

# COMPORTEMENT D'UNE GÉOMEMBRANE EPDM 18 ANS APRÈS SON INSTALLATION DANS LA RETENUE D'EL BOQUERON (TENERIFE, ESPAGNE)

## CONDITION OF THE EPDM GEOMEMBRANE 18 YEARS AFTER INSTALLATION IN THE "EL BOQUERON" WATER RESERVOIR (TENERIFE ISLAND, SPAIN)

Manuel BLANCO<sup>1</sup>, Nathalie TOUZE-FOLTZ<sup>2</sup>, Bernat AMAT<sup>3</sup>, Francisca CASTILLO<sup>1</sup>, Escolástico AGUIAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CEDEX (Laboratoire central des structures et des matériaux), Madrid, Espagne.

<sup>2</sup> IRSTEA, Antony, France

<sup>3</sup> Firestone Building Products, Zaventem, Belgique

<sup>4</sup> BALTEN, Santa Cruz de Tenerife, Espagne

**RÉSUMÉ** – Cette étude présente le suivi du comportement d'une géomembrane EPDM installée il y a 18 ans dans la retenue d'eau d'El Boquerón (îles Canaries, Espagne). Pour ce faire, des échantillons ont été prélevés à intervalles réguliers à différents endroits de la retenue. Ces échantillons ont été testés en laboratoire selon les essais suivants : pliage à basse température, résistance au poinçonnement statique et dynamique, dureté Shore-A, résistance à la traction et allongement à la rupture, résistance des joints et techniques de microscopie (état de la surface). Les résultats obtenus attestent du bon état de conservation de la géomembrane EPDM.

Mots-clés : Géomembrane, Imperméabilisation, EPDM, Durabilité, Retenue.

**ABSTRACT** – The purpose of this study is to evaluate the durability of an EPDM geomembrane installed 18 years ago in the water reservoir of El Boquerón (Canary Islands, Spain). To do so, samples were regularly taken from different places of the water reservoir. Samples were laboratory tested as follows: foldability at low temperature, static and dynamic puncture resistance, Shore-A hardness, tensile strength and elongation at break, seam strength and microscopic techniques. The obtained results confirm the EPDM geomembrane is still in good condition.

Keywords: Geomembrane, Waterproofing, EPDM, Durability, Water Reservoir.

## 1. Introduction

Dans son rapport publié à Paris en 1991, la Commission Internationale des Grands Barrages indique que la première géomembrane utilisée dans un ouvrage hydraulique était composée de caoutchouc synthétique butyle (International Commission of Large Dams, 1991). Elle fut utilisée en 1959 pour imperméabiliser la retenue de Kualapuu à Holokai (Hawaï).

En Espagne, c'est également ce type de membrane en caoutchouc synthétique qui fut utilisé à l'origine pour imperméabiliser des retenues d'eau. Leur utilisation a commencé dans la zone de Ibi, sur la côte méditerranéenne et s'est étendue sur l'ensemble du pays jusqu'à la frontière portugaise, où l'Azud (barrage de faible dimension) de Matavacas (Huelva) fut imperméabilisé en 1974 (Cea et al., 2003 ; Blanco et al., 2010).

Le caoutchouc butyle est une macromolécule qui présente dans sa structure un grand nombre de double liaisons, dont les enchaînements "TT" (trans-trans) sont susceptibles d'être attaqués par des réactifs électrophiles tels que l'ozone et, de ce fait, la géomembrane butyle peut subir une détérioration importante. Les chercheurs ont recherché un caoutchouc synthétique qui ne soit pas sensible à ce phénomène et l'ont trouvé dans le terpolymère EPDM. Cette macromolécule est constituée de trois monomères : éthylène, propylène et diène, ce dernier étant présent à des concentrations maximales de 5%. Le premier diène utilisé était le 1,3-butadiène qui fut ensuite remplacé par d'autres types tels que le cyclopentadiène, améliorant considérablement les performances initiales (Davis et al., 1998).

Parmi les nombreux ouvrages hydrauliques existant en Espagne, cette étude a choisi de se pencher sur la retenue d'El Boqueron, imperméabilisée à l'aide d'une géomembrane EPDM dont l'évolution de propriétés au cours du temps est présentée dans le présent article.

## 2. La retenue

La retenue d'El Boqueron est située dans la localité de Valle de Guerra, dans la municipalité de La Laguna, au Nord de l'île de Tenerife (Figures 1 et 2). Les îles Canaries se trouvent dans une zone géographique où l'indice UV maximum par temps clair (Figure 3) est considéré comme élevé (indice entre 6,5 et 8,5). Les caractéristiques techniques de la retenue sont présentées dans le Tableau 1.



Figure1. Localisation géographique de la retenue



Figure 2. Retenue d'El Boquerón

Tableau 1. Caractéristiques techniques de la retenue

Localisation	La Laguna (Tenerife)
Capacité	51.747 m <sup>3</sup>
Hauteur	11,0 m
Altitude	376,7 m
Périmètre	340,7 m
Epaisseur de la géomembrane	1,50 mm
Surface de géomembrane posée	8 991 m <sup>2</sup>
Année d'installation	1992

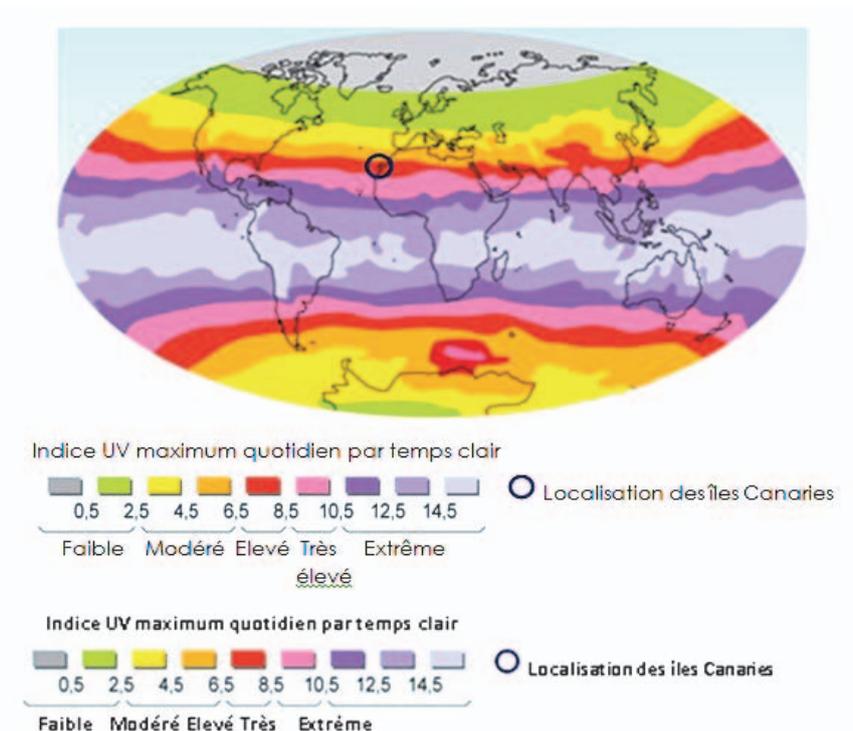


Figure 3. Indice UV maximum quotidien par temps clair (Bournay E., UNEP/GRID-Arendal)

### 3. Retour d'expérience

#### 3.1. Caractéristiques initiales

Le Tableau 2 présente les caractéristiques physiques initiales de la géomembrane EPDM installée dans la retenue d'El Boquerón. Les propriétés physiques initiales sont conformes aux valeurs déclarées dans la fiche technique du producteur. Ces données sont utilisées par la suite comme valeurs de référence pour évaluer le comportement dans le temps des géomembranes EPDM.

Tableau 2. Caractéristiques initiales de la géomembrane EPDM

Caractéristiques	Normes	Valeurs
Épaisseur moyenne	EN 1849-2	1,51 mm
Dureté Shore-A	ISO 7619	68
Pliabilité à -55 °C	EN 495-5	Sans fissures
Résistance au poinçonnement dynamique*	EN 12691	> 350 mm
Résistance à la traction	ISO 527	12,6 MPa
Contrainte à 300 % d'allongement	ISO 527	9,1 MPa
Allongement à la rupture	ISO 527	527 %
Poinçonnement statique		
• Résistance au poinçonnement	EN ISO 12236	266 N/mm
○ Face externe		266 N/mm
○ Face interne		
• Enfoncement du poinçon avant perforation	UNE 104 317	40 mm
○ Face externe		40 mm
○ Face interne		
Résistance des joints par traction pelage	EN 12316-2	68 N/50 mm

(\*) Hauteur de chute du poinçon

### 3.2. Évolution dans le temps

Après la mise en place de la géomembrane EPDM, des échantillons ont été prélevés régulièrement et testés en laboratoire. Sauf indication contraire, les valeurs présentées font référence à des échantillons prélevés dans le talus situé au nord de la retenue (talus le plus exposé au soleil et, de ce fait, aux UV et aux températures élevées).

En ce qui concerne le test de pliage à basse température (- 55°C), aucune fissure ni rupture n'a été observée dans la zone de flexion des échantillons analysés après 18 années d'exposition. De même, lors de l'essai au poinçonnement dynamique, il n'a pas été observé de fissures ou autre type de détérioration dans la zone d'impact lorsque le poinçon était lâché d'une hauteur de 350 mm.

#### 3.2.1. Caractéristiques en traction

La figure 4 présente l'évolution de la résistance à la traction, de la contrainte à 300 % d'allongement et l'allongement à la rupture tout au long des dix-huit années d'installation de la géomembrane EPDM. On peut observer que la résistance à la traction n'évolue pas significativement, alors que l'allongement à la rupture diminue de façon appréciable. On observe également que la force nécessaire pour obtenir un même allongement de 300 % augmente au cours du temps.

Notons qu'après 18 ans d'exposition, l'allongement élastique de la géomembrane EPDM est supérieur à 190 % (reste élastique jusqu'à la rupture), ce qui est très élevé en comparaison avec la majorité des géomembranes thermoplastiques. Cette donnée est importante car l'allongement permmissible détermine la capacité de la géomembrane à s'adapter aux tassements différentiels et aux irrégularités du support et définit donc sa résistance au poinçonnement en conditions réelles.

La diminution de l'allongement à la rupture et l'augmentation de la contrainte à 300 % d'allongement dans le temps s'expliquent par le fait que, dans le cas de l'EPDM, lors du phénomène d'oxydation (induit par la température et les UV), les réactions de combinaison des chaînes carbonées (réticulation) prévalent sur les réactions de scission de la chaîne carbonée principale (Kumar et al., 2004). De ce fait, on observe une diminution de la mobilité moléculaire et une augmentation de la masse moléculaire (Kumar et al., 2004). Ces réactions sont similaires au procédé de vulcanisation utilisé lors de la production de la géomembrane EPDM.

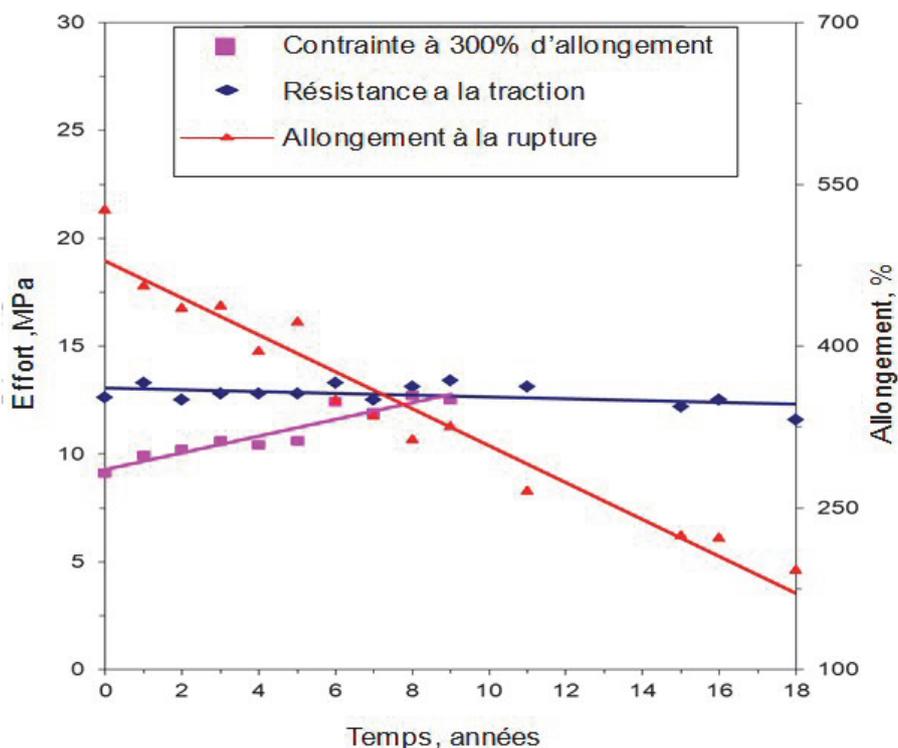


Figure 4. Évolution de la résistance à la traction, de la contrainte à 300 % d'allongement et de l'allongement à la rupture, en fonction du temps

### 3.2.2. Dureté Shore-A

La valeur de dureté Shore-A a augmenté au cours du temps comme le montre la figure 5. L'augmentation de la dureté Shore-A s'explique par la diminution de la mobilité moléculaire comme expliqué dans le paragraphe 3.2.1.

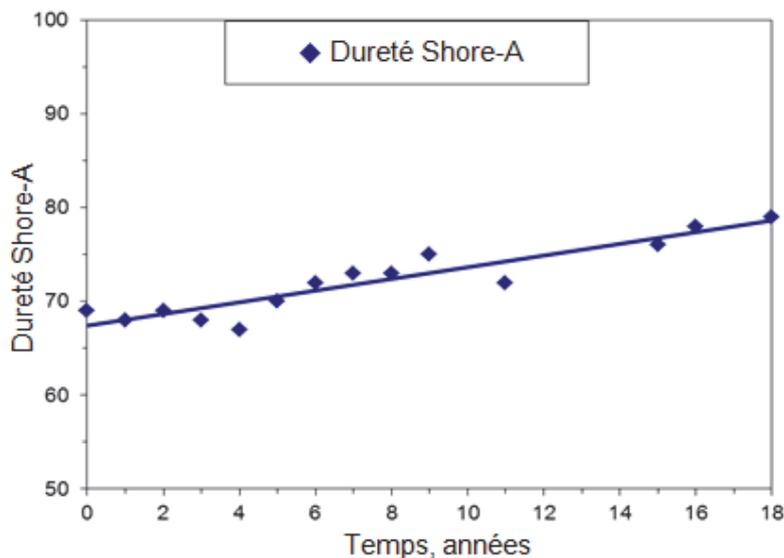


Figure 5. Variation de la dureté Shore-A en fonction du temps

### 3.2.3. Résistance au poinçonnement

Les figures 6 et 7 présentent respectivement la résistance au poinçonnement statique et la distance parcourue par le poinçon avant perforation. La distance parcourue par le poinçon avant perforation est une mesure qui permet d'évaluer la résistance au poinçonnement en conditions réelles car elle donne une idée de l'adaptabilité de la géomembrane aux conditions du support. La résistance au poinçonnement augmente au cours du temps, compte tenu de l'augmentation du degré de réticulation de la géomembrane (même phénomène qui explique l'augmentation de la contrainte à 300 %). D'autre part, la distance parcourue par le poinçon avant perforation diminue au fur et à mesure compte-tenu de la diminution de la mobilité des molécules (même phénomène qui explique la diminution de l'allongement à la rupture). Il est à noter que cette dernière valeur (27 mm après 18 ans) reste très élevée et bien supérieure à celles habituellement mesurées sur la grande majorité des géomembranes thermoplastiques utilisées en imperméabilisation (Blanco et al., 2012).

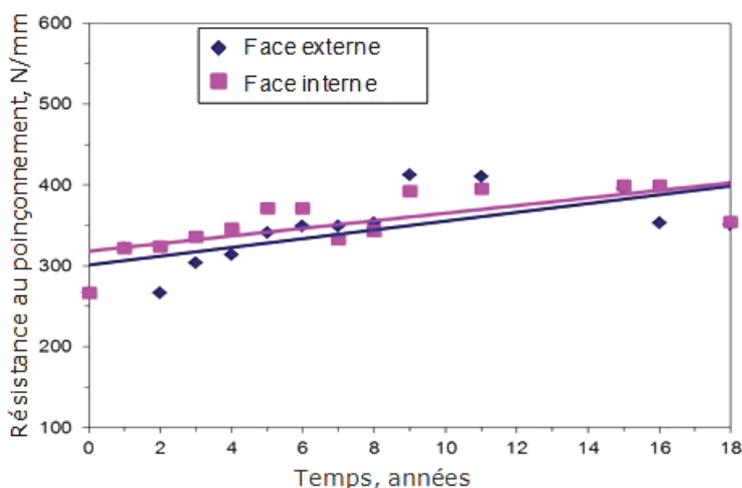


Figure 6. Évolution de la résistance au poinçonnement statique en fonction du temps

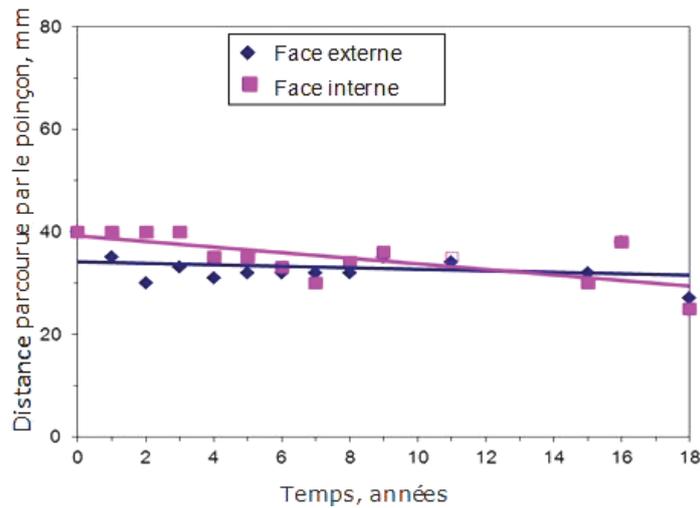


Figure 7. Évolution de l'enfoncement du poinçon avant perforation en fonction du temps

### 3.2.4. Résistance des joints

Après 18 ans d'exposition, la valeur de résistance des joints au cisaillement est de 645 N/50 mm. La figure 8 montre que, lors des 8 premières années, les mesures de la résistance des joints au pelage sont relativement variables. Les mesures réalisées lors des 10 années suivantes sont plus constantes et montrent une légère tendance à l'augmentation de la résistance au pelage.

La variabilité des mesures de pelage s'explique en partie par le système d'assemblage de l'époque consistant à apposer une colle à base de butyle dont l'application uniforme n'était pas garantie. C'est une des raisons pour laquelle, depuis de nombreuses années, la colle butyle a été remplacée par d'autres systèmes tels que la bande autoadhésive qui assure une meilleure constance de la qualité du joint.

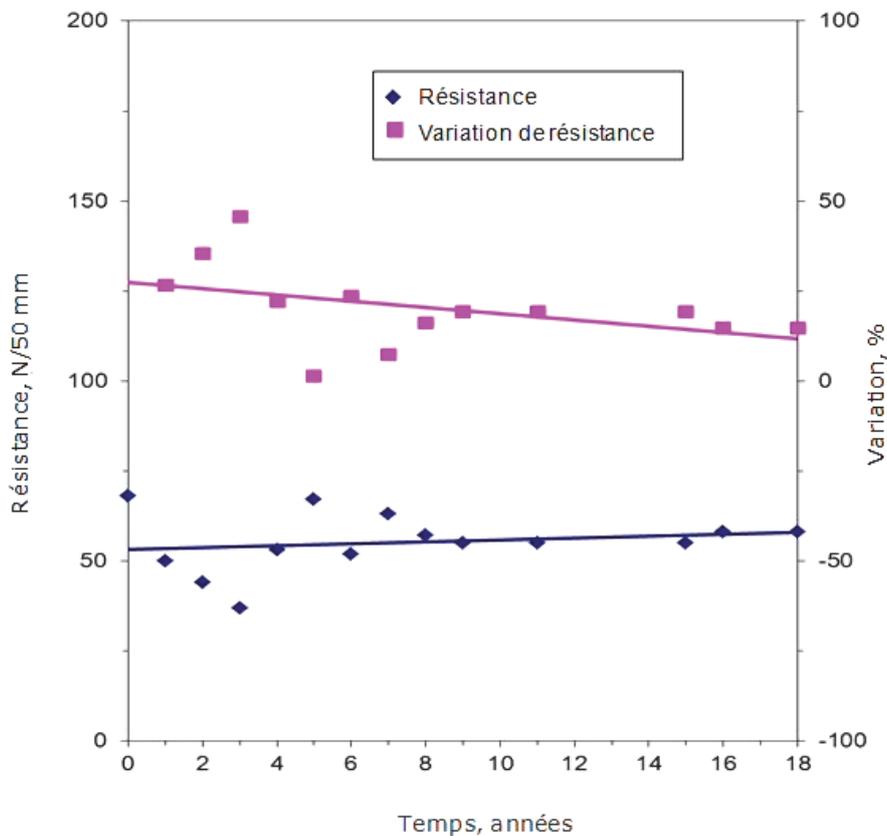


Figure 8. Évolution de la résistance des joints au pelage en fonction du temps

### 3.2.5. Analyse microscopique

Des observations par microscopie optique de réflexion (grossissements x40) et par microscopie électronique à balayage (grossissements x90) ont été réalisées selon les conditions documentées dans la littérature (Soriano et al., 2012) afin d'évaluer l'état de la surface de la géomembrane 18 ans après son installation (figure 9).

Si l'on prend en compte l'état de surface d'une géomembrane EPDM non exposée (Blanco et al., 2011), on constate par microscopie optique en mode réflexion qu'après 18 ans, les faces internes et externes de la géomembrane semblent être en bon état, la face interne présentant un meilleur aspect.

La microscopie électronique à balayage montre que, dix-huit ans après l'installation de la géomembrane, on observe la présence de micropores attestant d'une légère dégradation de la face interne de la géomembrane. La face externe présente quant à elle des microfissures.

Ces microfissures semblent relativement superficielles et n'affectent pas la résistance mécanique de la géomembrane, comme l'attestent l'évolution de la résistance à la rupture et au poinçonnement étudiés précédemment. Ceci s'explique par le réseau fortement réticulé de la géomembrane EPDM qui distribue les charges équitablement sur l'ensemble des chaînes carbonées et qui limite la diffusion des éléments potentiellement dégradants (Scott, 2002).

Ces observations sont à mettre en parallèle avec les résultats de l'étude des états de surface réalisée par Soriano et al. (2012) menée sur différents types de géomembranes. Cette dernière conclut que l'impact de l'exposition aux UV est visible sur ces matériaux organiques et qu'il est beaucoup plus important sur les géomembranes thermoplastiques que sur les géomembranes thermostables tels que les caoutchoucs synthétiques (Soriano et al., 2012).

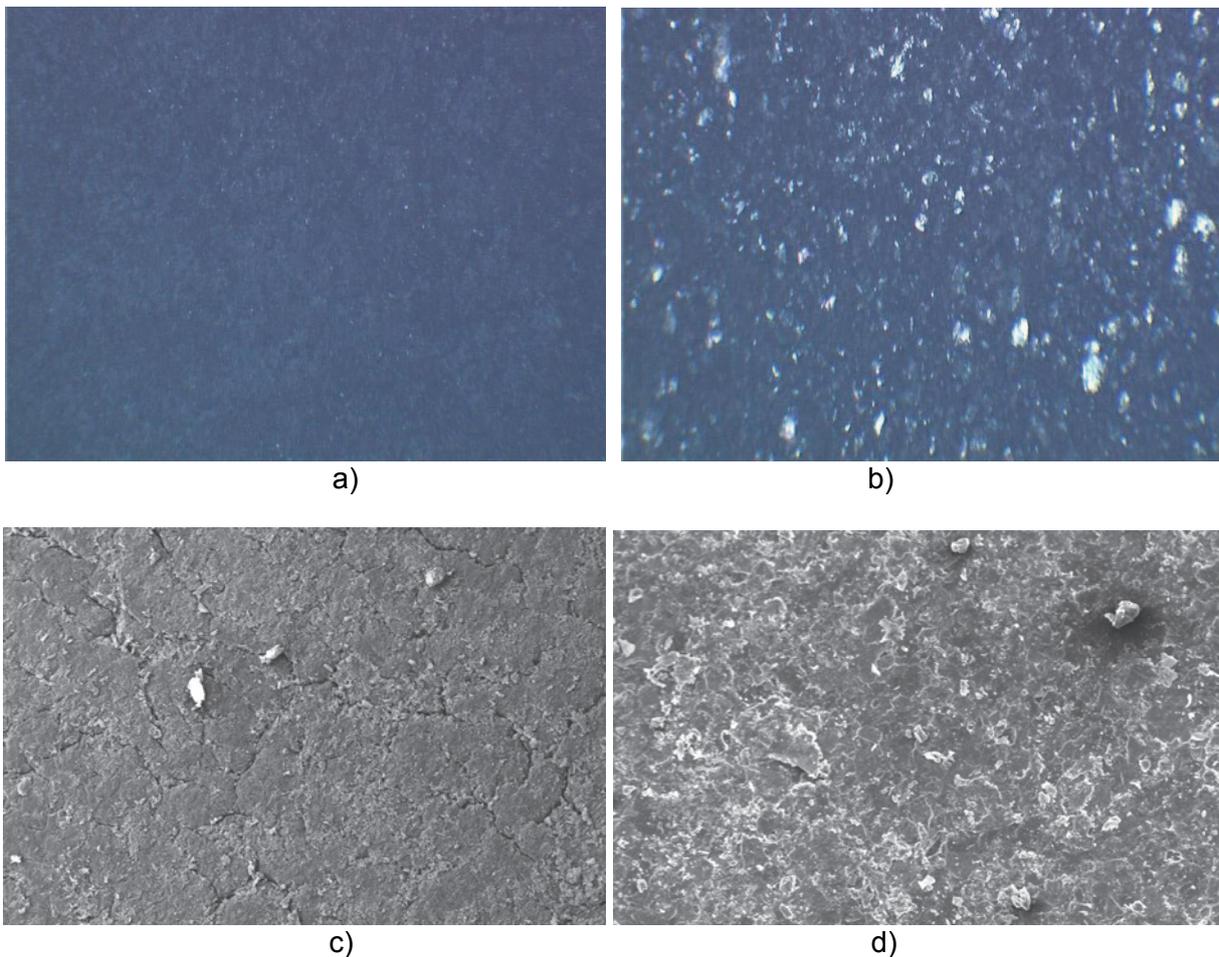


Figure 9. Microphotographies (x40) par microscopie optique de réflexion de la face externe (a) et interne (b). Microphotographies (x90) par microscopie électronique à balayage de la face externe (c) et interne (d). 18 ans après l'installation.

### 3.3. Influence de la zone de prélèvement des échantillons

Dans le but de connaître le comportement de la géomembrane EPDM dans d'autres zones que le talus nord, des échantillons ont également été prélevés dans le fond (moins exposé, car protégé par l'eau) et le talus situé au sud de la réserve. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.

Indépendamment de leur orientation et de leur degré d'exposition, l'ensemble des échantillons analysés après 18 ans montrent une évolution similaire de leurs propriétés mécaniques. Il est systématiquement observé que la résistance à la traction est quasiment constante, que l'allongement à la rupture et la distance parcourue par le poinçon avant perforation diminuent de manière significative et que la dureté Shore-A et la résistance au poinçonnement statique augmentent au cours du temps. Les résultats montrent également que les signes de vieillissement les plus manifestes ont été observés sur les échantillons prélevés sur le talus Nord, zone qui reçoit les radiations solaires les plus importantes.

Tableau 3. Caractéristiques de la géomembrane en fonction de son exposition 18 ans après l'installation

Caractéristiques	Référence	Talus		Fond
		Nord	Sud	
Résistance à la traction (MPa)	12,6	11,6	12,9	10,0
Allongement à la rupture (%)	527	193	271	255
Résistance au poinçonnement (N/mm)	266	351	367	371
Enfoncement du poinçon avant perforation, mm	40	27	30	34
Dureté Shore-A	69	79	78	80
Résistance des joints par traction pelage (N/50 mm)	68	58	60	45

## 4. Conclusions

Les résultats obtenus lors du contrôle périodique de la géomembrane EPDM installée dans la réserve d'El Boquerón permettent de faire les commentaires suivants :

1. tant le pliage à basse température (-55 °C) que la résistance au poinçonnement dynamique n'ont pas montré de fissures, de rupture ou tout autre syndrome de détérioration après réalisation des essais, preuve du bon état de conservation de la géomembrane EPDM 18 ans après son installation ;
2. les caractéristiques mécaniques présentent une résistance à la traction qui ne change pas de manière significative au cours des années ; par contre, l'allongement à la rupture diminue de manière importante, phénomène caractéristique des matériaux thermostables, suite à l'augmentation du nombre de liaisons entre les chaînes carbonées (réticulation) ; l'allongement élastique est supérieur à 190% après 18 ans d'exposition ce qui est très élevé pour une géomembrane ; cette dernière propriété donne une information importante sur la capacité de la géomembrane à s'adapter aux tassements différentiels et aux irrégularités du support ;
3. la résistance au poinçonnement et les mesures de dureté Shore A augmentent au cours du temps ; c'est une conséquence de l'augmentation du degré de réticulation de la géomembrane qui diminue la mobilité moléculaire ; la distance parcourue par le poinçon avant perforation, mesure qui permet d'évaluer la résistance au poinçonnement en conditions réelles, diminue dans le temps ; toutefois, la valeur obtenue après 18 ans d'exposition (27 mm) est supérieure à celle de la majorité des géomembranes thermoplastiques utilisées habituellement dans le domaine de l'imperméabilisation ;
4. la résistance des joints au cisaillement, preuve de la qualité des joints, indique que les joints entre lès sont corrects ; les valeurs de résistance des joints au pelage sont relativement faibles et variables compte-tenu de l'utilisation d'un ancien système d'assemblage qui consistait en l'application de colle à base de butyle dans la zone de joint ;
5. les microphotographies réalisées par microscopie optique et à balayage montrent un matériau en bon état de conservation ; seuls des micropores et quelques microfissures ont été détectés, mais on note une totale absence de cratères, de fissures et de micro fentes ;
6. il n'a pas été observé de grandes différences de comportement entre les échantillons prélevés dans le fond (couverts par l'eau) et les échantillons prélevés au sommet des talus (exposés aux intempéries). ; la zone la plus concernée par le vieillissement est la zone située sur le talus nord ; étant donné que la retenue est située dans l'hémisphère nord, le talus nord est celui qui est orienté vers l'équateur et qui, par conséquent, reçoit la plus grande quantité de radiations solaires (UV et température) responsables de la dégradation des matériaux organiques.

Après 18 ans d'exposition à des conditions climatiques exigeantes (température et rayonnement UV élevés), la géomembrane EPDM utilisée dans la retenue d'eau d'El Boqueron conserve des propriétés mécaniques qui sont encore bien adaptées à cette utilisation.

## 5. Références bibliographiques

- Blanco M., Aguiar E., Castillo F., Soriano J., Noval A.M., Touze-Foltz N., Pargada L., Rico G., Aguiar E. (2011). Comparative study of three different kinds of géomembranes (PVC-P, HDPE, EPDM). *5th European Geosynthetics Congress. Volume 2. pp. 46-54, Valencia.*
- Blanco M., Aguiar E., García F., Vara T., Soriano J., Castillo F. (2011). État de la géomembrane en EPDM de la retenue d' "El Golfo" dans l'île d'El Hierro (Îles Canaries). *Actes, 8<sup>èmes</sup> Rencontres Géosynthétiques, pp.283-293. Tours.*
- Blanco M., Castillo F., García F., Soriano J. (2010). Las geomembranas sintéticas en la rehabilitación y mantenimiento de paramentos de presas. II. *In Romeo et al. (eds.). Dam Maintenance and Rehabilitation Taylor & Francis Group: pp. 335-341. London.*
- Davis J. A., Hoff J. L., Kalwara J. J., Kane E. G. (1998). A review of EPDM systems development. *Proc. X International Congress: International Waterproofing Association: pp. 263-274. Copenhagen.*
- de Cea J.C. de, Asanza E., Blanco M. (2003). Face protection: geomembranes lining vs. paint coating. *Proc. 21 International Congress on Large Dams. Montreal.*
- International Commission on Large Dams. (1991) *Watertight geomembranes for dams. State of the Art Bulletin ICOLD N° 78, Paris.*
- Kumar A., Commereuc S., Verney V. (2004). Ageing of elastomers: a molecular approach based on rheological characterization. *Polymer Degradation and Stability 2004; pp. 751-757*
- Scott G. (2002). *Degradable polymers, principles and applications, 2<sup>nd</sup> edition.* Kluwer Academic Publishers; pp.18-19
- Soriano J., Blanco M., García M. A., Aguiar E., Leiro A., Rubín de Célix M., Mateo, B., Burgos J. (2012). Optical and scanning electron microscopy as advanced analysis methods to determine the condition of geosynthetic geomembranes. *Proc. Eurogeo5. Valencia*
- EN 1849-2. Feuilles souples d'étanchéité - Détermination de l'épaisseur et de la masse surfacique - Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- EN 495-5. Feuilles souples d'étanchéité Détermination de la pliabilité à basse temperature. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- EN 12691. Feuilles souples d'étanchéité - Feuilles d'étanchéité de toitures bitumineuses, plastiques et élastomères - Détermination de la résistance au choc. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- EN ISO 527. Plastiques Détermination des propriétés en traction. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- EN ISO 7619. Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique - Détermination de la dureté par pénétration - Partie 1 : méthode au duromètre (dureté Shore). Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- EN ISO 12236. Essai de poinçonnement statique (essai CBR). Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- EN 12316-2. Feuilles souples d'étanchéité - Détermination de la résistance au pelage des joints - Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- UNE 104 317. Materiales sintéticos. Determinación del recorrido del punzón antes de la perforación en geomembranas sintéticas impermeabilizantes instaladas en balsas.