

Utilisation des géomembranes en altitude

Retour d'expérience sur des géomembranes en PVC-P

Stéphane Lambert, Christian Duquennoi, Abbas Tcharkhchi

Depuis plusieurs dizaines d'années, les géomembranes sont utilisées en altitude pour le stockage ou le transport d'eau, potable ou non. Ainsi, barrages, canaux et bassins peuvent être concernés. Ces ouvrages sont soumis à de sévères sollicitations liées au site, aux conditions climatiques et à la gestion de l'ouvrage qu'il convient de connaître pour estimer la durée de vie des géomembranes. Les géomembranes à base de PVC plastifié sont parmi les plus utilisées sur ce type d'ouvrage, du fait notamment de leur souplesse.

Contraintes et sollicitations et durabilité

Les contraintes de réalisation et les sollicitations sur l'ouvrage en service sont à prendre en compte dès la conception de l'ouvrage et pour le choix de la géomembrane.

Elles sont liées :

- **au site** : accès parfois difficile, sol support rocailleux, ouvrage en remblai et déblais,
- **aux conditions climatiques** : importante exposition aux U.V., fortes amplitudes thermiques, délais de réalisation courts, glace flottant ou

neige susceptible de glisser et entraînant des cailloux présents sur la géomembrane,

- **et à la gestion de l'ouvrage** : variations de niveau d'eau rapides et fréquentes (surtout pour stockage d'eau pour enneigement artificiel).

■ Mécanismes potentiels de dégradation

Dans ce type d'ouvrage, la durabilité des géomembranes PVC-P dépend à la fois du vieillissement physico-chimique du matériau et d'actions mécaniques endommageant la géomembrane et nuisant à la continuité de l'étanchéité.

Toute action sur la composition d'une géomembrane modifie ses propriétés. Cette action peut porter sur les stabilisants, sur les plastifiants, sur les pigments ou sur le polymère (PVC) et avoir pour origine une exposition à un liquide, à l'air, aux U.V., ...

Les U.V. sont un facteur important dans la dégradation des géomembranes. Ainsi, lors de la photodégradation du polymère PVC, on rencontre les trois phénomènes suivants :

- Oxydation entraînant la formation des espèces hydroperoxydes, hydroxyles et carbonyles. Ce phénomène conduit à la coupure des chaî-

**Stéphane Lambert,
Christian Duquennoi**

Cemagref
URE Ouvrages
pour le drainage
et l'étanchéité
BP 44
92163 Antony
cedex

Abbas Tcharkhchi

Ecole Nationale
des Arts et Métiers
151, bd de
l'Hôpital
75013 Paris

nes et à la diminution de la masse molaire et donc perte des propriétés mécaniques en grandes déformations (diminution des caractéristiques à la rupture principalement).

– Elimination du HCL et formation de polyènes conjugués.

– Réticulation des chaînes; phénomène en concurrence avec l'oxydation mais moins important que celui-ci.

Par ailleurs, les plastifiants peuvent migrer hors de la géomembrane entraînant une modification des propriétés aux déformations faibles, telles qu'augmentation du module d'Young. L'eau peut, par exemple, agir comme un solvant et extraire les plastifiants. (Verdu (1983).

Enfin, les stabilisants peuvent être 'consommés' par les agents dégradants contre lesquels ils sont sensés protéger le matériau.

En plus de cette dégradation physico-chimique, il peut se produire une dégradation d'origine mécanique due principalement au poinçonnement de la géomembrane par des cailloux présents sur ou sous la géomembrane. La présence de glace accroît ce risque, de même que les températures basses. La grêle peut créer des microfissurations sur une géomembrane vieillie.

■ Retour d'expérience

La bibliographie fournit quelques exemples d'ouvrages étanchés par une géomembrane PVC-P non revêtue.

Bernhard et al. (1995) ont présenté une étude réalisée sur un ouvrage exposé à un fort ensoleillement, et présentant des dégradations rapides (3 ans). Sur cet ouvrage, on a constaté une rigidification importante de la géomembrane, une baisse du taux d'allongement à la rupture, une perte de plastifiant importante en surface et une absence d'oxydation sur la matrice de PVC. Les mêmes auteurs présentent d'autres ouvrages qui n'ont pas montré de telles évolutions.

Pour les applications d'altitude, Cazzuffi (1995 et 1997) a présenté plusieurs ouvrages pour le stockage ou le transport d'eau. Sur ces ouvrages, les géomembranes présentaient encore un comportement satisfaisant. Au moment de l'observation, les géomembranes assuraient toujours leur fonction d'étanchéité, même après 20 ans de service pour certaines. Leurs caractéristiques mécaniques avaient faiblement évolué. Les teneurs initiales en plastifiant étaient comprises entre 30 et 33 %. Les pertes de plastifiant les plus importantes ont été généralement constatées dans la zone de marnage. La plus faible teneur en plastifiants mesurée était de 23,6 %.

Nous présentons dans la suite l'exemple d'un ouvrage ayant évolué très rapidement.

Cas particulier d'un bassin d'altitude

Cet ouvrage situé dans les Alpes, à 1500 m d'altitude, avait pour vocation le stockage d'eau pour l'enneigement artificiel. L'étanchéité était assurée par une géomembrane PVC-P de couleur verte, non revêtue et posée sur un géotextile. Réalisé en 1995, il a présenté dès 1997 de graves désordres en certains points. En effet, outre le changement de couleur, des déchirures de dimensions importantes sont apparues sur les crêtes de talus.

Pour cette étude, trois échantillons ont été prélevés en août 1998 (photo 1) :

- n°1 : crête de talus, exposition est, avec zone de marnage,
- n°2 : crête de talus, exposition ouest, comprenant une soudure,
- n°3 : immergé, comprenant une soudure.

Photo 1.– Vue de l'ouvrage et des zones de prélèvement (photo X. Caquineau). ▼



Un échantillon témoin (n°4) a été conservé à l'abri. Il sera considéré comme vierge de tout vieillissement et servira d'échantillon de référence.

■ *Constatations visuelles*

La géomembrane initialement verte et lisse sur ses deux faces est devenue noire et rugueuse sur les parties exposées aux U.V. et à l'air. Le changement de couleur est constaté sur plusieurs dixièmes de millimètres dans l'épaisseur du matériau. La surface présente des craquelures dessinant des grains de l'ordre du millimètre. Les zones non exposées aux U.V. de la face supérieure de la géomembrane (recouvrement au niveau de la soudure) n'ont pas subi de changement d'état de surface, mais juste un changement de couleur significatif. Les parties immergées ont subi un léger changement de couleur. La face inférieure de la géomembrane (en contact avec le géotextile) n'a subi aucune modification d'aspect.

Sur la face inférieure de l'échantillon 2, on constate un noircissement à 2 centimètres de la soudure, sur toute la longueur du lé inférieur. Cette zone, située au delà du recouvrement du lé inférieur par le lé supérieur est nette du côté de la soudure et diffuse de l'autre côté.

Les échantillons 1 et 2, exposés aux U.V., se sont rigidifiés. Ils ont la même apparence et présentent des déchirures en étoile de 5 cm de dimensions caractéristiques, une déchirure linéaire de grande dimension (1,5 m. de long), et des déchirures curvilignes sans direction préférentielle de 5 à 50 cm de longueur. L'écartement des bords de la grande déchirure mesurée en laboratoire est de l'ordre de 7 cm, mais était bien plus important avant prélèvement (photos 2 et 3).

■ *Essais sur échantillons prélevés*

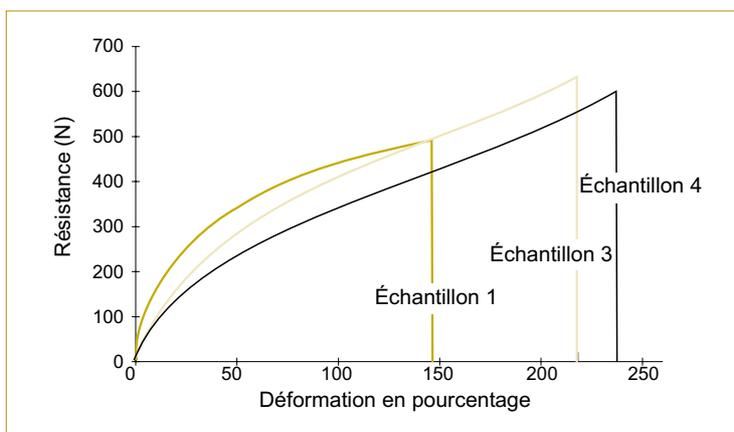
Des essais de traction (graphique 1), de mesure d'épaisseur et de masse surfacique ont été réalisés suivant les normes françaises en vigueur sur des éprouvettes prélevées sur les échantillons 1, 3 et 4, en dehors des zones endommagées et des zones de marnage. L'échantillon 4 étant de dimensions insuffisantes seules 4 éprouvettes par sens ont été prélevées pour l'essai de traction, et une seule pour la masse surfacique.



▲ Photo 2. – Prélèvement de l'échantillon 2 (photo X. Caqueau).



▲ Photo 3. – Déchirures en étoile sur l'échantillon 1 (photo X. Caqueau).



▲ Graphique 1. – Courbes obtenues à l'essai de traction sur les 3 échantillons.

La teneur en plastifiants a été déterminée par extraction à l'éther à 34°C sur les mêmes échantillons et des essais de spectrophotométrie IR ont été réalisés pour analyser qualitativement la composition des échantillons. Ces dernières analyses ont été effectuées 6 mois après le prélèvement.

En prenant l'échantillon 4 comme référence on constate, d'après le tableau 1 présentant les résultats :

- une baisse de 9% de la masse surfacique de l'échantillon 1, et une baisse non significative pour l'échantillon 3,
- une diminution de la déformation à la rupture en sens production de 37% pour l'échantillon 1, et de 8% pour l'échantillon 3,
- une diminution de la résistance à la rupture en sens production de 28% de l'échantillon 1, et une évolution non significative pour l'échantillon 3,
- une augmentation de la résistance à 20 % de déformation en sens production de 79 % pour l'échantillon 1 et 17% pour l'échantillon 3.
- une perte de plastifiants de 30,5 % et 20,7 % respectivement pour les échantillons 1 et 3, correspondant à des taux de perte de plastifiants 59 et 32 g/m²/an.

On notera que ces essais portaient sur la totalité de l'épaisseur des éprouvettes. Les valeurs obtenues sont donc des valeurs moyennées sur l'épaisseur qui ne reflètent pas l'état de vieillissement en surface de la géomembrane.

Ainsi, les valeurs de teneur en plastifiants et des caractéristiques mécaniques de l'échantillon 1, tiennent compte à la fois des propriétés de la partie altérée en surface et du reste de la géomembrane.

Par contre, des essais de spectrophotométrie IR ont été réalisés sur des prélèvements de couche superficielle de l'échantillon 1 (graphique 2). Ceux-ci ont attesté de la présence de plastifiant.

Ce même type d'essai a permis d'identifier le plastifiant comme appartenant à la famille des phtalates, couramment utilisé pour plastifier les PVC. (graphiques 3 et 4).

Par ailleurs la valeur de teneur en plastifiants réalisée sur l'échantillon 1 est peut être faussée. En effet, lors de l'essai sur la géomembrane vieillie, peuvent aussi être extraites des chaînes de PVC coupées lors de l'oxydation. Ce point ne concerne effectivement pas l'échantillon vierge. En conséquence, il se peut que la teneur en plastifiants de l'échantillon 3 soit plus faible que la valeur obtenue.

■ *Interprétation*

La géomembrane a subi une altération en surface et une modification importante de ses caractéristiques mécaniques. L'action des U.V. a été prépondérante dans l'évolution de la géomembrane. Ceci est clairement mis évidence par la différence d'évolution entre les deux faces, par la différence d'évolution entre les échantillons exposés aux U.V. et l'échantillon

▼ Tableau 1. – Résultats des essais et analyses sur les trois échantillons.

	Sens	Unité	Echantillon 4 (référence)	Echantillon 3 (immergé)	Echantillon 1 (crête de talus)
Résistance à 20% de déformation	production	kN/m	5,0	5,9	9,0
	travers	kN/m	4,7	5,6	9,5
Résistance à la rupture	production	kN/m	24,0	24,6	17,2
	travers	kN/m	22,9	21,7	18,2
Déformation à la rupture	production	%	236	217	148
	travers	%	253	225	154
Masse surfacique		g/m ²	1994	1979	1822
Epaisseur		mm	1,42	1,39	1,36
Teneur en plastifiants		(%)	29,7	25,1	22,7

immergé, et aussi par celle constatée entre la zone de recouvrement et le reste de l'échantillon

En surface, il est vraisemblable que l'altération soit due à la dégradation de la matrice (le polymère) par photo-oxydation, après que les agents stabilisants aient été "consommés" par les agents dégradants. Les pigments ont, d'après les constatations visuelles, été vraisemblablement dégradés. La présence de plastifiants en surface ne permet pas de dire si ils ont subi une oxydation. En effet, l'essai ne donne aucune indication sur la quantité de plastifiants présents et, d'autre part, ces plastifiants ont pu migrer depuis le cœur de la géomembrane vers la surface, entre le moment du prélèvement et les analyses.

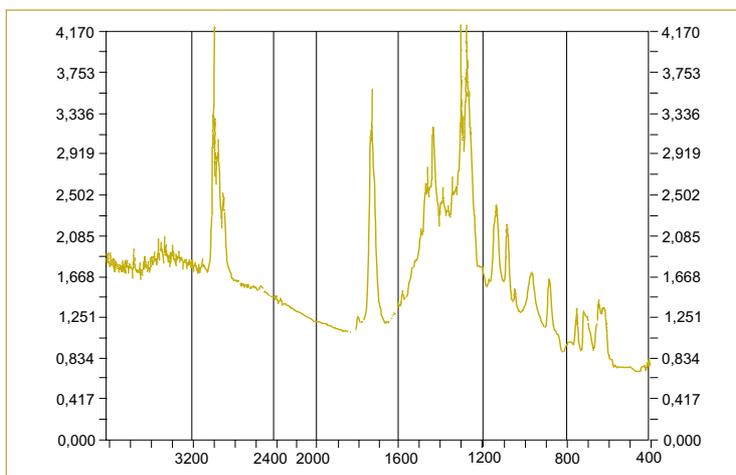
La modification des propriétés mécaniques est due à la coupure des chaînes et à la perte de plastifiants. La migration des plastifiants a entraîné une perte d'élasticité, une réduction de la capacité à relaxer les contraintes, une augmentation de la température de transition vitreuse et une perte dimensionnelle entraînant un retrait. Celui-ci est mis en évidence par la différence d'écartement de la déchirure de l'échantillon 2 entre avant et après prélèvement.

Il en résulte, entre autres, une plus grande fragilité aux chocs à basse température et une mise en tension de la géomembrane. Ces deux phénomènes indirects sont probablement à l'origine des fissurations et de leur propagation.

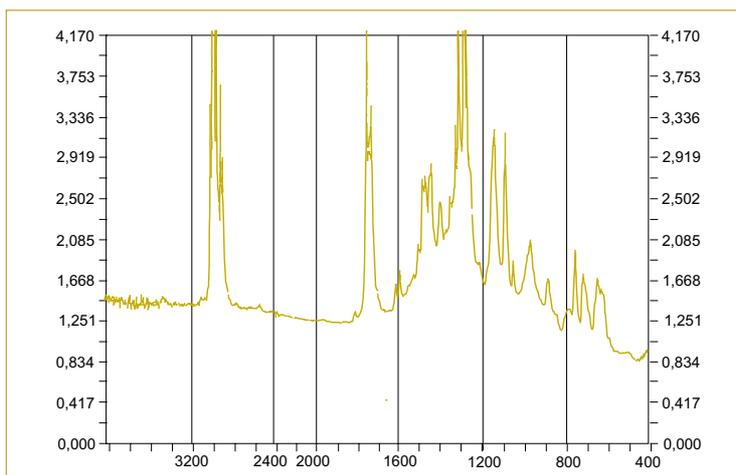
Il est à noter que la teneur en plastifiants de l'échantillon 4 pris comme matériau de référence est assez faible. On ne peut cependant se prononcer avec certitude sur la teneur initiale en plastifiants de cette géomembrane. Les références citant des ouvrages vieillissant bien font généralement état de teneur initiale en plastifiants de l'ordre de 33%.

Le taux de perte de plastifiants des deux échantillons, très élevé en comparaison avec les valeurs présentées par Giroud et al. (1993), semble indiquer que les plastifiants étaient trop mobiles dans la matrice PVC.

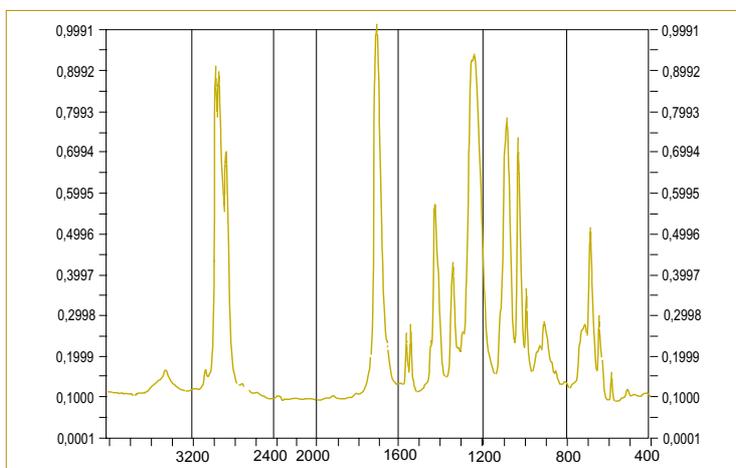
La trace noire rectiligne le long de la soudure met en évidence un manque de stabilisation de la géomembrane. Cette faiblesse a facilité la mo-



▲ Graphique 2. – Spectre IR obtenu sur l'échantillon 1.



▲ Graphique 3. – Spectre IR obtenu sur l'échantillon 4.



▲ Graphique 4. – Spectre IR du plastifiant obtenu après extraction sur l'échantillon 4.

dification du matériau lors de la soudure. Cette augmentation de température ponctuelle a très probablement dégradé les colorants.

En plus de cette dégradation physico-chimique, il a pu se produire une dégradation d'origine mécanique. L'agressivité du sol support semble avoir été bien diminuée par le géotextile mais la grêle ou la glace peuvent avoir eu pour effet d'initialiser les déchirures.

■ *Conclusions sur l'ouvrage*

Il apparaît clairement que la géomembrane posée ne présentait pas les propriétés requises pour ce bassin, tel qu'il a été conçu. Les propriétés mécaniques initiales ne mettent pas en défaut la géomembrane, mais celle-ci n'était pas suffisamment stabilisée pour pouvoir être utilisée non revêtue. Il semblerait aussi que sa teneur initiale en plastifiant ait été trop faible et que ce plastifiant ait été trop mobile dans la matrice PVC.

Conclusion

Le recours aux géomembranes pour des bassins de stockage d'altitude est justifié par des raisons d'ordre technique telles que les contraintes de réalisation, les contraintes climatiques et les contraintes de service. Cette technique a fait ses preuves. En outre, par rapport à des solutions traditionnelles, la solution géomembrane est financièrement avantageuse.

Cependant, le choix de la géomembrane doit s'appuyer sur la connaissance des contraintes attendues sur la géomembrane et dépendant notamment des choix de conception.

En particulier, si il n'a pas été prévu de protéger la géomembrane, la résistance aux U.V. doit être examinée. Le choix de la géomembrane dépendra obligatoirement de ce critère et chacun, depuis le producteur jusqu'à l'utilisateur, devra être sensible à l'adéquation entre la formulation de la géomembrane et son utilisation.

■

Résumé

On aborde, à travers un exemple d'ouvrage et en s'appuyant sur d'autres communications, le vieillissement des géomembranes PVC utilisées en altitude, en particulier pour les bassins d'enneigement artificiel. Les résultats d'essais réalisés sur 3 échantillons prélevés sur cet ouvrage sont présentés. Les causes de cette dégradation prématurée de même que les phénomènes physico-chimiques impliqués sont abordés permettant de mettre en exergue l'importance

Abstract

The aging of PVC-P geomembranes at high altitude is addressed through literature review and the example of a particular water storage pond used for artificial snow coverage. Test results are presented for 3 geomembrane samples extracted from the pond. Probable causes for the early degradation of the geomembrane and associated physico-chemical phenomena are then proposed. Then, the utmost importance of UV protection of geomembranes is underlined.

Bibliographie

- BERNHARD C., DUQUENNOI C., GIRARD H., (1995), *Comportement dans le temps de géomembranes utilisées dans trois ouvrages*. RENCONTRES 95
- CAZZUFFI D., (1995), *Évaluation du comportement de différents types de géosynthétiques prélevés sur canaux de l'ENEL*. RENCONTRES 95.
- CAZZUFFI D., (1997), *Évaluation du comportement des géomembranes non protégées sur les barrages des alpes italiennes*. RENCONTRES 97.
- GIROUD J.P., TISINGER L.G., (1993), *The influence of plasticizers on the performance of PVC geomembranes*. Proceedings of the 7TH Symposium of the Geosynthetic research institute, pp 169-196.
- VERDU J., (1983), *Vieillesse physique*. Techniques de l'ingénieur, traité plastiques A3 150 pp 1-17.
- LAMBERT S., DUQUENNOI C., TCHARKHTCHI A., 1999, *Utilisation des géomembranes en altitude : retour d'expérience sur des géomembranes en PVC*. Rencontres Géosynthétiques 99, Comité Français des Géosynthétiques, Bordeaux, 12-13 octobre 1999.

