

IDENTIFICATION VISUELLE DE L'ÉVOLUTION DU VIEILLISSEMENT DE GÉOMEMBRANES PVC-P EXPOSÉES AUX UV ET EN MILIEU ACIDE

VISUAL IDENTIFICATION OF THE SUCCESSIVE STAGES OF AGEING OF PVC-P GEOMEMBRANES EXPOSED TO UV AND IN CONTACT WITH ACIDIC EFFLUENTS

Thierry GISBERT¹, Matthieu CAO-THANH²

¹ ARCADIS, Plessis-Robinson, France

² RETIA, Paris, France

RÉSUMÉ – En novembre 2013, la géomembrane PVC-P d'un bassin d'eaux traitées, situé sur un site industriel, s'est déchirée au-dessus du niveau de l'eau. Ce bassin a rapidement été mis en sécurité. Une expertise sur l'ensemble des bassins et fossés étanchés du site a été réalisée, afin de définir le plan d'actions à mettre en œuvre.

Les géomembranes utilisées sur ce site sont exposées aux UV et souvent au contact de liquides acides (pH proche de 2). L'expertise a permis d'identifier les causes de cet incident et de définir, visuellement, 5 stades successifs (classés A à E) dans l'évolution du vieillissement des géomembranes PVC-P du site, âgées de 6 à plus de 20 ans. Ces différents stades sont décrits dans la publication.

Mots-clés : Vieillissement, Géomembranes PVC-P, UV, acide

ABSTRACT – In November 2013, the PVC-P geomembrane from a treated water pond that is located on an industrial site, spontaneously torn above the water level.

The pond was immediately secured. An expertise was undertaken on all the watertight ponds and canals located on the site, in order to draw the action plan to follow in the future.

The geomembranes from the site are frequently exposed to UV and in contact with acidic effluents (pH around 2). This expertise allowed us to identify the causes of this failure. We were able to define, visually, 5 successive stages of ageing (from A to E), corresponding to PVC-P geomembranes aged from 6 to more than 20 years. These successive stages are described in this paper.

Keywords: Ageing, PVC-P geomembranes, UV, acid

1. La rupture de la géomembrane à l'origine de l'expertise

Le site industriel objet de cette publication comprend une station de traitement des effluents acides qui sont générés par l'activité du site. Ces effluents ont un pH variant généralement entre 2 et 3.

Fin 2013, la géomembrane PVC-P d'un des bassins d'eaux traitées par cette station s'est déchirée au-dessus du niveau de l'eau (Figure 1).



Figure 1. Rupture de la géomembrane du bassin n°1, à l'origine de l'expertise

1.1. Objectifs de l'expertise réalisée suite à la rupture de la géomembrane

Immédiatement après la rupture de la géomembrane, le bassin, appelé « bassin n°1 », a rapidement été sécurisé : une vidange a été opérée, le fond nettoyé et les eaux détournées vers un autre bassin.

Une expertise sur l'ensemble des bassins et fossés étanchés du site a rapidement été entreprise, afin de savoir si cette problématique de déchirement des géomembranes d'étanchéité pourrait être rencontrée sur les autres ouvrages étanchés du site.

Les objectifs de l'expertise étaient les suivants :

- identifier les causes du déchirement et évaluer l'état de vieillissement de la géomembrane restante sur le bassin n°1 ainsi que la possibilité ou non de procéder à sa réparation,
- analyser, visuellement, l'état de vieillissement des géomembranes d'étanchéité des autres bassins et du réseau de fossés étanchés, existant sur le site,
- estimer l'état de vieillissement des géomembranes de ces différents ouvrages et formuler des préconisations pour leur maintenance, voire leur renouvellement, le cas échéant,
- définir le plan d'actions à mettre en œuvre et les recommandations de réparations à planifier.

1.2. Les géosynthétiques d'étanchéité identifiés sur le site

Les géosynthétiques utilisés pour l'étanchéité des fossés et des bassins d'eaux du site sont, le plus souvent, exposés au rayonnement ultra-violet (UV). De plus, ces géosynthétiques se trouvent, soit au contact de liquides acides, cas des effluents non traités à pH proche de 2, soit au contact d'eaux à un pH proche de la neutralité, dans le cas des eaux météoriques et des effluents traités.

Différentes familles de géosynthétiques ont été répertoriées ou identifiées sur le site :

- des géofilms PVC, d'épaisseur inférieure à 1 mm, y ont été employés entre 1983 et 2008,
- des géomembranes en PVC plastifié, PVC-P, y ont été utilisées depuis 1983 et jusqu'à ce jour ; leurs épaisseurs varient de 1 à 1,5 mm,
- moins fréquentes sur le site, des géomembranes en PeHD 2mm ont été utilisées, a priori entre 1998 et 2004, sur un seul bassin.

Nous n'avons pas détecté de défaut visuel sur la géomembrane PeHD utilisée sur un des bassins. Dès lors, nous avons focalisé notre expertise sur les bassins n°1, 2, 3 et 4, ainsi que sur les fossés du site, tous étanchés à l'aide de géomembranes PVC-P. En effet, il était possible, visuellement, de différencier, sur ces ouvrages, différents stades de vieillissement des géomembranes utilisées.

2. Les géomembranes et leur mode de vieillissement – rappels

Les éléments synthétisés dans ce chapitre ont été adaptés, notamment, à partir de l'ouvrage de synthèse publié par le LCPC (Benneton, 2008 ; Hsuan et al., 2008 ; Girard et Poulain, 2002).

2.1. Le vieillissement des géomembranes en général – principes et définitions

La durabilité d'une géomembrane est la durée d'usage au bout de laquelle elle devient inapte à sa fonction principale dans l'ouvrage considéré : l'étanchéité aux fluides, liquides ou gazeux.

Cette fonction n'est assurée que si :

- il y a absence de percement ou de déchirure de la géomembrane,
- la perméabilité intrinsèque de la géomembrane reste inférieure à un niveau exigé pour l'ouvrage considéré, niveau qui doit être défini dans le cahier des charges.

Au cours du temps, sous l'action d'agressions diverses, la perméabilité intrinsèque augmente, pour toutes les familles de géomembranes. Ce vieillissement n'est pas directement préjudiciable à la fonction étanchéité au sein de l'ouvrage, tant que cette perméabilité reste en deçà d'un seuil limite, dépendant de l'ouvrage et de sa sensibilité. Ce vieillissement s'accompagne le plus souvent d'une fragilisation des géomembranes, qui deviennent plus sensibles aux agressions mécaniques et donc à l'apparition de perforations, voire de déchirures, à sollicitation mécanique constante. La durée au bout de laquelle le seuil de perméabilité critique est atteint s'appelle la « durée de vie » ou « durabilité ».

Les modes d'altération des géomembranes dépendent des contraintes de service, liées aux types d'application (stockage de liquide agressif ou non, exposition, agressions climatiques, etc.). Les géomembranes, non protégées et exposées aux intempéries, vieillissent généralement plus vite que les géomembranes recouvertes et protégées de l'action des UV.

L'étanchéité des géomembranes est plus ou moins complexe à mesurer expérimentalement mais l'évolution d'autres caractéristiques traduit indirectement l'altération de leur étanchéité.

En effet, pour la plupart des familles de géomembranes, le vieillissement s'accompagne principalement des évolutions suivantes :

- augmentation de la rigidité,
- variation de masse,
- variation des caractéristiques en traction (augmentation du module d'élasticité, notamment),
- retrait dimensionnel et microfissurations,
- mise en tension du produit lié au retrait,
- augmentation de la perméabilité intrinsèque.

Ainsi, pour un produit donné et un contexte de vieillissement défini, il est possible d'établir des corrélations entre l'évolution de ces différentes caractéristiques. Bien sûr, les cinétiques de cette évolution sont différentes selon les contextes et les produits concernés. L'évolution des caractéristiques mécaniques (masse, rigidité, etc.) des géomembranes est plus facilement mesurable, voire observable directement (retrait et fissurations), que l'augmentation de la perméabilité intrinsèque.

2.2. Les géomembranes en Polychlorure de Vinyle Plastifié (PVC-P)

Le mode de vieillissement du Polychlorure de Vinyle (PVC), en l'absence de plastifiant, est régi par la dégradation du polymère par oxydation, notamment sous l'effet de la chaleur ou des UV. Des additifs appropriés ont donc été développés pour permettre aux produits d'atteindre des durées de vie de plusieurs dizaines d'années, en général. On parle alors de PVC plastifié ou PVC-P.

Les géomembranes en PVC-P ont été utilisées en France dès les années 1970, d'abord pour la réalisation d'étanchéités de toiture puis dans les ouvrages souterrains et, enfin, dans les barrages et bassins divers, dès 1983, y compris sur notre site d'étude.

Ces géomembranes sont généralement soudées thermiquement, parfois avec un canal central entre deux zones soudées (« double soudure ») pour permettre le contrôle en pression (injection d'air ou de liquide) de grands linéaires de soudures : c'est souvent le cas sur le site étudié.

Les géomembranes en PVC-P sont habituellement constituées de :

- 60 à 70% de polymère PVC,
- 30 à 35 % de plastifiant,
- 0 à 15 % de charges minérales (siliceuses en général),
- quelques % d'additifs divers tels que stabilisants, anti-UV, antifongiques, antioxydants, etc.

Sans la présence du plastifiant, le PVC est cassant. Le rôle fondamental du plastifiant est donc d'assouplir le produit et d'en permettre la soudure thermique.

2.3. Le vieillissement des géomembranes en PVC-P

Dans le cas des géomembranes en PVC-P, le vieillissement propre au PVC (déhydrochloruration, coupures de chaînes macromoléculaires) s'accompagne d'un processus d'altération dû à la perte progressive du plastifiant, par diffusion et dissolution dans les fluides au contact de la géomembrane (phase aqueuse et évaporation dans l'air, notamment).

Plusieurs cas de vieillissement de géomembranes PVC-P ont été décrits et analysés dans la littérature (Girard et Poulain, 2002 ; Benneton, 2008.). Certains cas sont qualifiés de « satisfaisants », durée de service de 20 ans sans désordre apparent et d'autres, dans le cas de géomembranes moins bien formulées ou mal utilisées, aboutissent à la ruine de l'ouvrage en quelques années.

Les pathologies décrites sont assez similaires : au stade ultime, on constate des déchirures de la géomembrane PVC-P, plus ou moins nombreuses, entraînant une perte partielle ou totale de la fonction étanchéité. Il est également systématiquement observé une forte mise en tension et un retrait dimensionnel important de la géomembrane, associés à une perte de souplesse.

Dans la littérature, on rapporte deux modes de déchirures, également observés sur le site d'étude :

- des déchirures « en étoile », isolées ou groupées sur une surface de plusieurs mètres carrés. Elles résultent d'une mise en tension relativement isotrope au sein du produit (Figure 2) ;
- des déchirures linéaires, généralement situées le long d'une soudure : elles peuvent atteindre plusieurs mètres et sont accentuées par les tassements éventuels du support (Figure 3). Elles traduisent de fortes tensions (anisotropes) dans la géomembrane, avant sa rupture.



Figure 2. Deux dimensions de déchirures "en étoile" des géomembranes en PVC-P, sur le site étudié



Figure 3. Déchirure linéaire (Gmb PVC-P) résultant d'une mise en tension anisotrope, sur le site étudié

3. Vieillissement des géomembranes en PVC-P : pathologies observées sur le site étudié

Les pathologies observées sur le site étudié sont conformes aux descriptions de la littérature.

Elles résultent principalement des processus d'altération physico-chimique suivants :

- une exposition aux UV, permanente (zone hors eau) ou temporaire sous la zone de marnage,
- une exposition aux liquides stockés et à leur éventuelle agressivité chimique (forte acidité),
- une exposition aux variations de température.

En raison de ces contraintes d'exposition, les phénomènes d'altération suivants sont mis en jeu :

- pour le polymère : thermo-oxydation et photo-oxydation (UV),
- pour le plastifiant : perte par diffusion, dissolution et/ou évaporation, accentuée par la chaleur,
- dé-plastification accélérée au contact des micro-organismes,
- accélération de la dégradation du polymère et de la perte de plastifiant par agressivité chimique au contact de liquides acides (pH de l'ordre de 2).

Ces mécanismes d'altération se traduisent par tout ou partie des indicateurs décrits au § 0.

3.1. Classification visuelle des pathologies observées sur le site

Même si la mesure rigoureuse du vieillissement des géomembranes en PVC-P requiert la réalisation d'essais de laboratoire (comportement mécanique et mesure du taux de plastifiant, voire mesure de l'étanchéité), le vieillissement, au-delà d'un certain stade, se traduit, sur le site étudié, comme pour ceux décrits dans la littérature, par un certain nombre d'indicateurs facilement identifiables sur le terrain.

Nous proposons donc de codifier de manière simple cette hiérarchisation des pathologies. En effet, nous avons observé, sur les géomembranes PVC-P exposées sur le site, les pathologies suivantes, décrites par ordre de gravité dans le Tableau 1.

Tableau 1. Codification des différents stades de vieillissement observés sur les géomembranes en PVC-P du site

Codification proposée	Indicateurs visuels du vieillissement	Niveau d'étanchéité résiduel	Illustration photographique (exemples)
A	Pas de tension ni de défauts visibles dans la géomembrane : vieillissement « invisible »	Probablement satisfaisant	
B	Géomembrane rigidifiée, retrait et mise en tension du produit sans autre altération visuelle	À confirmer en laboratoire mais probablement suffisant	
C	Géomembrane rigidifiée, retrait et mise en tension du produit, soulèvements et distorsions au droit des soudures	À confirmer en laboratoire mais possiblement suffisant	
D	Géomembrane rigidifiée, retrait et mise en tension, distorsion au droit des soudures, fentes ouvertes et déchirures	L'étanchéité n'est plus totalement fonctionnelle et l'ouvrage est partiellement fuyard	
E	Géomembrane rigidifiée, retrait et mise en tension, distorsion au droit des soudures et déchirures majeures	Ruine de l'ouvrage	

En première approximation, sur le site concerné, les pathologies B et C n'apparaissent qu'au bout de quelques années et les pathologies D et E au bout d'une dizaine d'années. Bien sûr, ce point mériterait d'être précisé par le biais d'une étude suivie sur le long terme.

Nous avons classifié chacun des ouvrages du site en respectant cette codification « visuelle ». L'objectif est de permettre un suivi ultérieur selon la même codification et d'évaluer la cinétique des phénomènes, pour laquelle nous manquons d'informations à ce stade de l'étude.

3.2. Expertise sur le site : analyse ouvrage par ouvrage

Les bassins n°1 à 4 et divers fossés, notamment, ont fait l'objet de l'expertise qui est présentée ensuite.

3.2.1. Le Bassin n°1

Le Bassin n°1 a subi les déchirures majeures qui ont déclenché l'expertise (Figure 4)



Figure 4. Bassin n°1 le 17/12/2013

Le vieillissement de la géomembrane en PVC-P, posée en 1992 d'après les documents retrouvés, est très avancé : stade E de notre codification. Les déchirures, majeures, sont du type « déchirures en étoile ». Elles ont été causées par le retrait très important de la géomembrane vieillie et par sa mise en tension isotrope. La déchirure est apparue au droit d'une cavité dans le support et la charge en effluent au droit de cette cavité a certainement généré la contrainte responsable de l'éclatement observé.

Le vieillissement a probablement été accéléré, dans un premier temps par le contact avec des liquides acides mais aussi par l'exposition aux UV : de fait, les désordres majeurs sont apparus sur le talus nord du bassin, exposé vers le sud, ce qui semble indiquer que le facteur « exposition aux UV » est déterminant dans la cinétique de vieillissement des géomembranes PVC-P sur le site.

Toute tentative de réparation partielle se serait soldée à court terme par de nouveaux désordres car le produit en place se trouvait à un stade de vieillissement trop important. La mise en œuvre d'une nouvelle étanchéité, après reprise du support, s'est donc avérée nécessaire (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 2. Synthèse - Bassin n°1

Bassin n°1	
Âge supposé de l'étanchéité	1992
Nature de la géomembrane	PVC-P 1,5 mm
Codification du vieillissement	Stade E : ruine de l'ouvrage
Action proposée	Refaire le fond de forme et l'étanchéité, en totalité ; choisir une géomembrane souple, résistante à pH 2

3.2.2. Le Bassin n°2

La géomembrane en PVC-P du bassin n°2, d'épaisseur 1,5 mm, présente également un stade de vieillissement avancé. Elle a été posée en 1994. Elle est en tension sur la quasi-totalité de l'ouvrage et

des déchirures commencent à se développer le long des soudures, sur les flancs du bassin exposés au rayonnement UV. L'étanchéité de l'ouvrage est donc partielle.



Figure 5. Détail du bassin n°2 le 17/12/2013 - mise en tension, soudure soulevée et déchirure

La mise en œuvre d'une nouvelle étanchéité complète sur ce bassin sera nécessaire, après reprise du support (Tableau 3). S'agissant d'un bassin de stockage d'effluents acides, le choix de la géomembrane pourrait se porter sur un produit privilégiant la résistance aux acides.

Tableau 3 : synthèse - Bassin n°2

Bassin n°2	
Âge de l'étanchéité	1994 d'après le marquage sur la géomembrane
Nature de la géomembrane	PVC-P 1,5 mm
Codification du vieillissement	Stade D : tensions importantes et apparition de déchirures, perte d'étanchéité
Action proposée	Refaire le fond de forme et l'étanchéité, choisir une géomembrane résistante à pH 2.

3.2.3. Les Bassins n°3 et n°4

L'étanchéité des bassins de stockage d'eau de surface n°3 et n°4 (Figure 6) semble être réalisée en géomembrane PVC-P de 1 à 1,5 mm d'épaisseur. Elle date de 2008, d'après les informations obtenues.



Figure 6. Bassin de stockage d'eau n°3 le 17/12/2013 - pas de traces de vieillissement important

Le vieillissement des géomembranes des bassins n°3 et 4 se traduit par un retrait déjà bien visible (Figure 6). Il correspond au vieillissement, attendu, d'une géomembrane en PVC-P, âgée de 6 ans, au contact d'eau de surface et peu exposée aux UV (zones ombragées). Il n'y a pas de réparation à entreprendre sur ces bassins mais il convient de poursuivre leurs contrôles périodiques (Tableau 4).

Tableau 4. Synthèse - Bassins de stockage d'eaux de surface n°3 et n°4

Bassins de stockage d'eaux de surface n°3 et n°4	
Âge supposé de l'étanchéité	2008, d'après les informations obtenues
Nature de la géomembrane	PVC-P, selon nos observations
Codification du vieillissement	Stade B : début de vieillissement visible ; retrait de la géomembrane
Action proposée	Bassins à conserver en l'état ; poursuivre les contrôles et les nettoyages périodiques

3.2.4. Les fossés du site

Les fossés du site ont été étanchés par des géoflms et des géomembranes en PVC-P, d'épaisseur <1 à 1,5 mm. Ces fossés font l'objet d'une maintenance au cours du temps. Le stade de vieillissement des produits, exposés, est donc très variable : quasiment « neufs » sur certains tronçons et très dégradés (stade D, voire E) sur d'autres (

Figure 7). Malgré toute l'attention portée, l'évacuation par une pelle mécanique des matériaux décaantés dans les fossés crée des percements. Ces percements sont réparés par des rustines, ce qui génère ensuite des tensions et retraits différentiels puis des déchirures.



Figure 7. Divers stades de vieillissement des Gmb PVC-P des fossés du site : A, neuve - C, vieillie et décolorée au contact des liquides acides - D, déchirée au bord des anciennes rustines.

Dès lors, il convient de procéder à un relevé détaillé et complet de l'état des géosynthétiques et de leurs stades de vieillissement sur l'ensemble des fossés, afin d'établir un plan d'action (Tableau 5).

Tableau 5. Synthèse - fossés du site

Fossés du site	
Âge supposé de l'étanchéité	Variable (entre 20 ans et aujourd'hui)
Nature des produits	Géoflms et géomembranes en PVC-P
Codification du vieillissement	Stades A à D, voire E, selon les tronçons
Action proposée	Établir un relevé détaillé de l'état de vieillissement des produits et mettre en œuvre un plan de renouvellement.

Il s'agira ensuite de renouveler ces géosynthétiques dans l'ordre inverse de leur état de vieillissement, en commençant par les produits dégradés au stade E, puis D, C, etc.

4. Conclusions

Suite à la rupture d'une géomembrane en PVC-P sur un bassin d'un site industriel, une expertise de l'ensemble des ouvrages du site étanchés par géofilms et géomembranes en PVC-P, bassins et fossés, a été réalisée.

Sur l'ensemble du site, les produits qui ont été utilisés sont majoritairement des géomembranes en PVC-P, d'épaisseur variant de 1 à 1,5 mm, même s'il convient de préciser que certaines identifications n'ont pu être faites que visuellement.

Cette expertise nous a permis de hiérarchiser et de codifier en 5 grandes catégories (classées A à E) les pathologies observées sur les géomembranes et les géofilms en PVC-P exposés au rayonnement UV et/ou aux effluents acides, par ordre de gravité et probablement par ordre d'apparition.

En effet, en raison des contraintes subies par ces géosynthétiques en PVC-P, les phénomènes d'altération successifs ont conduit à l'apparition de désordres, observables visuellement :

- rigidification du produit, observable dès 6 ans d'exposition,
- retrait dimensionnel et fissurations, pour des produits plus âgés,
- augmentation probable de la perméabilité intrinsèque, à confirmer en laboratoire,
- apparition de déchirures plus ou moins importantes, jusqu'à une vingtaine d'années de service.

Bien sûr, l'âge n'est pas le seul facteur de vieillissement sur le site et, selon leur histoire, leurs conditions d'exposition au rayonnement ultraviolet et la nature des effluents au contact des géofilms et des géomembranes, ce vieillissement se trouve, aujourd'hui, à un stade plus ou moins avancé.

La cinétique de vieillissement des géosynthétiques en PVC-P utilisés sur le site devra, ensuite, être calée à partir d'essais de laboratoire à réaliser sur des échantillons prélevés en divers endroits du site et correspondant à des conditions d'exposition différentes.

Par ailleurs, les actions à entreprendre sur les différents ouvrages du site ont pu être définies.

Selon la gravité des désordres observés, il s'agit :

- dans les cas les plus favorables, correspondant aux ouvrages les plus récemment étanchés (0 à 6 ans) et/ou moins exposés aux UV et aux effluents acides, de surveiller l'évolution des produits dont le stade de vieillissement actuel ne requiert pas d'autre action,
- à l'autre extrême, dans les cas les plus défavorables, correspondant aux ouvrages étanchés il y a une vingtaine d'année et plus sévèrement exposés, de refaire intégralement l'étanchéité de l'ouvrage concerné, sur une nouvelle couche de pose.

Certains ouvrages se trouvent à des stades intermédiaires de vieillissement qui rendent plus difficiles les recommandations basées sur les seules observations visuelles.

Pour ces ouvrages, seuls des prélèvements d'échantillons de géomembranes en 4 points (hors eau et sous eau, exposée au soleil ou non) permettront de mesurer leurs caractéristiques résiduelles en laboratoire et de définir un plan de renouvellement des géomembranes sur des bases scientifiques étayées.

5. Références bibliographiques

- Benneton J.P. (2008). Durabilité des géomembranes – Vieillissement physico-chimique et endommagement mécanique, *publication du LCPC, sous la direction de Jean-Paul Benneton, 252 pages, juillet 2008.*
- Girard H., Poulain D. (2002). Durability of PVC-P geomembranes used in hydraulic structures: feedback on experience. Proceedings, *7th ICG – IGS International Conference on Geosynthetics. Delmas, Gourc & Girard (Eds), p.709.*
- Hsuan Y.G., Schroeder H.F., Rowe K., Müller W., Greenwood J., Cazzuffi D., Koerner R.M. (2008). Long term performance and lifetime prediction of geosynthetics, *Keynote Lecture, EuroGeo 4, Edinburgh, September 6-10, 2008.*

