

Les géomembranes

Stéphane Lambert

La protection de l'environnement, et tout particulièrement de la ressource en eau, nécessite souvent la mise en œuvre d'étanchéités fiables pour différentes sortes d'ouvrages. Qu'il s'agisse d'ouvrages de stockage d'eau ou de déchets, cette étanchéité est de plus en plus fréquemment assurée par des produits simples : les géomembranes.

Pourtant, derrière cette apparente simplicité, les géomembranes sont des produits très techniques possédant des caractéristiques particulières, que ni le prescripteur, ni l'utilisateur ne doivent ignorer.

Depuis les premières applications dans les années soixante pour des ouvrages hydrauliques, l'utilisation des géomembranes s'est progressivement étendue à la protection de l'environnement. Toutes applications confondues, 7 millions de mètres carrés de géomembranes sont posés en France chaque année. Ce chiffre croît d'environ 10 % par an. Aux niveaux européen et mondial, la tendance est aussi à la croissance. La concurrence est donc forte sur ce marché, ce qui se traduit par une baisse du coût et par une diversification de l'offre.

■ *Mais qu'est-ce qu'une géomembrane ?*

Par définition (encadré 1), les géomembranes sont des produits utilisés en génie civil dont la seule fonction est l'étanchéité. Elles sont manufacturées, avec une épaisseur minimale de 1 mm et conditionnées en rouleau de largeur supérieure à 1,5 m.

■ *Les grandes familles de géomembranes et produits apparentés*

Les géomembranes peuvent être bitumineuses ou de synthèse.

Encadré 1

Géomembrane

Selon la norme NF P 84 500, une géomembrane est un « produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche au liquide même sous les sollicitations en service ».

Dans le premier cas on utilise des bitumes oxydés ou des « bitumes polymères » (mélange homogène de bitume et de polymère). Le produit final résulte de l'enduction-imprégnation d'un géotextile (produit textile synthétique sous forme de nappe perméable) par du bitume. De plus, une armature (fibre synthétique de renforcement) apporte la résistance mécanique nécessaire.

Dans le second cas, les polymères entrant dans la composition des géomembranes sont des thermoplastiques, des élastomères ou des alliages élastomères-thermoplastiques.

Les résines thermoplastiques les plus utilisées sont le polyéthylène haute densité (PEHD), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et le polyéthylène basse densité (PEBD). Le principal polymère élastomère utilisé comme résine de base pour la fabrication des géomembranes est l'éthylène-propylène-diène-monomère (EPDM).

Les alliages élastomères thermoplastiques, très peu utilisés, sont principalement des alliages à base de PVC.

Ces produits synthétiques sont constitués de résine de base pour 30 à 98 %, d'adjuvants tels qu'anti-UV ou anti-oxydants, et parfois d'un autre polymère. Plusieurs polymères peuvent donc rentrer dans la composition d'une géomembrane.

Stéphane Lambert
Cemagref
Parc de Tourvoie
BP 121
92185 Antony
Cedex

Ainsi, les géomembranes en polypropylène sont constituées de 20 à 30 % de PP et de 70 à 80 % d'EPR (en anglais : *ethylen propylen rubber*) ; ce deuxième élément donne leur souplesse aux géomembranes en PP.

Le regroupement des géomembranes par familles est donc délicat. Cette difficulté de classification va en grandissant, puisque des polymères de plus en plus divers sont utilisés comme résine de base. La distinction entre une géomembrane PEHD et une géomembrane PEBD pose aussi un problème, car la limite entre les deux matériaux n'est pas unanimement fixée. Ces deux types de géomembranes sont des produits à base de PE, et seul leur mode de fabrication diffère, ce qui influe sur leur cristallinité et par conséquent sur leur densité.

Certains produits sont dits apparentés aux géomembranes parce qu'ils ont la même fonction d'étanchéité. C'est le cas des géosynthétiques bentonitiques (bentonite confinée par deux géotextiles) et des géofilms bentonitiques (argile collée sur un film synthétique).

■ Les ordres de grandeur des caractéristiques des géomembranes

La caractéristique fonctionnelle principale des géomembranes est l'étanchéité. Cependant, les caractéristiques dimensionnelles et les caractéristiques mécaniques doivent aussi être prises en compte pour la conception et le dimensionnement des ouvrages.

Les géomembranes ont une épaisseur comprise entre 1 et 5 mm, et une largeur variant de 1,5 à 4 mètres voire plus.

L'étanchéité du matériau est définie par mesure de la perméabilité. La perméabilité aux liquides peut être caractérisée par une mesure de flux entre les deux faces de la géomembrane sous gradient de pression. Pour l'ensemble des géomembranes actuellement commercialisées, ce flux est inférieur à 10^{-5} m³/m².jour sous 100 kPa. Pour 1 mètre d'argile de perméabilité 10^{-9} m/s, et pour la même différence de pression, ce flux est de l'ordre de 10^{-3} m³/m².jour.

Les géomembranes sont assez stables pour les températures rencontrées sur sites. Deux températures extrêmes sont prises en compte : d'une part la température de transition vitreuse, qui est la limite entre l'état vitreux, où le matériau est cas-

sant, et l'état viscoélastique, où il est souple (état « normal ») et dont la valeur doit rester inférieure à -30 °C ; d'autre part, la température de fusion des géomembranes, qui est la limite entre l'état viscoélastique et l'état fondu, doit être bien supérieure à 80 °C.

La différence de composition entre les différents types de géomembranes se traduit par des comportements mécaniques très variables. Cette variabilité est bien mise en évidence par l'essai de traction unidirectionnelle (figure 1). L'épaisseur initiale de la géomembrane n'a pas d'influence sur l'allure des courbes.

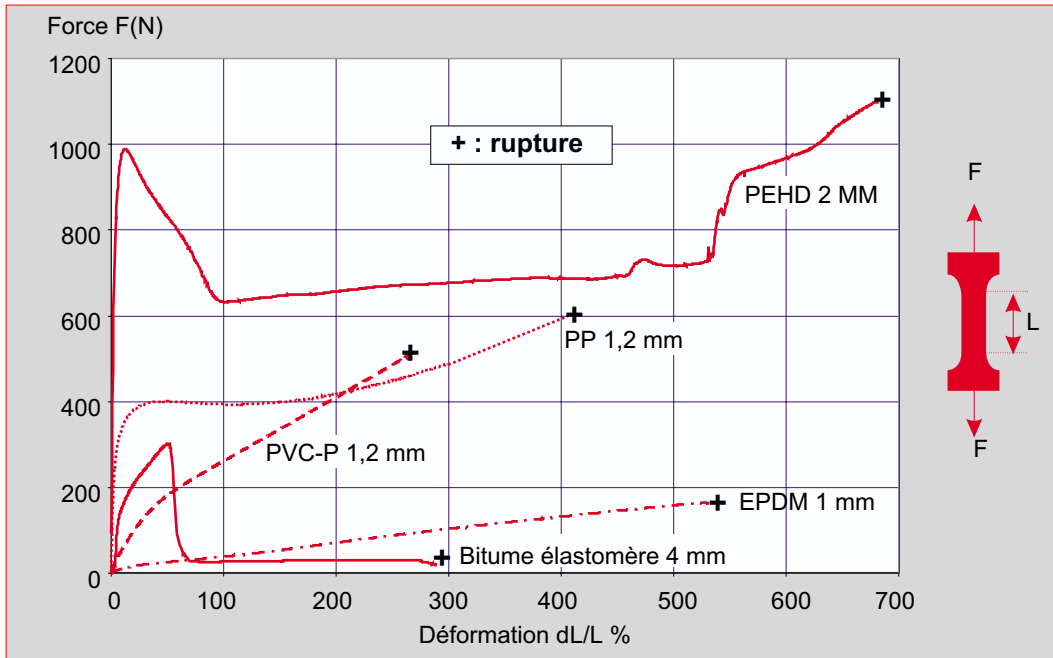
La résistance maximale à la traction unidirectionnelle varie de 8 à 50 kN/m (les éprouvettes utilisées pour l'essai ont une largeur de 25 mm). Pour une géomembrane en PEHD, la valeur maximale de cette résistance est mobilisée pour une faible déformation, alors que pour une géomembrane en PP, cette même valeur de résistance maximale est obtenue à la rupture.

Excepté pour les géomembranes en PVC-P (PVC plastifié) et bitumineuses, la rupture apparaît pour un taux très élevé de déformation (> 400 %). La rupture de la géomembrane bitumineuse correspond en fait à la rupture de sa structure de renforcement.

On constate qu'à faible déformation les géomembranes en PEHD sont les plus « raides » et, à l'inverse, les géomembranes en EPDM sont très déformables.

Pour les géomembranes thermoplastiques, ces différences de comportement reflètent surtout la variabilité du taux de cristallinité. La géomembrane PEHD est cristalline (l'arrangement des macromolécules est principalement sous forme de cristal), alors que la géomembrane en PVC-P est amorphe (absence d'ordre moléculaire).

On exploite les essais de traction pour donner les valeurs de résistance et de déformation à la rupture et à la résistance maximale. Une grande importance est généralement accordée à la résistance à la rupture qui ne peut être considérée comme une valeur fondamentale de dimensionnement, mais plutôt comme une caractéristique représentative d'un état extrême de déformation ne correspondant pas aux conditions normales et optimales d'utilisation.



◀ Figure 1. – Essais de traction unidirectionnelle sur différents types de géomembranes.

A propos des déformations limites, précisons :

– qu'une géomembrane déformée à plus de 100 % est plus sensible aux perforations et qu'elle peut ne plus être étanche ;

– qu'une géomembrane soumise à une contrainte de traction peut être sensible aux effets de « *stress-cracking* » (fissuration sous contrainte), qui, sous certaines conditions chimiques, entraîne sa fissuration ;

– qu'une grande déformation est donc fortement défavorable à l'efficacité et à la durabilité des géomembranes. Elles doivent donc être le moins possible sollicitées en traction.

Les possibilités de déformation indiquées par les caractéristiques à la traction ne doivent pas intervenir dans le dimensionnement.

Toutefois, bien que la géomembrane ne soit pas à considérer comme un élément renforçant ou résistant, même sur les talus, elle doit pouvoir se déformer dans des proportions raisonnables sans rompre, pour suivre d'éventuels tassements du support par exemple. C'est sur ce point que l'essai de traction apporte des informations utiles au dimensionnement puisqu'il permet d'orienter le concepteur vers tel ou tel type de matériau, en fonction d'éléments tels que la stabilité du support. Le

concepteur doit en effet surtout prendre en compte le comportement du matériau pour obtenir un bon niveau de fiabilité avec des déformations de l'ordre de 15 à 20 %.

■ Les avantages et les inconvénients des différents types de géomembranes

Ce paragraphe présente quelques points spécifiques à chacune des familles de géomembranes les plus utilisées : géomembranes bitumineuses, PEHD, PP, PVC et EPDM. Il n'est pas exhaustif, et ne constitue qu'un outil très partiel d'aide à la sélection d'une géomembrane. En effet, chaque produit possède ses propres spécificités dues à sa composition et il est nécessaire d'effectuer l'analyse au regard des sollicitations particulières rencontrées sur l'ouvrage.

Dans la mesure où l'étanchéité des produits actuellement commercialisés n'est pas à remettre en cause, la comparaison des différents types de géomembrane s'appuie essentiellement sur la résistance physico-chimique et sur la facilité de mise en œuvre.

La résistance physico-chimique est le premier critère à prendre en compte pour s'assurer de l'adéquation entre la géomembrane et l'application. Cette résistance peut être estimée par rapport à l'action

des rayons ultra-violets (UV) (dégradation photolytique), de l'air (oxydation), de la température (dégradation thermique) et de liquides tels que l'eau, les hydrocarbures, les acides... C'est ce dernier facteur qui est le plus discriminant. Toutes les géomembranes sont sensibles, peu ou prou, à l'action des UV et de la température.

La facilité de mise en œuvre a des répercussions sur le coût de l'ouvrage et sur la qualité de la pose. En effet, une mise en œuvre facile limite le risque de défauts tels que plis ou surtensions de la géomembrane. Elle dépend de la souplesse, du coefficient de dilatation thermique et de l'aptitude au raccordement entre lés du matériau. Les géomembranes, une fois déroulées, se présentent sous forme de bandes - les lés - que l'on raccorde soit par soudage, soit par collage.

Une grande souplesse facilite le déroulement, la pose et la mise en forme le cas échéant.

Un faible coefficient de dilatation thermique limite d'une part les déformations dimensionnelles de la géomembrane, qui nuisent au bon raccordement des lés, et, d'autre part, le risque d'arrachement des ancrages dû au retrait du matériau lors de son refroidissement.

Enfin, un matériau présentant une bonne aptitude au raccordement facilitera la réalisation de joints résistants et étanches.

Les géomembranes bitumineuses (tableau 1) sont faciles à mettre en œuvre, elles présentent une bonne soudabilité. Par contre, elles résistent assez

mal à un contact prolongé avec les hydrocarbures et sont sensibles à la perforation racinaire.

Les géomembranes élastomères (EPDM) sont faciles à mettre en œuvre du fait de leur souplesse, mais leur raccordement est plutôt difficile. On manque de données sur leur résistance chimique et leur durabilité par absence de retour d'expériences en France.

Les géomembranes en PVC-P sont très faciles à mettre en œuvre et à réparer. Elles sont d'une résistance chimique limitée et se rigidifient par perte de leurs plastifiants, en présence de solvants basiques ou acides et d'hydrocarbures. Leur formulation chimique a une grande influence sur leur résistance, notamment face aux UV. Les propriétés physico-chimiques des géomembranes à base de PVC peuvent donc être très variables.

Les géomembranes en PEHD présentent une grande inertie vis-à-vis de nombreux produits chimiques. Elles sont cependant délicates à mettre en œuvre du fait de leur manque de souplesse, de leur forte dilatation thermique, et de la technicité de leur raccordement. De plus, elles sont sensibles au phénomène de fissuration sous contrainte.

Les géomembranes en PP sont d'utilisation assez récente et les recherches sur les propriétés de ce matériau sont en cours. Selon leurs producteurs, elles doivent allier la souplesse des géomembranes PVC-P et la bonne résistance chimique des géomembranes PEHD. La souplesse de ces produits est confirmée, mais leur résistance chimique fait encore l'objet d'études.

L'analyse de ces points propres à chaque famille de matériaux (encadré 2) permet de faire la distinction entre, d'une part, des matériaux faciles à mettre en œuvre mais ayant des faiblesses au niveau de l'inertie chimique (PVC-P, EPDM, bitumineuses) et, d'autre part, des produits relativement inertes chimiquement mais de mise en œuvre difficile (PEHD). Ces propriétés définissent des domaines d'utilisation pour les différents types de géomembranes. Ainsi, lorsque les contraintes d'ordre chimique sont très importantes, on préférera une géomembrane en PEHD. Si ce n'est le cas, ou si l'ouvrage nécessite un matériau souple, on préférera un des autres types de matériaux.

Actuellement, la durabilité des géomembranes ne peut être appréciée précisément. En effet, les étu-

Tableau 1. – Principaux points forts et points faibles des différents types de géomembranes.

	Points forts	Points faibles
Bitumineuse	Soudabilité	Sensibilité aux hydrocarbures et à la perforation racinaire
EPDM	Souplesse	Durabilité ?
PVC-P	Mise en œuvre	Sensibilité aux hydrocarbures et aux solvants acides ou basiques
PEHD	Inertie chimique	Mise en œuvre délicate
PP	Souplesse Inertie chimique ?	A l'étude

des sur ce point essentiel sont longues et on manque pour l'instant de résultats d'expériences, en laboratoire ou sur site. Le vieillissement des géomembranes est dû à de nombreux facteurs tels que la température, le rayonnement UV, les produits chimiques, et les contraintes mécaniques, dont la prédominance varie considérablement d'un ouvrage à l'autre. De plus, la résistance à ces agents vieillissants dépend à la fois du type et de la formulation (composition en polymères, adjuvants...) de la géomembrane. Or, les producteurs améliorent sans cesse leurs produits et font fréquemment évoluer cette formulation.

Il est donc très délicat de faire une généralisation par type de produit quant à la durée de vie des géomembranes. Certes de nombreux ouvrages, hydrauliques notamment, ne présentent pas de signes de désordre après plus de 20 ans de service. Quelques-uns ont cependant mis en évidence un vieillissement inattendu de la géomembrane. Ces contre-références sont principalement dues à la mauvaise utilisation (adéquation ou mise en œuvre) des géomembranes.

Le comportement mécanique n'a pas été retenu comme élément de comparaison, bien que ce soit un critère prépondérant, pour les ouvrages hydrauliques notamment. En pratique, l'influence de certaines contraintes mécaniques peut être considérablement diminuée en prenant les précautions adéquates.

Encadré 2

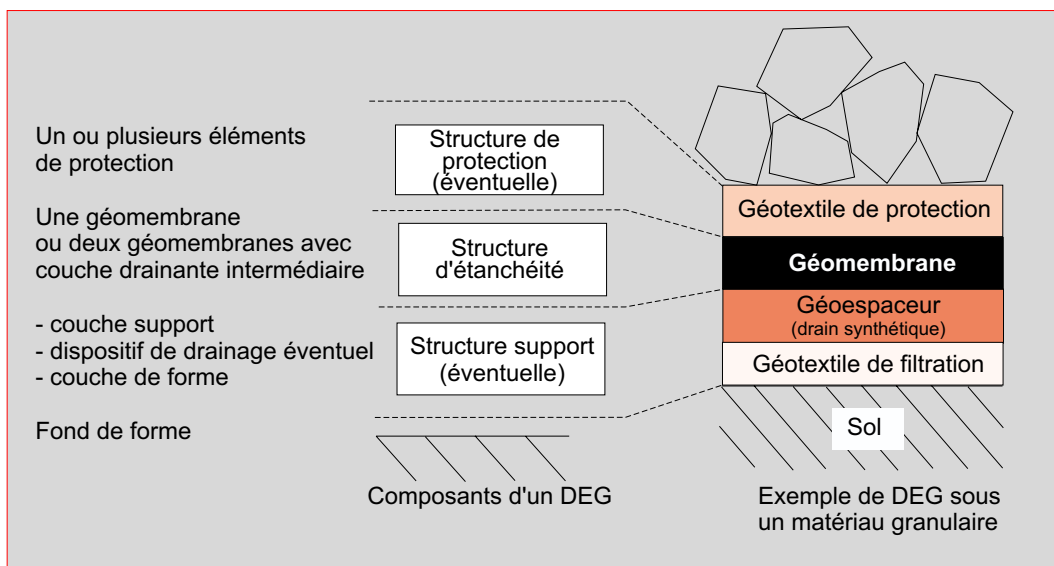
Comment faire la distinction entre les différents types de géomembranes ?

Les géomembranes en PVC-P sont souples et généralement de couleur gris clair. Les géomembranes bitumineuses sont les plus épaisses (jusqu'à 5 mm d'épaisseur), une des deux faces est recouverte d'un film fin transparent et l'autre est très souvent sablée. Les géomembranes en EPDM sont facilement identifiables puisqu'elles ont souvent le même aspect que les chambres à air. Elles sont grises et souples. Les géomembranes en PEHD et les géomembranes en PP sont toutes deux noires, leurs surfaces sont lisses. Les géomembranes en PEHD sont les plus rigides.

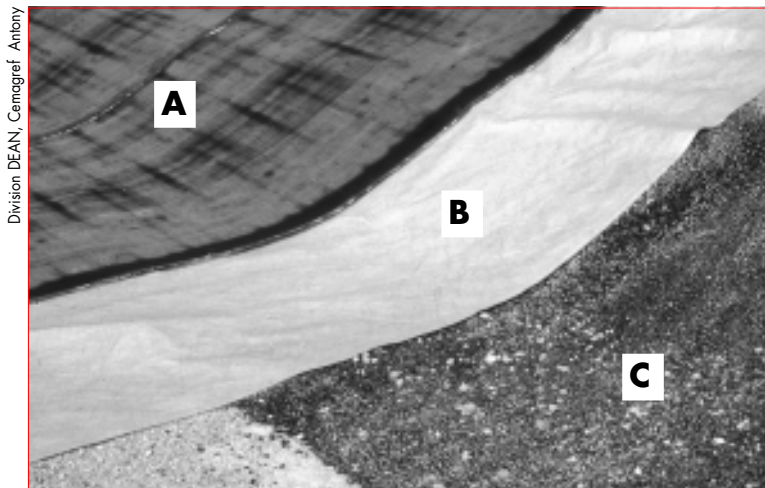
■ **Les dispositifs d'étanchéité par géomembrane**

La fonction étanchéité de la géomembrane doit être assurée et préservée quel que soit l'environnement dans lequel celle-ci se trouve et quelles que soient les sollicitations auxquelles elle est exposée. Aussi, pour de nombreux ouvrages, on est amené à mettre en œuvre des dispositifs d'étanchéité par géomembrane (DEG). Un DEG est constitué d'une structure d'étanchéité, éventuellement d'une structure support et d'une structure de protection (figure 2).

L'influence des contraintes mécaniques extérieures sur l'élément principal, c'est-à-dire la géomem-



◀ Figure 2. – Composants et exemple de DEG (dispositif d'étanchéité par géomembrane).



Division DEAN, Cemagref, Antony

▲ Photo 1. – Exemple de DEG : géomembrane bitumineuse (A) protégée du sol support (C) par un géotextile (B).

brane, est limitée par utilisation de géotextiles dans les structures de support et de protection (photo 1). Le géotextile peut avoir pour fonction de protéger la géomembrane de l'endommagement dû à des matériaux naturels de forte granulométrie ou à des déchets. De plus, sur les talus de centres de stockage de déchets, le géotextile, ou produit apparenté, peut être choisi pour reprendre les efforts de traction qui auraient pu être transmis à la géomembrane par le frottement induit par le tassement des déchets.

Des ouvrages et des géomembranes

Photo 2. – Canal du Niffer. ▼

Les géomembranes ont leur utilité dans tout ouvrage nécessitant un confinement ou une sépa-



D. Croissant, Cemagref, Antony

ration du milieu environnant. Quelle que soit l'application, l'objectif est de contenir, et la propriété recherchée est l'étanchéité.

Les premières applications de géomembranes datent des années soixante où elles étaient alors principalement utilisées dans des ouvrages hydrauliques, en substitution ou en complément de l'argile ou du béton, pour le transport et le stockage de l'eau. Leur utilisation s'est progressivement étendue à la protection de l'environnement. Cette tendance s'est accrue à la faveur des contraintes législatives et notamment du fait des arrêtés ministériels relatifs aux centres de stockage de déchets de classe 1 et de classe 2 (sur le point de paraître), et de la loi sur l'eau.

Les dernières applications originales pour les géomembranes ne sont que des extensions des pratiques habituelles à des ouvrages jusque là non concernés. Cette progression fait bien évidemment évoluer les techniques relatives à l'utilisation des géomembranes.

■ Quelques ouvrages classiques ou originaux

Les géomembranes et l'eau (photo 2)

Les géomembranes peuvent assurer l'étanchéité de nombreux ouvrages de stockage ou de transport d'eau, potable ou non. Elles peuvent aussi être utilisées pour restaurer l'étanchéité d'anciens ouvrages en béton.

Aujourd'hui, on n'hésite plus à confier aux géomembranes la fonction d'étanchéité d'ouvrages à hauts risques tels que les barrages (C.I.G.B., 1991).

Les exemples de barrages pour l'irrigation, l'alimentation en eau potable, l'hydroélectricité ou de voies navigables étanchés par géomembranes sont nombreux. La pose de celles-ci peut être prévue dès la conception comme unique élément d'étanchéité, ou, pour des ouvrages plus anciens, elle peut être ajoutée en étanchéité secondaire. Dans ce dernier cas, la géomembrane a surtout pour fonction de protéger le béton et d'y stopper les circulations d'eau. Les contraintes, sur ces ouvrages, sont mécaniques (action des vagues et du vent, contraintes aux points de fixation et sur les angles, poinçonnement par des objets flottants, mise en traction due à la baisse de la température) et physico-chimiques (exposition aux UV, extraction

par l'eau des composés solubles de la géomembrane) (Girard, 1997).

L'utilisation des géomembranes sur les barrages a incontestablement favorisé leur développement. C'est dans ce domaine que le Cemagref a acquis ses premières compétences en matière d'étanchéité artificielle.

A Rogliano, en Corse, une géomembrane a été mise en œuvre pour assurer le stockage hivernal des eaux de ruissellement pour leur utilisation en eau potable pendant la saison touristique (Tisserand, 1995). L'originalité de cet ouvrage réside dans l'emploi d'une géomembrane en couverture flottante qui, tout en suivant les variations de niveau d'eau du réservoir, assure une protection optimale contre toutes sortes de pollutions. Cette technique constitue une alternative économiquement judicieuse aux réservoirs en béton. De plus, l'ouvrage ne nécessite pas d'entretien particulier.

Les stations de sport d'hiver s'équipent largement en matériel d'enneigement artificiel. Cette technique fortement consommatrice d'eau implique de disposer de réservoirs d'altitude. Ces bassins sont soumis à des conditions climatiques particulièrement sévères (présence de glace, forte amplitude thermique, rayonnement UV) et à des cycles de vidange-remplissage plus fréquents que pour les ouvrages hydrauliques classiques. D'autre part, ces bassins sont des ouvrages sensibles puisqu'ils sont souvent réalisés sur pente avec constitution d'un remblai avec les matériaux du site, de granulométrie élevée. Les contraintes à prendre en compte pour un tel ouvrage sont donc nombreuses. Les conséquences d'éventuels désordres sont limitées du point de vue de l'environnement, mais se traduisent surtout par une perte financière importante pour l'exploitant.

En zone forestière méridionale, les géomembranes peuvent aussi entrer dans la constitution des réservoirs d'eau pour la lutte contre les incendies.

Les géomembranes sont depuis longtemps utilisées pour assurer l'étanchéité des tunnels. Elles protègent le béton de l'eau et empêchent les venues d'eau dans le tunnel. Les techniques de pose et les géomembranes utilisées sont particulières à ce type d'ouvrages. En effet, les étapes de la mise en œuvre et les sollicitations, physico-chimiques et mécaniques, sont très différentes de celles des autres ouvrages.

■ *Les géomembranes et la pollution d'origine routière*

Afin de préserver la ressource en eau dans des zones sensibles, on peut être amené à limiter les effets de la pollution d'origine routière. Une géomembrane peut ainsi servir à étancher des fossés collectant les eaux de ruissellement de routes à fort trafic ou des terres agricoles. Ces eaux, chargées en polluants (huiles, métaux, essence...) sont ensuite rejetées hors de la zone sensible. C'est la solution qui a été retenue à Metz, où 2,8 km de fossés ont été traités pour isoler les eaux polluées de la nappe (Ventolini, 1995).

Lorsque la contrainte (en termes de conséquences d'une pollution) est encore plus importante, on peut choisir d'étancher entièrement la route. C'est le cas de la déviation de Vittel, où une géomembrane assure l'étanchéité sous la chaussée et dans les fossés (Caquel, 1997).

Plus classiquement, on utilise des géomembranes pour les bassins de rétention routiers qui présentent des sollicitations d'ordre physico-chimique très importantes.

■ *Les géomembranes et les déchets solides (photo 3)*

Les géomembranes sont largement utilisées pour le stockage de déchets solides. Leur utilisation dans ce domaine se généralise, que ce soit pour des déchets industriels ou pour des déchets ménagers. En France, leurs premières utilisations dans ce domaine datent du début des années 1980. Elles sont réglementairement imposées dans les centres

Photo 3. – Alvéoles de Centre de Stockage de Déchets (CSD). ▼



D. Croissant, Cemagref Antony

de stockage de déchets de classe 1, et le seront aussi pour les centres de stockage de déchets de classe 2. Sur ces ouvrages, elles sont utilisées à la fois en fond et en couverture (CFGG, 1995).

En fond, elles participent en tant que barrière « active » en complément de la barrière « passive » formée par l'argile du site, ou remaniée. La barrière active est en fait constituée d'un dispositif drainant posé sur une géomembrane. Ce dispositif est dit actif car il est en permanence en contact avec les « jus » de la décharge - les lixiviats - qui y circulent. L'intérêt de l'association drainage-géomembrane est que chaque élément participe au bon fonctionnement de l'autre élément. Ainsi, le dispositif drainant limite la charge hydraulique sur la géomembrane et évite les surpressions localisées, limitant de ce fait l'intensité d'éventuelles fuites. La géomembrane, quant à elle, améliore le drainage des lixiviats, et facilite leur évacuation du massif de déchets puis leur traitement.

En couverture, la géomembrane sert d'une part au captage des biogaz issus de la décomposition des déchets et, d'autre part, à limiter les infiltrations d'eaux météoriques et, par conséquent, le volume de lixiviats à traiter.

■ *Les géomembranes et les effluents (photo 4)*

La plupart des effluents ou déchets liquides peuvent être stockés dans un bassin étanché par une géomembrane adaptée. Ce type d'ouvrage suit les mêmes principes techniques que les ouvrages hydrauliques classiques, avec cependant la contrainte

de l'agressivité chimique des liquides contenus et les contraintes d'exploitation telles que le brassage ou la reprise des effluents (Duquennoi, 1996). Les effluents de toutes les industries sont concernés (chimique, pétrolière, agro-alimentaire...) de même que les effluents d'élevage. Pour cette dernière application, la taille des ouvrages reste modeste mais l'utilisation de géomembranes s'avère être particulièrement judicieuse, techniquement et économiquement.

Des lagunes de grandes dimensions servant au traitement des effluents peuvent aussi être étanchées par géomembrane.

■ *Quelques conclusions sur ces ouvrages*

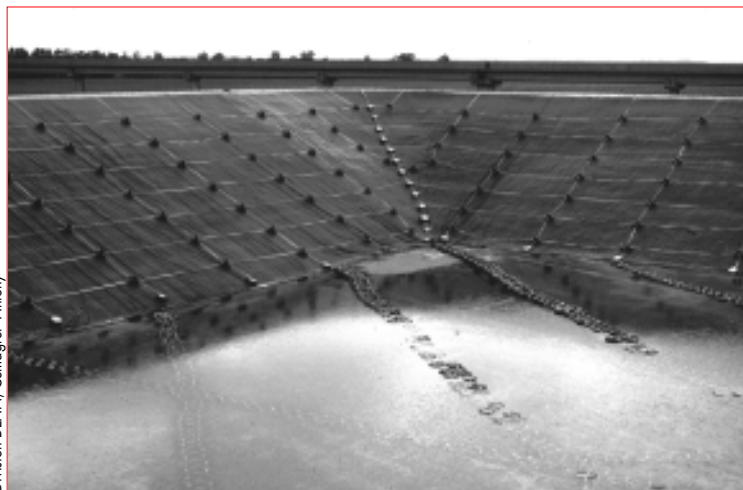
Le recours aux géomembranes présente donc de gros avantages lorsque :

- les surfaces à étancher sont très grandes (stockage de déchets) ;
- les exigences en matière d'étanchéité sont strictes ;
- l'accès au chantier est limité ou difficile (bassin d'altitude) ;
- les délais de réalisation sont courts ;
- il n'existe pas à proximité de gisement de matériau minéral d'étanchéité (argile) ;
- le sous-sol est susceptible de se tasser et qu'il impose de disposer d'un bassin souple ;
- les contraintes climatiques sont sévères.

Par rapport aux ouvrages en béton, les ouvrages étanchés par géomembrane présentent une meilleure résistance chimique, sont de mise en œuvre plus facile, sont modifiables et sont moins coûteux. De plus, la géomembrane n'est pas un matériau poreux comme le béton et présente donc une meilleure garantie face à la percolation des polluants. Par ailleurs, le coût minimum d'une géomembrane seule, fournie-posée sur un bassin, est de 35 F à 50 F le m², et pour un DEG complexe, ce coût peut atteindre, sur certains ouvrages, 500 F le m². L'intérêt financier dépend donc de la complexité du DEG retenu. Mais, dans de nombreux cas, les DEG constitueront une alternative économique par rapport au béton.

Cet éventail de réalisations, fréquentes ou marginales, exprime bien la diversité des ouvrages susceptibles d'être étanchés par géomembranes. Cette variété introduit, de fait, une large gamme de

Photo 4. – Bassin de sucrerie. ▼



Division DEAN, Cemagref, Antony

contraintes auxquelles la géomembrane est susceptible d'être exposée, et dont il faut tenir compte pour la conception de l'ouvrage.

■ De la conception à la gestion de l'ouvrage (photo 5)

Certains ouvrages sont sensibles dans la mesure où leur ruine aurait des répercussions environnementales ou financières graves. Pour ces ouvrages, des précautions aux niveaux de la conception, de la construction puis de l'entretien doivent être prises afin de limiter ce risque.

Au niveau de la conception, le choix d'une géomembrane doit se faire sur la base d'un cahier des charges très précis, renseigné sur toutes les contraintes de l'ouvrage (encadré 3). Certaines de ces contraintes sont très importantes et inhabituelles pour les ouvrages de génie civil. Le choix du produit est crucial pour la longévité de l'ouvrage car il n'existe pas de matériau réellement polyvalent.

La mise en œuvre des DEG doit être l'objet d'un plan d'assurance qualité détaillé, précisant notamment les modalités de contrôle interne et externe. La conformité au Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) des géosynthétiques utilisés doit être établie (CFGG, 1995).

La mise en œuvre (pose et soudure) doit être rigoureusement contrôlée. En effet, le moindre défaut dans une soudure ou la moindre perforation dans la géomembrane a de très grosses répercussions sur la qualité de l'ouvrage. Sur une soudure, un défaut peut apparaître s'il y a eu détérioration du matériau (par exemple par surchauffe) ou s'il n'y pas un assemblage parfait entre les deux lés.

La gestion et l'entretien de l'ouvrage doivent avoir été prises en compte lors de la conception. Des règles tenant compte des contraintes d'exploitation auront été établies pour l'entretien de l'ouvrage. En effet, les contraintes liées à l'exploitation de l'ouvrage peuvent être prédominantes et s'avérer être les plus nuisibles à sa longévité, comme celles présentées dans l'exemple qui suit.

■ Un exemple particulier : un bassin de stockage d'effluents d'élevage

Le recours aux géomembranes pour des fosses de type « bateau » destinées au stockage d'effluents d'élevage est de plus en plus fréquent (ministère

Encadré 3

Les contraintes à prendre en compte pour la conception d'un ouvrage étanché par géomembrane

- Géologie, hydrologie et météorologie du site : nature du *substratum*, venues d'eau, amplitude thermique, exposition aux UV, effet du vent ou des vagues ...
- Exécution : géométrie, étapes de la mise en œuvre, ancrage...
- Exploitation de l'ouvrage : consistance et agressivité (mécanique et chimique) du contenu, variations de niveau pour les bassins, entretien...
- Points singuliers : raccordements à des ouvrages en béton ou à des tuyaux, support présentant un angle marqué ...
- Législation : décrets ministériels, arrêtés préfectoraux...

de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, 1996). En effet, la loi sur l'eau contraint les éleveurs à s'équiper de fosses étanches. L'application progressive de cette loi fait croître le nombre de ces ouvrages étanchés par géomembrane.

Ce genre d'ouvrage est de petite taille et, de ce fait, est rarement l'objet d'une étude approfondie. Pourtant, un grand nombre des contraintes rencontrées sur les autres ouvrages s'y appliquent et c'est en cela qu'il constitue un exemple intéressant.

Les contraintes à prendre en compte sont, d'une part, les contraintes classiques rencontrées pour tout bassin et, d'autre part, celles spécifiques au stockage des effluents.

Les contraintes classiques pour les bassins sont la stabilité des talus et de la géomembrane, les re-

Photo 5. – Mise en œuvre de la couche granulaire de drainage en fond d'alvéole de CSD sur un géotextile. ▼



montées d'eau souterraine ou de gaz - dues soit à la remontée de la nappe phréatique, soit à la fermentation de matière organique - et l'agressivité du *substratum*. On compte aussi parmi ces contraintes les problèmes de géométrie de l'ouvrage et de raccordement à des ouvrages en béton. Enfin, la géomembrane est exposée au rayonnement UV.

Les contraintes plus spécifiques tiennent au contenu et à l'exploitation de l'ouvrage. Les effluents d'élevage sont chargés en particules et peuvent être chimiquement agressifs. Le déversement de ces effluents dans la fosse peut se faire soit gravitairement soit par bannage, ce qui peut causer des dommages à la géomembrane. Un malaxage des effluents peut aussi être nécessaire, ce qui peut entraîner la déformation puis la rupture de la géomembrane par entraînement. De plus, les effluents sont régulièrement pompés et le bassin doit être curé, ce qui nécessite de disposer d'un accès à la fosse et d'une protection particulière de la géomembrane.

Ces contraintes imposent un certain nombre de précautions et nécessitent des équipements particuliers (figure 3).

Comme pour tout bassin étanché par géomembrane, la mise en œuvre nécessite une tranchée d'ancrage en tête de talus. Cet ancrage empêche le glissement de la géomembrane et permet à celle-ci de résister aux efforts de soulèvement causés par la dépression due au vent. Selon l'agressivité du fond de forme, il est nécessaire de protéger la géomembrane avec un géotextile ancré, lui aussi, en tête de talus. Un autre géotextile, ou produit apparenté, faisant office de drain pour les eaux

et les gaz, relié à un système de collecteurs et d'évents, peut être disposé sous la géomembrane (photo 6). Le fond de la fosse doit présenter une pente de 2 à 3 % dans le sens transversal et de 1 à 2 % dans le sens longitudinal. Par ailleurs, l'emprise de l'ouvrage doit être clôturée pour prévenir les chutes accidentelles d'animaux ou de personnes. Enfin, la géomembrane choisie doit présenter une bonne protection contre les UV et, éventuellement, elle pourra être protégée par un écran de ce rayonnement.

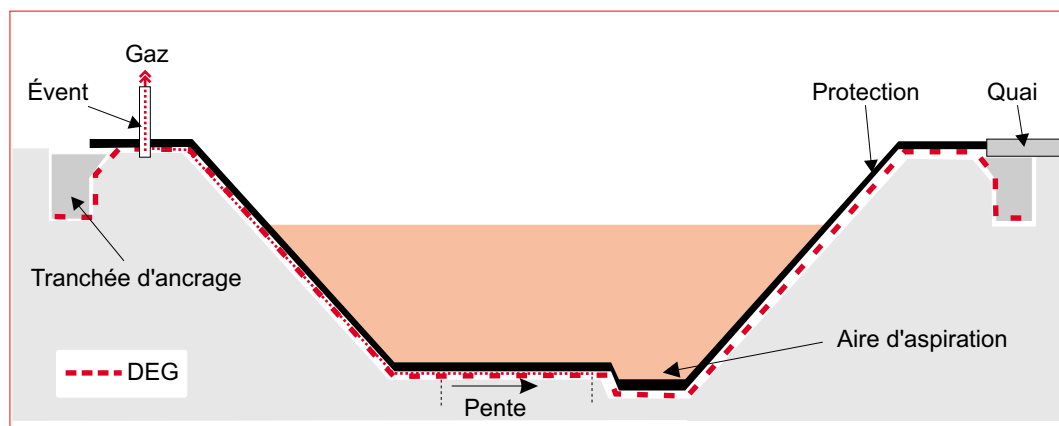
Pour répondre aux contraintes spécifiques de gestion du stockage, l'ouvrage doit comprendre un poste fixe pour l'agitation mécanique des effluents, une aire d'aspiration comprenant un quai jouxtant la fosse, permettant l'approche des engins, et un puisard pour le pompage des effluents.

Un dispositif de protection de la géomembrane doit être prévu, tout particulièrement dans la zone de déversement. Il peut s'agir de matériaux naturels (sable, gravier...), de matériaux liés (béton armé, enrobés) ou de dalles ou pavés autobloquants selon le cas.

Par ailleurs, le site, bien qu'il soit clos, est dangereux car les talus sont très glissants si la géomembrane n'est pas recouverte, aussi est-il toujours fortement recommandé, pour ne pas dire obligatoire, d'équiper la fosse d'au moins une échelle de corde de sécurité.

Comme pour tout ouvrage, l'utilisation de géomembranes pour le stockage des effluents d'élevage s'avère judicieuse, à condition de s'assurer que le concepteur et le poseur connaissent et respectent les règles de l'art.

Figure 3. – Coupe type de bassin de stockage d'effluents d'élevage.



Connaissance et reconnaissance des géomembranes

La recherche, la normalisation, la certification et les actions de communication sont les bases de la connaissance des produits et de leur reconnaissance par les utilisateurs pour des applications techniques.

■ Connaissance : la recherche

Le Cemagref participe activement à la recherche française sur les géosynthétiques. Les études sur les géomembranes et les DEG en laboratoire ou sur site menées par le Cemagref portent sur :

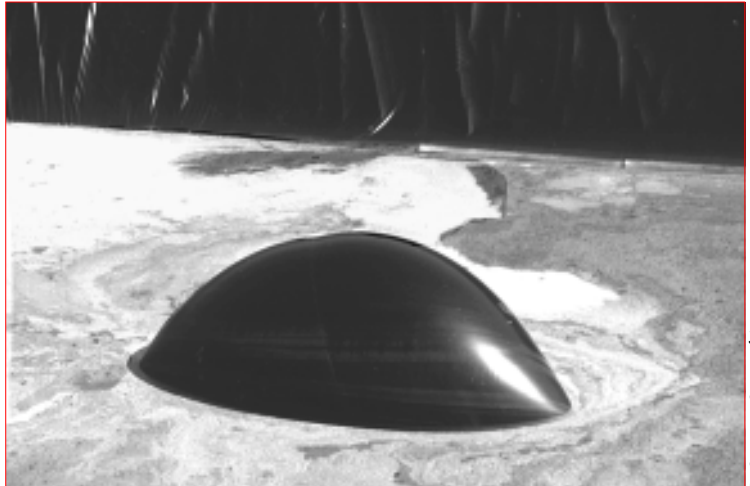
- le dimensionnement des DEG (tenue sur pente et résistance aux poinçonnements) ;
- le vieillissement des produits (connaissance des mécanismes de vieillissement) ;
- le transfert d'eau et de polluants à travers les barrières d'étanchéité ;
- le colmatage des géotextiles ;
- le suivi d'ouvrages existants.

Le Cemagref travaille depuis plusieurs années sur les géomembranes. Son activité a principalement été concentrée sur la recherche pré-normative. Ce travail, qui a pour but l'établissement de normes d'essai, a apporté aux équipes une grande connaissance des matériaux.

Par ailleurs, le Cemagref étudie le comportement des géomembranes dans des situations réelles sur site ou en laboratoire, par simulation des contraintes environnementales. En effet, les conditions d'utilisation ont une très grande influence sur l'efficacité et la longévité du matériau. Le comportement et le vieillissement des géomembranes sont très dépendants de leur environnement et il est important d'en tenir compte dans la définition des axes de recherche.

Au Cemagref, une des plus anciennes expérimentations sur site, toujours en cours, est le suivi de l'efficacité des dispositifs d'étanchéité par géomembranes dans deux casiers du centre de stockage de déchets de Montreuil sur Barse (Aube). Cette étude porte sur la comparaison du fonctionnement de deux types d'étanchéité (Berroir, 1997).

Dans l'optique de la connaissance du comportement *in-situ* des géomembranes et dans le but de



D. Croissant, Cemagref Antony

▲ Photo 6. – Apparition d'une bulle suite à la décomposition de matière organique sous la géomembrane en l'absence d'un dispositif de drainage des gaz.

bénéficier du retour d'expériences d'ouvrages en service, le Cemagref de Bordeaux a procédé à une enquête sur l'utilisation des géosynthétiques pour l'équipement rural et l'environnement dans le Sud-Ouest de la France (Poussin, 1995). Ce bilan a permis de recueillir des renseignements sur la durabilité des géosynthétiques.

Le Cemagref d'Antony poursuit cette action sur la base d'expertises d'ouvrages comportant des géomembranes.

De plus, à la demande de l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), une enquête sur la résistance des géomembranes aux diverses sollicitations dans les centres de stockage de déchets est en cours. Des prélèvements d'échantillons sur ouvrages anciens sont en projet.

Parallèlement à ces études de comportement sur site, des travaux sont menés en laboratoire pour étudier le comportement des géomembranes en reproduisant des conditions d'utilisation. Ainsi, une étude sur l'endommagement localisé des DEG, a récemment été menée pour le compte de l'ADEME. Cette étude a permis de définir les essais pertinents pour le dimensionnement des DEG en tenant compte des types d'endommagements localisés auxquels il est exposé (ADEME, 1997).

Par ailleurs, le transfert de contaminants à travers les géomembranes et l'évaluation des débits de fuite à travers les étanchéités composites argile-

géomembrane font l'objet de deux thèses de doctorat au Cemagref d'Antony.

D'autres équipes mènent des recherches sur le comportement et le vieillissement des géomembranes. De nombreuses expériences en laboratoire et sur site sont en cours en France comme en Europe. Ces expériences font l'objet de présentations au cours des « Rencontres » organisées par le CFG (Comité Français des Géosynthétiques) ou lors de journées régionales d'information ou de colloques internationaux.

Mises à part les publications scientifiques dans des revues et congrès, les principales publications sur les géomembranes sont celles du CFG, du Comité International des Grands Barrages - CIGB- et de l'ADEME. Les fascicules du CFG (CFGG, 1991 et CFGG, 1995) fournissent de précieux éléments pour l'utilisation des géosynthétiques.

Les avancées de la recherche sont incontestables. Pourtant, ces matériaux dont la fonction principale est l'étanchéité, de manière durable et face à toutes sortes de sollicitations, sont encore incomplètement connus, en particulier sur le plan de l'estimation de leur durée de vie réelle.

■ **Reconnaissance : la normalisation ...**

La normalisation est la première étape pour la reconnaissance des géomembranes, car elle permet de fixer les termes utilisés et de définir les méthodes de caractérisation des produits. Sans cela, il ne peut y avoir de reconnaissance par les utilisateurs.

En France, les travaux de normalisation (encadré 4) sur les géomembranes ont commencé en 1990.

Encadré 4

La normalisation

Au niveau français, les travaux de normalisation sont menés par la commission « Géotextiles, géomembranes et produits apparentés » du Bureau de Normalisation des Sols et Routes (BNSR). Cette commission est composée d'un ensemble représentatif du milieu professionnel : producteurs, prescripteurs, laboratoires de recherche... Elle élabore les normes relatives aux divers essais sur géomembranes. Déjà 14 normes ont été publiées, deux sont à l'enquête publique et trois sont en projet.

Au niveau européen la normalisation est instruite par un groupe de travail créé en 1992, commun à deux comités techniques du CEN (Comité Européen de Normalisation), le TC 189 « Géotextiles et produits apparentés » et le TC 254 « Feuilles souples d'étanchéité ».

Ils ont abouti à un système relativement complet pour la définition et la caractérisation des produits et ont permis de mettre sur pied la certification des géomembranes.

Les professionnels français sont très présents au niveau européen pour défendre leur point de vue et leur savoir-faire.

■ **... et la certification**

Souhaitée par les producteurs de géomembranes, la certification est effective depuis le 1^{er} juillet 1997. Cette certification est gérée par l'ASQUAL (ASsociation pour la promotion de la QUALité dans la filière habillement-textile), association certifiant par ailleurs les géotextiles depuis 1990.

La certification désignera des produits aux caractéristiques reconnues et de qualité constante. Ainsi, la résistance à la traction et la résistance au poinçonnement statique ont été retenus comme caractéristiques certifiées, en plus des caractéristiques d'identification. L'étanchéité, la largeur et l'épaisseur seront comparées à des minima requis. Les caractéristiques chimiques ne seront pas certifiées mais elles permettront à l'ASQUAL de s'assurer de la constance du produit. Les résultats de ces analyses chimiques resteront confidentiels, afin de préserver l'exclusivité industrielle des formulations. La famille du produit (PEHD, PP, PVC-P...) annoncée par le producteur ne sera pas certifiée du fait de la difficulté de classer par familles certains produits, tels que les alliages polymères.

La certification ne signifiera pas qu'un produit est bon pour étancher tel ou tel type d'ouvrage, mais que les caractéristiques annoncées par le producteur ont été préalablement contrôlées.

L'avantage de la certification pour le *producteur* de géomembranes est indéniable puisque son produit verra ses caractéristiques impartialement vérifiées et sera reconnu comme respectant certains critères *minimaux*.

La certification apportera à l'*utilisateur* une meilleure lisibilité de l'offre, et donc une transparence du marché, par présentation homogène de l'information. En effet, les mêmes caractéristiques seront présentées par toutes les fiches techniques de produits certifiés. De plus, le nombre des contrôles sur chantier, à réception du produit, sera moindre pour un produit certifié puisque la constance de ses caractéristiques sera garantie.

Par ailleurs, les *poseurs de géomembranes* vont être qualifiés par le même organisme. Cette qualification s'impose, car la technique et le savoir-faire des poseurs sont primordiaux pour la qualité de l'ouvrage fini. Il sera possible dès septembre 1997 de qualifier les poseurs, les chefs de chantiers et, plus tard, les entreprises de pose elles-mêmes.

Cet ensemble certification-qualification assurera la qualité du produit et de sa mise en œuvre et limitera les contre-références dues à l'incompétence et au manque de sérieux de certaines entreprises. Il contribuera ainsi à la reconnaissance des géomembranes et de leurs utilisations.

Conclusion

Les caractéristiques des géomembranes (faible perméabilité, faible épaisseur, souplesse) en font un produit de construction particulièrement adapté aux applications dans les domaines de l'hydraulique et de la prévention des pollutions, et notamment dans les ouvrages de stockage de déchets.

Le succès de cette technique repose sur l'adéquation de la géomembrane (ou du DEG) avec l'ouvrage réalisé, sur la qualité de sa mise en œuvre, et sur la connaissance des bonnes pratiques de

gestion et d'entretien des ouvrages qui en sont pourvus. Comme pour tous les produits de construction, et probablement plus que pour la plupart des produits de construction, la mise en œuvre des géomembranes doit être l'objet de la plus grande attention de la part des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre.

L'état des techniques liées à la réalisation de dispositifs d'étanchéité par géomembrane bénéficie maintenant de plusieurs dizaines d'années d'expérience, tant dans le domaine de la recherche que dans celui des applications, grâce à de nombreuses références d'ouvrages.

Pourtant les géomembranes sont loin de leur âge adulte. En effet, la maîtrise des aptitudes de chaque type de géomembrane n'est pas parfaite et l'estimation de leur comportement à long terme dans les différentes conditions d'utilisation est assez délicate. De gros efforts de recherche et d'étude sont encore à fournir pour faciliter la sélection et le dimensionnement des dispositifs d'étanchéité par géomembrane.

La recherche, d'une part, et le système normatif et de certification, d'autre part, devraient apporter encore beaucoup pour la connaissance et la reconnaissance des géomembranes. □

Résumé

Depuis les premières applications dans les années soixante, l'utilisation des géomembranes s'est progressivement étendue à la protection de l'environnement. Ces produits d'apparence simple sont encore assez mal connus par certains utilisateurs et prescripteurs. Cet article s'attache donc à faire connaître les géomembranes. Ainsi, dans un premier temps, les différents types de géomembranes et leurs caractéristiques sont présentés. Dans un second temps, des exemples d'applications sont évoqués, et un cas particulier d'utilisation pour le stockage d'effluents d'élevage est abordé plus en détail. Enfin, sont présentés les travaux de recherche, de normalisation et de certification actuellement menés, nécessaires à la connaissance et à la reconnaissance des géomembranes, et auxquels le Cemagref participe activement.

Abstract

Since the first applications in the 1960s, geomembranes have become progressively more widely used for the protection of the environment. Some users and consultants are still not familiar with these apparently simple membranes. The aim of this paper is to make geomembranes more widely known, describing first of all the various types and their characteristics. Secondly, examples of applications are given and, a particular case of use for storing effluent from animal husbandry is described in greater detail. Finally, there is an outline of current projects for research, standardisation and certification. These projects, in which Cemagref is actively participating, are essential for understanding and accepting geomembranes.

Bibliographie

- ADEME, 1997. Mise au point d'essais de résistance à l'endommagement localisé des dispositifs d'étanchéité par géomembrane utilisés dans les centres de stockage de déchets, *Rapport* non diffusable.
- BERROIR, G., WEBER, F., MOREAU, G., 1997. Performance of bottom lining systems in a municipal solid waste landfill. *Fifth International Landfill Symposium, Sardinia 97*. (à paraître)
- CAQUEL, F., MATTICHARD, Y., ADAM, D., STEINER, B., CAVALLI, M., 1997. Déviation de Vittel : étanchéité de la plateforme routière. *Actes de Rencontres 97*, à paraître.
- CFGG, 1991. Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéités par géomembranes. *Fascicule*, n° 10, 47 p.
- CFGG, 1995. Recommandations pour l'utilisation de géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets. *Fascicule*, n° 11, 48 p.
- CIGB, 1991. Étanchéité des barrages par géomembranes : état de l'art. *Bulletin*, n° 78, 139 p.
- DUQUENNOI, C., 1996. Le stockage des effluents industriels et agricoles liquides : utilisation des dispositifs d'étanchéité par géomembrane. *Journée d'information « Géosynthétiques et environnement »*, LRPC CFG, Pont-à-Mousson, 20 novembre 1996.
- GIRARD, H., POULAIN, D., MINE, M., POTIE, G., 1997. Étude et réalisation de l'étanchéité par géomembrane du Barrage du Selvet, *Actes de Rencontres 97*, à paraître.
- Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation, 1996. Bâtiments d'élevage bovin, porcin et avicole. Réglementation et préconisations relatives à l'environnement, 140 p.
- POUSSIN, V., 1995. Les géosynthétiques pour l'équipement rural et l'environnement. *Mémoire de stage de DESS*, Document interne.
- TISSERAND, C., MATTICHARD, Y., LAINE, D., 1995. Couverture flottante d'un réservoir d'eau potable, *Actes de Rencontres 95*, tome 2, p. 79-84.
- VENTOLINI, D., BORGNE, E., BREUL, B., HERMENT R., 1995. Protection par géomembrane bitumineuse de champs captants, *Actes de Rencontres 95*, tome 2, p. 113-118.