaillées et une parfaite définition de la nature et de la fréquence des contrôles.

Pour les barrages en béton ou en maçonnerie, les membranes ne sont pas protégées et sont directement accrochées au parement.

2.2.2 Réservoirs

La figure 2 montre quelques dispositions pour des réservoirs. Le choix de la solution dépend pour partie des problèmes de protection et de nature du sol support. On se référera avec profit aux recommandations du Comité français des géotextiles et géomembranes [2].

2.3 Exemples d'application

On se limitera à trois exemples, celui d'une réparation, de la réalisation d'un barrage intégrant dans sa conception une membrane, de l'application d'une membrane sur la face amont d'un barrage en BCR.

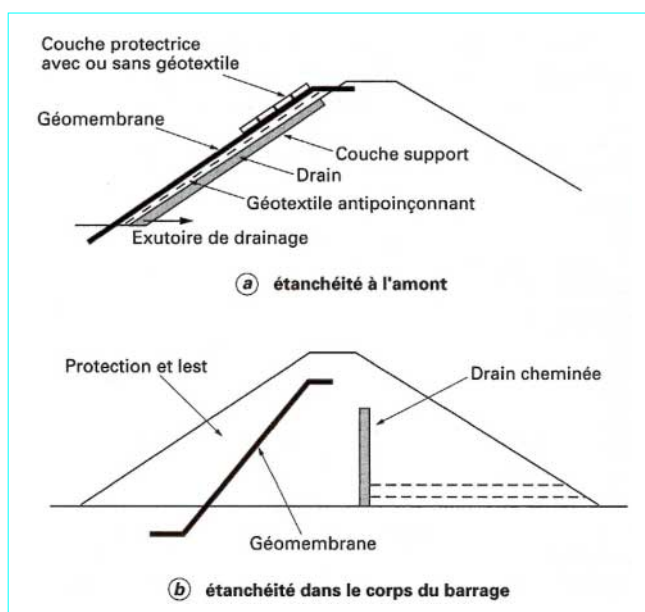


Figure 1 – Barrage en terre. Emploi d'une géomembrane

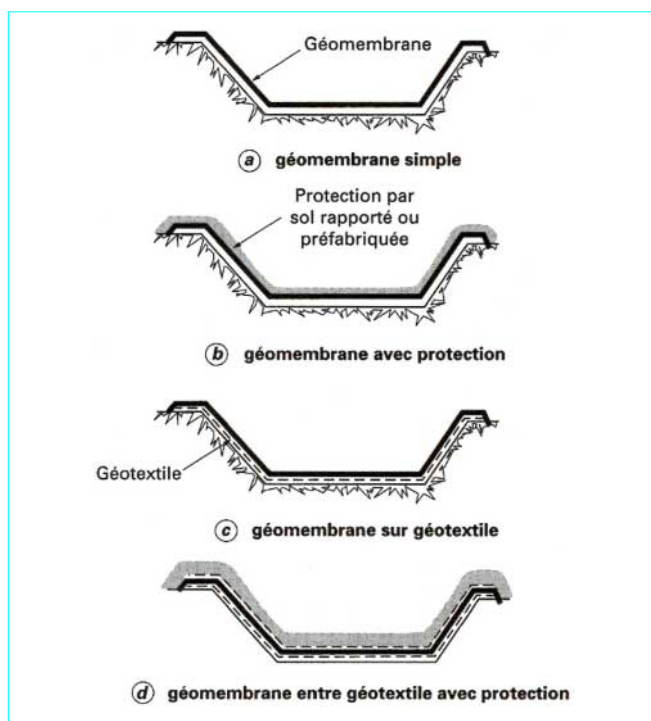


Figure 2 – Imperméabilisation de réservoir par géomembrane

■ Réparation

Le barrage du Ronchain a été construit entre 1974 et 1976 pour l'alimentation en eau de la ville de Roanne. C'est un barrage en enrochement à masque amont en béton de 60 m de hauteur. Dès sa mise en eau, il a présenté des fuites importantes supérieures à 200 L/s, la retenue étant à mi-hauteur du barrage. Après vidange et inspection de la face amont, diverses fissures furent mises en évidence. Le talus amont a une pente égale à 1,4/1. Il a été décidé de procéder à la mise en place d'étanchéité locale autour de la prise d'eau et d'une étanchéité d'ensemble par une membrane Rodimper[®]. Celle-ci est constituée par un textile non tissé imprégné *in situ* par un mélange à base de latex de *Néoprène*, d'une émulsion bitumineuse et d'un monomère acrylique. La membrane devient imperméable lorsque le monomère polymérise. À sec, la membrane exposée à l'air durcit et acquiert une résistance plus élevée à l'abrasion. Au contact de l'eau, elle gonfle et devient collante, ce qui permet de colmater les microfissures, d'absorber les déplacements de la structure. Par ailleurs, les travaux d'entretien par collage sont très faciles.

Après réparation et renforcement en quelques points, les fuites à réservoir plein ne dépassèrent plus 13 L/s (1984).

■ Étanchéité amont d'un barrage en enrochement

Le barrage en enrochement de Mauriac réalisé en 1989 a été étanché au moyen d'une membrane bitumineuse Colétanche NTP2[®]. On rappelle qu'il s'agit d'une géomembrane réalisée en usine par imprégnation par du bitume, à cœur et en surface, d'un géotextile non tissé. Elle est posée sur une grave émulsion, recouverte d'un géotextile antipoinçonnant.

Elle n'est protégée que dans la zone de marnage par des pavés préfabriqués liés par un câble en acier inoxydable ancré ou en tête du barrage.

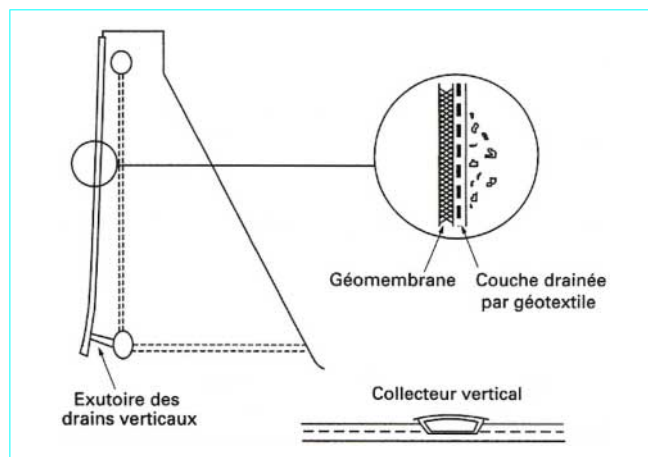


Figure 3 – Imperméabilisation de la face amont d'un barrage en béton

■ Étanchéité d'un barrage en BCR

Dans le cadre d'une solution technique dissociant la fonction étanchéité de la fonction résistance à la poussée de l'eau, on a posé sur la face amont verticale du barrage du Riou, réalisé en béton compacté au rouleau (BCR), une peau d'étanchéité en PVC de 2 à 2,5 mm d'épaisseur. Accolée par thermosoudage à un géotextile aiguilleté non tissé, cette peau est tendue entre des profils spéciaux qui assurent le rôle de drains verticaux jusqu'au pied de l'ouvrage, la hauteur maximale du barrage étant de 26 m au-dessus des fondations (figure 3).

3. Utilisation des géomembranes dans l'environnement

3.1 Finalité et cadre législatif

À cause de leurs qualités d'imperméabilité, de résistances chimique et mécanique, de facilité de mise en place et de coût, les géomembranes en PEhd ou PEbd, en particulier, sont apparues depuis les années 80 comme une solution bien adaptée pour réaliser un écran permettant d'isoler des effluents ou des déchets qui sont à l'origine de pollution des nappes et des terrains aquifères. Mais cet écran peut aussi être disposé entre le milieu naturel et des ouvrages comme une route ou des installations portuaires qui, sans être *a priori* polluées, peuvent constituer l'entrée ou être le vecteur d'une pollution vers le milieu environnant.

La protection de l'environnement a fait l'objet de dispositions législatives. Il est bon de savoir que celles-ci évoluent. Elles conditionnent les pratiques et la mise en œuvre des matériaux utilisés. Cette législation s'inscrit dans le cadre de la politique européenne.

Elle concerne tout particulièrement les décharges parmi lesquelles on distingue celles de classe I pour le stockage des déchets industriels, de classe II pour les déchets ménagers, de classe III pour les déchets inertes.

Les dernières dispositions prévoient que ne seront mis en stockage, à partir de 2002, que des déchets dits ultimes. On en trouve le détail dans la loi du 13 juillet 1992 et le décret du 2 février 1993 [7].

3.2 Décharges ou centres d'enfouissement techniques

3.2.1 Conception générale

Afin de limiter au maximum la migration des polluants, un centre d'enfouissement technique se doit de constituer un site étanche, dont le schéma est celui représenté figure 4.

La couverture a pour rôle d'empêcher les infiltrations d'eau de pluie dans les déchets et de ne laisser sortir les gaz formés qu'en des points choisis.

La barrière doit arrêter ou tout au moins retarder au maximum la migration des polluants dans le sol et, s'il y a lieu, dans la nappe phréatique, située sous la décharge.

D'autre part, des systèmes de drainage doivent collecter :

- les eaux infiltrées pendant l'exploitation et les lixiviats afin de les amener à un centre d'épuration où ils seront traités ;
- les eaux de ruissellement sur la couverture ;
- les gaz dégagés.

À l'intérieur de la couverture et de la barrière, il est possible, voire obligatoire dans certains pays, d'utiliser des géomembranes. C'est donc sous l'angle de l'utilisation de ce produit que l'on va sommairement examiner les différentes barrières en fond et couverture d'une décharge.

3.2.2 Stabilité

Une décharge est désormais considérée comme un ouvrage de génie civil à part entière dans lequel l'hydrogéologie joue un grand rôle. Mais l'élaboration du projet et l'examen de son comportement en exploitation demandent aussi la coopération d'autres disciplines comme la chimie des sols, l'ingénierie chimique, la microbiologie.

Une attention toute particulière doit être portée sur les problèmes de stabilité que posent la géométrie du site (la recherche d'un plus grand volume utile conduit à des pentes importantes) et les mouvements ultérieurs des déchets (notamment les phénomènes de reptation) qui ne se comportent pas comme un bloc solidaire.

L'ancrage du dispositif d'étanchéité et la fermeture du site sont également délicats sur tous ces points. Il apparaît ainsi qu'une face rugueuse entraîne un meilleur contact avec la couche de forme, ou qu'un géotextile non tissé lié à un géoespaceur réduit les mouvements entre géoespaceur et géomembrane rugueuse, augmentant la stabilité de l'ensemble.

Une méthode très utilisée consiste à introduire une géogrille à laquelle on solidarise la membrane.

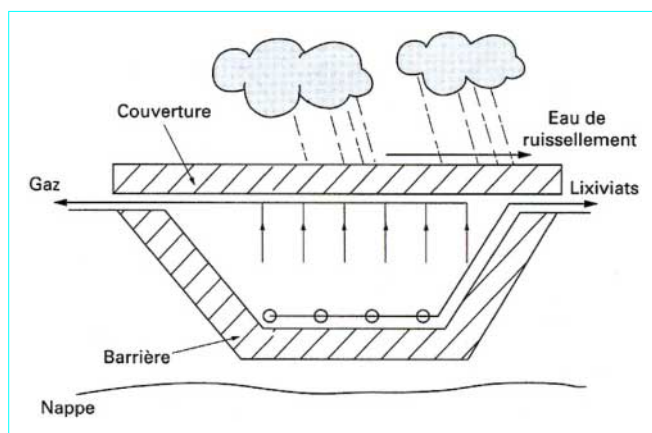


Figure 4 – Disposition générale d'une décharge

Dans certains pays, les pentes dans les décharges sont limitées à 20°, et l'on utilise des géomembranes lisses, car on considère que ce n'est pas aux géomembranes de reprendre les efforts et d'être ancrées en conséquence.

3.2.3 Étanchéité

■ Fond de décharge

La membrane n'est qu'un élément du concept d'étanchéité qui sera fonction de la nature du terrain encaissant, des risques hydrogéologiques qui en résultent, eux-mêmes fonction des déchets stockés.

On parlera d'étanchéité composite lorsque deux étanchéités sont juxtaposées (exemple : membrane PEhd sur couche d'argile) et de double étanchéité lorsque les deux barrières étanches sont séparées par une couche drainante.

Certains États aux États-Unis imposent désormais une double étanchéité composite en fond de décharge de classe I. La figure 5 montre les dispositions possibles et les différentes sécurités dont on peut disposer.

Il faut bien comprendre qu'étanchéité et drainage relèvent d'une même stratégie qui cherche à éviter que des effluents nocifs atteignent la nappe. On parlera de **barrière passive** pour la géomembrane et l'argile, et de **barrière active** pour la couche drainante. Elles sont en fait indissociables dans leur fonctionnement, comme cela est le cas dans les barrages où injection et drainage sont toujours associés.

Le drainage se présente comme un ultime recours contre la défaillance de la barrière imperméable.

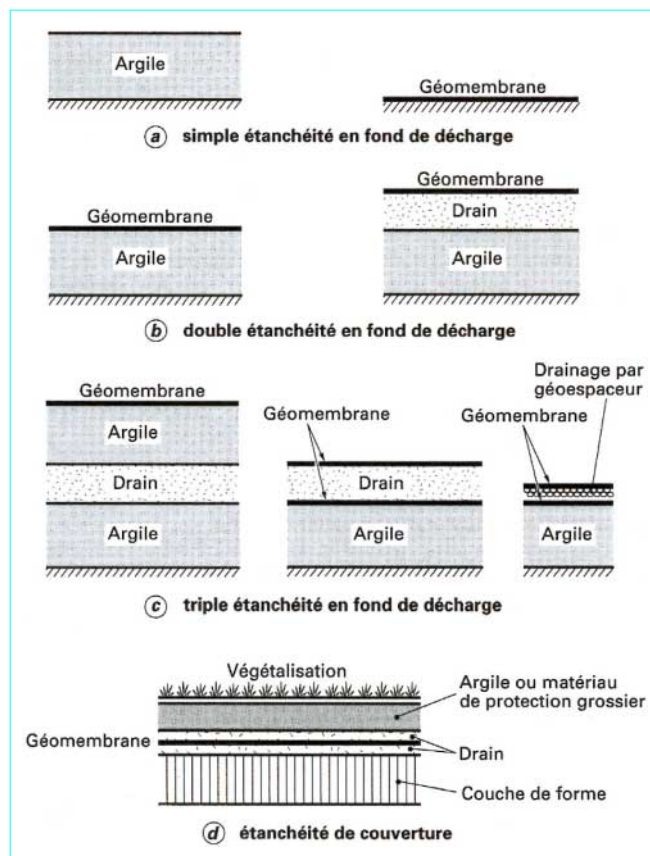


Figure 5 – Différentes combinaisons et structures d'étanchéité en fond et couverture de décharge

■ Couverture de décharge

La couverture joue un rôle fondamental en protégeant le stockage contre les eaux de pluies. Les données techniques sont un peu différentes de celles prévalant pour la barrière étanche en fond de décharge. Les agressions chimiques sont bien moins fortes qu'en fond de décharge. L'état de contrainte est plus faible, mais les déformations résultant de tassement des produits stockés peuvent être plus importantes et surtout localisées. L'utilisation de matériaux argileux se heurte au problème de la variation hygrométrique. Une géomembrane pourra être une solution, mais elle sera associée à une couverture de protection plus ou moins imperméable sur sa face supérieure (figure 5d). Elle peut être drainée sur sa face supérieure. Elle sera drainée sous sa face inférieure.

■ Réhabilitation

Une réhabilitation de décharge consiste, au plan de l'utilisation de membranes en général, à mettre en place une couverture étanche là où ce qui existait était insuffisant. On en profite en même temps pour reprofiler la surface à couvrir et pour faciliter le ruissellement de surface. On supprime ainsi une cause importante de pollution, le lessivage des déchets. Plus encore que sur les autres sites de décharges conçues et exploitées de façon rationnelle, les conséquences de déformations locales possibles sont importantes sur la couverture projetée.

3.2.4 Évolution

Les tendances dans la conception des nouvelles décharges vont d'une part dans le sens de l'inertage des déchets par différents procédés (cf. article *Gestion et traitement des déchets* [C 4 260], dans ce traité), et d'autre part dans la mise en place de plusieurs barrières actives et passives, en vue d'une sécurité toujours plus grande.

De nombreux essais ou opérations d'autopsie de DEG ont été conduits pendant les dernières années pour définir la meilleure structure d'une étanchéité de fond. Il en est de même pour les couvertures.

Les conclusions qui ont été tirées de toutes ces expériences se sont traduites par des recommandations d'ordre réglementaire, dont le niveau d'exigence varie en fonction des pays, mais toujours en augmentant.

Les études auxquelles il a été fait référence dans le paragraphe 1.4.2 ainsi que de nombreuses constatations montrent qu'il est illusoire d'espérer avoir des barrières absolument étanches. Aussi la tendance est-elle de combiner les avantages des matériaux artificiels comme les membranes avec les matériaux naturels tels que l'argile en place ou rapportée et de se servir du drainage pour pallier leur faiblesse à chacun. Ce dernier joue un rôle particulièrement important.

La figure 6 présente les recommandations américaines et allemandes. Elle montre que la géomembrane n'est qu'un élément de la structure retenue pour répondre au problème posé, mais que la solution choisie est différente.

En matière de couverture, la règle est aussi d'associer matériaux naturel et artificiel. La figure 7 montre le concept utilisé dans la couverture d'un stockage de déchets faiblement radioactifs exécuté en France pour l'ANDRA (Agence Nationale des Déchets Radioactifs).

Le concept de la couverture combine un matériau naturel, qui est un schiste à granulométrie continue relativement imperméable (10^{-8} m/s au minimum) avec une membrane bitumineuse, drainée en surface pour faciliter l'écoulement des infiltrations à travers le schiste. La membrane est drainée sous sa face inférieure par un matériau reposant sur la couche de forme constituée par du schiste.

Cette couverture devait être étanche, présenter une pérennité de 300 ans, résister aux agressions autres que celles dues à l'infiltration : érosion, température, chimie des eaux, animaux fouisseurs. Un rechargement par une épaisseur de 1,5 m d'argile est prévu si l'évolution de la couverture à terme le rend nécessaire.

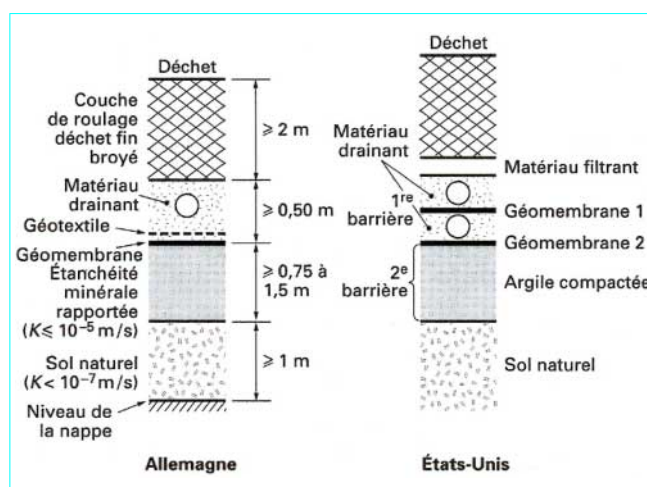


Figure 6 – Extraits de Recommandations pour des étanchéités en fond de décharge

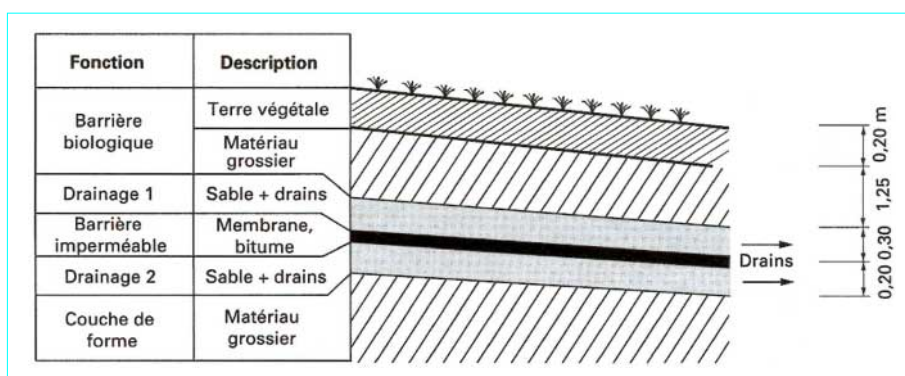


Figure 7 – Couverture du Centre de stockage de la Manche (ANDRA)

La protection est garantie par la végétalisation et le schiste (couverture biologique). L'étanchéité est assurée partie par le schiste et partie par la membrane bitumineuse. La pérennité est fonction du bitume dans la membrane. Le drain sous membrane sert à contrôler l'efficacité du dispositif et, en dernier ressort, à récupérer les fuites sous membrane.

La mise en place des composants de la couverture a fait l'objet d'un contrôle extrêmement rigoureux. La totalité des soudures de la membrane a été contrôlée aux ultrasons. La géométrie de la couverture est telle que l'écoulement se fait à l'intérieur de panneaux de 5 000 m² de surface unitaire.

Deux panneaux sont auscultés de façon très poussée en utilisant les pratiques des spécialistes de drainage afin de bien connaître les conditions exactes de l'écoulement sur, ou à travers, la couverture à partir de bilan hydrique.

3.3 Bassins pour le stockage d'effluents industriels

Il s'agit de bassins destinés à retenir un certain temps des liquides chargés en vue de leur décantation et d'abaisser leur degré de pollution par lagunage. Cela concerne aussi les bassins destinés à retenir une pollution accidentelle (sortie d'égouts ou cuve de rétention autour de stockage de produits dangereux).

Dans les deux cas les géomembranes répondent au souci de réaliser une étanchéité maximale.

On peut se contenter d'un revêtement par une géomembrane en PEhd posé sur un géotextile drainé ou non en fonction de la perméabilité du terrain sous-jacent et du niveau de la nappe.

Le problème du drainage si nécessaire du terrain dans lequel est réalisé le bassin est un point important qui mérite une attention particulière. Celle-ci s'imposera d'autant plus que les effluents posent problème pour la pollution qu'ils peuvent entraîner. Des fuites étant toujours possibles, il est indispensable de pouvoir les collecter afin de ne pas polluer les terrains encaissants, qu'ils soient perméables ou non et quelles que soient l'épaisseur de la nappe et sa vitesse de circulation. Le système de drainage tient lieu par ailleurs de système de mesure et d'alerte mais, en plus du système de drainage d'effluents liquides, on devra ne pas oublier de mettre un système de drainage de gaz. Des dégagements gazeux peuvent être limités aux variations du volume d'air se trouvant au-dessus de la nappe lorsque celle-ci monte par exemple. Mais ce peut être le résultat d'une pollution du sol sous le bassin préexistante à la réalisation ou résultant de la nature d'effluents stockés aujourd'hui. L'épaisseur des drains devra tenir compte des conditions de circulation et de débit des gaz et des liquides.

On constate donc que, suivant la nature des effluents, la fréquence et la durée de remplissage du bassin, on peut dans des cas extrêmes être amené à une double étanchéité encadrant une barrière active constituée par un drain comme dans une décharge.

On aura également la possibilité d'intégrer une géomembrane à une structure en béton. Celle-ci sera collée ou posée lors du bétonnage contre le coffrage et adhèrera au béton au moyen de crampons solidaires de sa face inférieure réalisés lors de l'extrusion de la membrane (figure 8).

3.4 Autres emplois pour la protection de l'environnement

Cela concerne toutes les applications dans lesquelles les géomembranes sont utilisées pour constituer un écran qui coupe un écoulement qui peut être potentiellement dangereux. Il faut qu'un drainage associé conduise l'écoulement en un endroit où l'on puisse le stocker pour neutraliser sa pollution.

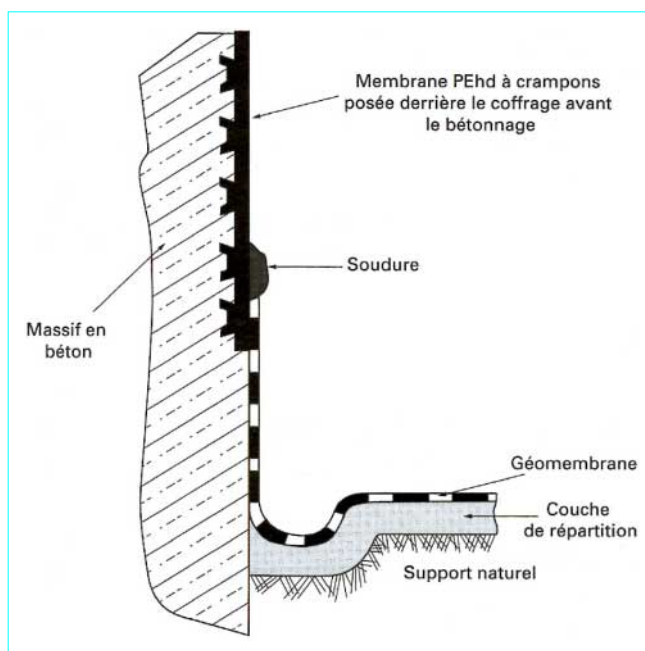


Figure 8 – Exemple de membrane pour la protection du béton et de raccordement à une deuxième membrane posée sur un support différent

On peut, dans cet esprit, imaginer disposer en fondation d'installations industrielles des écrans continus horizontaux avec une géométrie telle que toute percolation verticale soit ramenée en quelques points seulement. Ces écrans seront conçus avec des drainages au-dessus pour récupérer les infiltrations. Sous l'écran, le drainage servira de système de détection de fuite. Si l'on recherche une protection maximale, on pourra disposer une barrière étanche sous ce drainage.

Des membranes sont aussi utilisées pour assurer une étanchéité maximale dans des parois moulées exécutées pour confiner des terres polluées. Les membranes sont disposées en feuilles avec des serrures, comme les palanches métalliques, pour assurer la continuité de l'étanchéité.

4. Utilisation des géomembranes pour l'étanchéité

Il s'agit ici des applications des géomembranes à l'étanchéité des tunnels, cuvelages et terrasses de bâtiments.

On peut envelopper tout ou partie de la surface extérieure d'ouvrages souterrains suivant les conditions hydrauliques environnantes.

La figure 9 montre la disposition à respecter pour étancher un tunnel sans pression permanente. On peut imaginer un étanchement autour de l'ensemble du tunnel quand celui-ci est sous la nappe. On peut ainsi étancher des ouvrages réalisés en tranchées ouvertes.

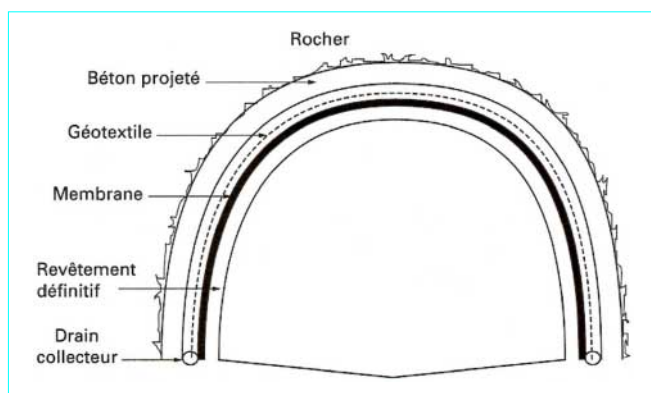


Figure 9 – Étanchement d'un tunnel par géomembrane. Revêtement partiel

5. Mise en œuvre

5.1 Généralités

Les indications qui vont suivre ne traitent pas le problème de la mise en place de façon exhaustive. Elles ont pour but d'attirer l'attention sur le soin qu'il faut apporter à la conception des dispositions de détail et aux conditions à observer pour que la mise en place proprement dite n'aille pas à l'encontre des dispositions prévues. Pour plus de détails on se référera aux recommandations et ouvrages déjà cités et aux références données dans la bibliographie.

D'une façon générale, toutes les déficiences notées en cours d'exploitation trouvent leur origine dans les points singuliers. On distinguera :

- sur l'ensemble de la surface d'une des géomembranes :
 - les irrégularités de la surface support,
 - les joints entre lés,
 - les points multiples dus à l'intersection de joints entre lés ;
- aux limites de la surface recouverte :
 - l'ancrage en pied ou en tête avec le raccordement ou non à un horizon étanche ou à une structure étanche comme une paroi et d'une façon générale à une zone déformable,
 - les raccordements à des massifs ou zones beaucoup plus raides que la surface recouverte ;
- les points singuliers proprement dits :
 - les traversées de la membrane par une canalisation d'amenée d'effluent ou une prise pour vidange, par exemple.

5.2 Surface courante

La qualité d'une étanchéité par géomembrane est pour partie fonction de celle de la couche sur laquelle elle repose. La surface support devra être compactée (en général à 95 % de l'optimum Proctor standard, cf. rubrique *Terrassements* dans ce traité) et le matériau constitutif sera d'une nature telle qu'elle ne présentera pas d'irrégularité propre à endommager la membrane. Malgré ces précautions, qui peuvent exiger l'apport d'un matériau spécial, un géotextile protecteur peut être interposé entre la membrane et la surface qui la reçoit.

Les joints entre lés ont un recouvrement dont la largeur est fonction de la nature de la géomembrane et de la technique d'assemblage utilisée : collage, soudure avec ou sans matériau d'apport. Ce recouvrement aura une largeur supérieure à la largeur effective d'assemblage.

Ces procédés exigent, pour être efficaces, d'être exécutés en l'absence de pluie ou d'eau, de neige, de boue, de vent violent et de températures extrêmes.

On fera attention aux assemblages multiples et aux intersections de lés. On ne tolérera pas plus de 3 épaisseurs ou éléments. Les couvre-joints peuvent être acceptés, en particulier pour les réparations.

On notera que le procédé de liaison entre deux lés ne doit pas endommager le géotextile ou le géoespaceur sous-jacent.

Un contrôle de la qualité des joints doit être réalisé. Il concernera la totalité de leur surface. Les méthodes employées vont depuis la vérification sommaire de la continuité avec une règle ou un tournevis jusqu'à l'emploi d'un détecteur à ultrasons de vide ou d'inclusions entre les parties à coller. On peut alors détecter des vides ou inclusions de 5 mm² de surface.

Une méthode courante mais globale consiste à laisser un espace non soudé dans le joint. Le volume correspondant est rempli d'eau colorée ou d'air et mis sous pression sur la longueur d'un lé pour repérer les fuites éventuelles.

Toute réparation faite par soudure ou collage par apport d'un élément de membrane doit être soigneusement contrôlé à nouveau.

Le plan de calepinage s'impose enfin pour avoir une parfaite maîtrise de la disposition de la géomembrane. Aucune improvisation ne doit être tolérée.

5.3 Limites de la surface recouverte

Au cours de la mise en place, on devra lester convenablement la membrane par des sacs de sable ou des blocs de béton de façon qu'elle ne soit pas soulevée et endommagée par des rafales de vent.

L'ancrage en pied ou en tête suivant son emploi et sa disposition se fait après assemblage et mise en place de la protection de la surface s'il y a lieu. On doit éviter de créer des tractions dans la membrane. L'ancrage sera réalisé au moyen d'une tranchée ou par simple lestage.

Lorsqu'une géomembrane est employée pour recouvrir un talus, on évitera tout joint parallèle aux lignes de niveau. Des solutions avec risberme, avec tranchée ou lestage sont possibles si cela est absolument nécessaire.

La figure 10 montre des dispositifs utilisés pour raccorder des géomembranes à des niveaux ou des éléments étanches.

Lorsque la géomembrane doit se raccorder à un massif en béton, un dispositif spécial de raccordement de la géomembrane doit être prévu. Il consiste en un système de réglets serrant la membrane entre des bandes compressibles étanches pour le PEhd, ou sur un enduit pour une membrane bitumeuse. Le réglest est fixé et appuyé au moyen de chevilles espacées tous les 30 cm.

La transition entre le remblai compressible sur lequel est posée la géomembrane et le massif en béton doit faire l'objet d'un traitement spécial. Si la différence de compressibilité n'est pas atténuée à l'interposition d'un matériau, de raideur et/ou de géométrie variable, une déformation différentielle trop localisée peut provoquer une rupture de l'étanchéité que constitue la membrane (figure 8).

5.4 Points singuliers

Il s'agit de toutes les traversées de la géomembrane par des canalisations. Par exemple, la figure 11 donne deux solutions pour assurer une traversée en limitant les risques inhérents à toute singularité. On n'oubliera pas dans cette énumération toutes les irrégularités ponctuelles résultant de points durs liés à l'existence de structures sous-jacentes, en général préexistantes à l'emploi ultérieur de géomembrane.

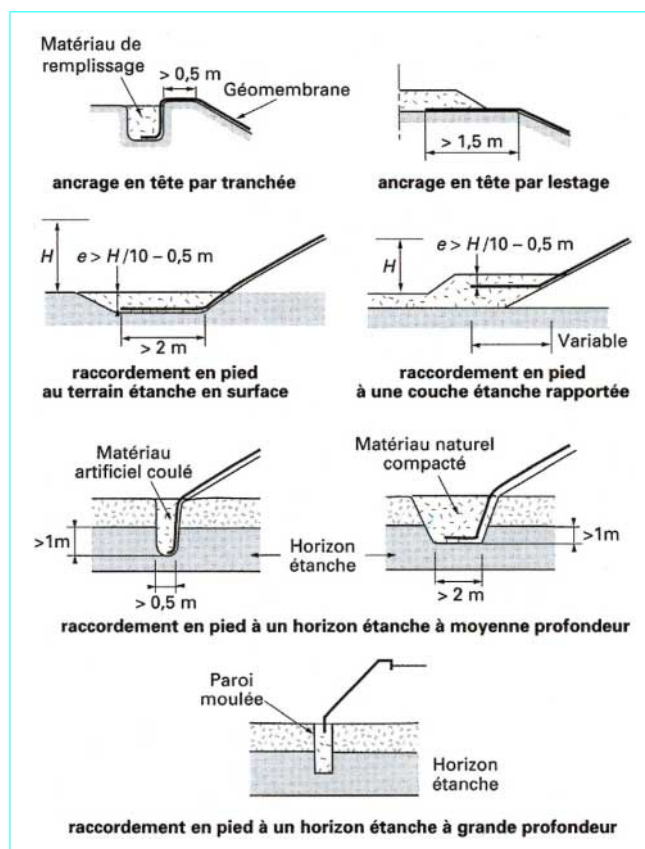


Figure 10 - Principes des dispositions des géomembranes aux limites de la surface traitée

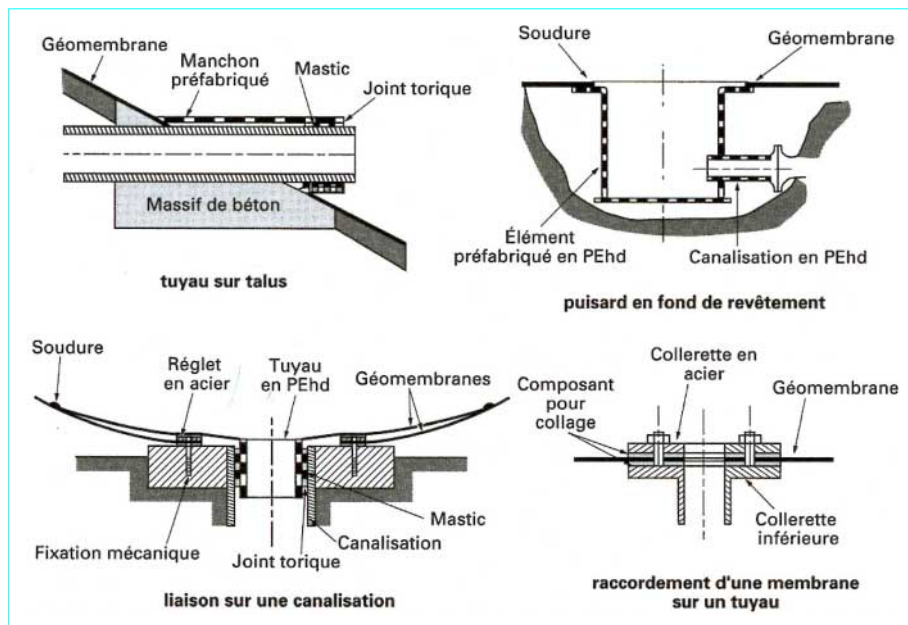


Figure 11 - Raccordements sur des points singuliers (d'après [3])

6. Normalisation, essais et contrôle

L'emploi de produits industriels fabriqués en grande quantité exige que ceux-ci répondent à une normalisation bien définie tant au plan des composants qu'à celui de leurs caractéristiques. La conception des ouvrages doit être élaborée avec des produits parfaitement connus. Les contrôles doivent être exécutés en référence à des normes acceptées par le plus grand nombre.

Une évolution est en cours vers une normalisation européenne. En attendant, les normes AFNOR, DIN, ASTM et ISO servent de référence.

Pour chaque produit, **le fournisseur devra indiquer les caractéristiques suivantes**, avec la norme de référence, les spécifications et leurs tolérances, ainsi que la fréquence des contrôles :

- épaisseur ;
- masse volumique ;
- indice de fusion et conditions ;
- résistance en traction :
 - à la rupture, allongement,
 - à la limite élastique, allongement ;
- résistance à la déchirure amorcée ;
- poinçonnement ;
- résistance à la fissuration sous contrainte et conditions ;
- stabilité thermique ;
- aspect visuel, superficie, homogénéité ;
- teneur en noir de carbone ;
- dispersion du noir de carbone.

Dans le cadre de l'assurance qualité de l'ensemble de l'opération de réalisation d'une étanchéité par géomembrane, le plan d'assurance qualité du fournisseur devra être porté à la connaissance du maître de l'ouvrage. Des contrôles externes devront être faits en cours de fabrication. Outre tout ce qui est relatif à la fabrication, ce plan devra traiter de la partie stockage et transport.

On a déjà souligné l'importance de la pose dans la réussite de l'obtention d'une étanchéité satisfaisante. La maîtrise de la qualité passe par l'établissement d'un **plan d'assurance qualité** de

l'entreprise de pose et, de toute façon, de l'entreprise générale, afin que toutes les interfaces aient bien été prises en compte.

Le plan qualité relatif à la seule pose devra comprendre :

- la procédure de réception du support ;
- la procédure de manutention et stockage des rouleaux de géomembranes ;
- la procédure de pose avec plan de calepinage indiquant l'ordre de la pose ;
- la procédure de contrôle interne destructif et non destructif, nombre d'essais, performances minimales à respecter ;
- la procédure de traitement de non-conformité ;
- la procédure de mise à jour du plan de calepinage ;
- la procédure d'émission, transmission, fréquence des différents documents ;
- la procédure de synthèse des incidents et modifications en vue de la gestion de l'ouvrage.

Le respect des procédures qui résultent de la volonté de maîtrise de la qualité se traduit par une augmentation du coût de la pose qui peut atteindre, pour des ouvrages complexes ou délicats, 20 % du prix de la membrane et donc plusieurs pour-cent du prix du dispositif d'étanchéité.

On ne peut donc juger de l'intérêt de l'emploi de telle ou telle géomembrane qu'en fonction des exigences de qualité pour sa pose, du degré de la certitude de les satisfaire et de l'estimation de leur coût. Il ne faut pas dissocier la fourniture de la géomembrane de sa pose.

Le coût des géomembranes les plus courantes, pose incluse, y compris toutes les sujétions et suivant les natures de celles-ci varie de 60 à 150 F par mètre carré (1995). Cela ne tient pas compte du coût de la couche support et de la couche de protection.

On terminera sur un dernier aspect de la réalisation des ouvrages auxquels les géomembranes apportent un élément essentiel de leur sécurité. Il s'agit de l'auscultation, c'est-à-dire de l'ensemble du dispositif de contrôle du bon fonctionnement de l'ouvrage.

Au regard du rôle des membranes, il s'agira de tous les moyens de détection des fuites et des mesures de débit de pollution. Les dispositifs correspondants sont installés à la sortie des systèmes de drainage des membranes et dans la nappe. Ils consistent, dans le premier cas, en mesure de débit, dans le second cas, en des piézomètres permettant des prélèvements pour analyse.

Géomembranes

Utilisation en génie civil

par **Jean-Louis BORDES**

*Ingénieur de l'École Centrale de Paris
Expert, Coyne et Bellier*

Bibliographie

- [1] *Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets.* Comité français des géotextiles et géomembranes. Fascicule en préparation.
- [2] *Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes.* Comité français des géotextiles et géomembranes. Fascicule n° 10 (1991).
- [3] KOERNER (R.). – *Designing with geosynthetics.* Prentice Hall, Englewoods, New Jersey (1990).
- [4] DANIEL (D.E.). – *Geosynthetic clay liners.* Waste Geotechnics, déc. 1991.
- [5] *Étanchéité des barrages par géomembranes, technique actuelle.* Commission Internationale des Grands Barrages. Bulletin 78, Paris (1991).
- [6] GIROUD (J.P.) et BONAPARTE (R.). – *Leakage through liners constructed with geomembranes.* Geotextiles and Geomembranes. Vol. 8 (1989).
- [7] *Code Permanent Environnement et Nuisances.* Éditions Législatives (mise à jour permanente).

Pour en savoir plus, on consultera :

- les comptes rendus des congrès internationaux sur les géotextiles et géomembranes, Paris 1977, Las Vegas 1982, Vienne 1986, La Haye 1990, Singapour 1994 ;
- la revue officielle de la Société internationale des géotextiles et géomembranes « Geotextiles and Geomembranes », publiée tous les deux mois par Elsevier, Applied Science.