

# RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE D'UN GÉOSYNTHÉTIQUE BENTONITIQUE SUR UN SITE EXPÉRIMENTAL

## ***ELECTRICAL RESISTIVITY OF A GEOSYNTHETIC CLAY LINER ON AN EXPERIMENTAL SITE***

Fanny GENELLE<sup>1,2</sup>, Colette SIRIEIX<sup>1</sup>, Joëlle RISS<sup>1</sup>, Stéphane RENIE<sup>2</sup>, Philippe BEGASSAT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, Talence, France

<sup>2</sup> HYDRO INVEST, Champniers, France

<sup>3</sup> ADEME, Angers, France

**RÉSUMÉ** – Afin d'évaluer l'étanchéité des couvertures imperméables mises en place sur les installations de stockage de déchets dangereux, des mesures de tomographie de résistivité électrique ont été effectuées au cours de trois années sur une couverture expérimentale créée à l'échelle 1. Cette couverture comporte un géosynthétique bentonitique (GSB) au sein duquel des défauts ont été volontairement créés. Les mesures réalisées le long d'un profil « recoupant » deux des défauts ont mis en évidence une évolution du comportement électrique du GSB au cours du temps, les défauts devenant détectables deux ans après sa pose. Cette évolution pourrait être liée à des modifications des propriétés intrinsèques du matériau (vieillessement, teneur en eau ...).

Mots-clés : géophysique, tomographie de résistivité électrique, installation de stockage de déchets, géosynthétique bentonitique.

**ABSTRACT** – To assess the watertightness of impermeable covers put on hazardous waste landfills, electrical resistivity tomography measurements were carried out during three years on an experimental cover created on a 1/1 scale. This cover is composed of a geosynthetic clay liner (GCL) where defects were voluntarily created. The measurements performed along one profile “crossing” two defects have outlined an evolution of the GCL's electrical behavior over time, defects becoming detectable two years after installation. This evolution could be linked to changes in the intrinsic properties of the material (ageing, water content ...).

Keywords: geophysics, electrical resistivity tomography, landfill, geosynthetic clay liner.

### 1. Introduction

Sur les Installations de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD renfermant les déchets industriels spéciaux, anciennement appelée centre de stockage de déchets de classe 1), une couverture imperméable est normalement mise en place au-dessus des déchets afin de minimiser l'infiltration d'eau et l'accumulation de lixiviats au sein du massif. L'étanchéité de cette couverture est notamment assurée par une géomembrane ou un géosynthétique bentonitique (GSB). Des défauts peuvent cependant apparaître au sein de ces matériaux dès leur mise en place (Touze-Foltz, 2001 ; CFG, 2011). De plus, de nombreux paramètres peuvent affecter l'intégrité du GSB au cours du temps (Zanzinger et Touze-Foltz, 2009). Des études ont, en particulier, été menées sur l'influence des phénomènes de dessiccation/humidification (Bouazza, 2002 ; Bouazza et al., 2007), d'échange cationique (Egloffstein, 2001 ; Silvestre et al., 2003) et de la présence de racines (Cazzuffi et al., 2005). Les analyses effectuées sur des prélèvements de GSB installé sur les ISDD mais aussi sur les Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) en remplacement de la couche d'argile ont démontré une baisse des performances de ce matériau au cours du temps : Melchior, (1997), Meer et Benson (2007), Pirrion et al., (2011) et Scalia et Benson (2011).

Les défauts au sein des couvertures pouvant être le lieu d'infiltration d'eau préférentielle, ils sont susceptibles d'entraîner une augmentation de la quantité de lixiviats sur ces sites. Comme le traitement de ces derniers est coûteux, il est utile et important de localiser les défauts au sein des couvertures. L'étude décrite ici a consisté à déterminer la capacité de la méthode de tomographie de résistivité électrique à détecter des défauts volontairement créés au sein d'une couverture expérimentale.

## 2. La couverture expérimentale

La couverture expérimentale a été installée en septembre 2009 à proximité immédiate des locaux de l'entreprise HYDRO INVEST, située sur la commune de Champniers en Charente. Elle reproduit une couverture imperméable et comprend notamment un GSB surmontant 1 m de matériau argilo-graveleux (Tableau 1). La succession des différentes couches conforme aux recommandations de l'ADEME-BRGM (2001).

Tableau 1. Caractéristiques de la couverture expérimentale

Dimensions	11 m x 12 m
Épaisseur de couverture	1,45 m
Nature et épaisseur des matériaux composant les parcelles	- Terre végétale (0,15 m) - Géotextile - Gravier alluvionnaires lavés calibrés 8-15 mm (0,3 m) - Géosynthétique bentonitique (GSB) - Matériau argilo-graveleux (1,0 m)

Le GSB utilisé dans le cadre de cette étude est, selon la fiche technique du produit, un GSB aiguilleté constitué de bentonite calcique activée avec une masse surfacique sèche de 4 kg/m<sup>2</sup>. Il est constitué d'un géotextile polypropylène non-tissé aiguilleté de masse surfacique de 200 g/m<sup>2</sup> et d'un géotextile polypropylène tissé de masse surfacique de 100 g/m<sup>2</sup>.

Trois lés de GSB d'une longueur de 13 m ont été nécessaires pour recouvrir l'ensemble de la parcelle, la largeur du rouleau étant de 5 m. Le GSB a été placé de façon à dépasser de 1 m les limites de la zone excavée pour la création de la couverture (Figure 1). Les recouvrements des lés de GSB sont d'une largeur de l'ordre de 0,5 m, avec ajout de bentonite en poudre sur une dizaine de centimètres à leur interface, conformément aux recommandations du CFG (2011).

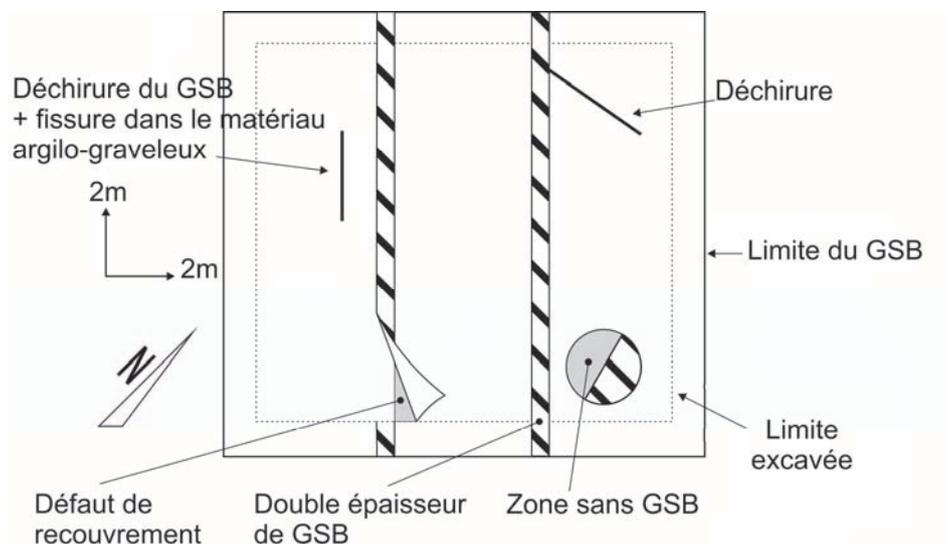


Figure 1. Emplacement des défauts au sein de la couverture expérimentale (schéma vu du dessus)

Plusieurs défauts ont été principalement créés au sein du GSB et simulent essentiellement des malfaçons pouvant apparaître lors de la pose du GSB sur sites réels (Figure 1). L'un d'entre eux associe une déchirure du GSB sur une longueur de 2,5 m à une fissure de 0,04 m de large traversant toute l'épaisseur du matériau argilo-graveleux. Un arrachage semi-circulaire de un mètre de rayon a également été réalisé. Ce défaut peut représenter l'effet d'un coup de godet donné par un engin de chantier sur une installation de stockage de déchets (Figure 2) ; le matériau argilo-graveleux est donc directement en contact avec la couche de graviers sus-jacente à l'endroit de ce défaut. Il est également juxtaposé à une double épaisseur de GSB correspondant à la partie découpée. Enfin, un défaut de recouvrement de deux des lés de GSB a été réalisé sur une largeur de 0,4 m et une longueur de 2 m.



Figure 2. Photographie de l'arrachage créé au niveau du GSB

### 3. La tomographie de résistivité électrique

Cette méthode géophysique consiste à mettre en place des électrodes en acier inoxydable espacées entre elles d'un même écartement et raccordées à une flûte branchée sur un résistivimètre (Figure 3). Les électrodes jouent successivement le rôle d'électrodes d'injection de courant et de mesure de différence de potentiel sur toute la longueur du dispositif. L'écartement croissant entre électrodes permet d'augmenter la profondeur d'investigation.



Figure 3. Photographie du matériel de mesures de tomographie de résistivité électrique

Des pseudo-sections de résistivité apparente sont réalisées à partir des mesures. Ces pseudo-sections sont ensuite inversées afin d'obtenir un modèle des résistivités électriques du terrain.

#### 3.1. Acquisition des mesures

Les mesures de tomographie de résistivité électrique ont été effectuées à l'aide de quarante-huit électrodes espacées de 0,25 m le long du profil AA' selon un dispositif dipôle-dipôle. Ce profil recoupe le défaut de recouvrement et l'arrachage volontairement créés au niveau du GSB (Figure 4).

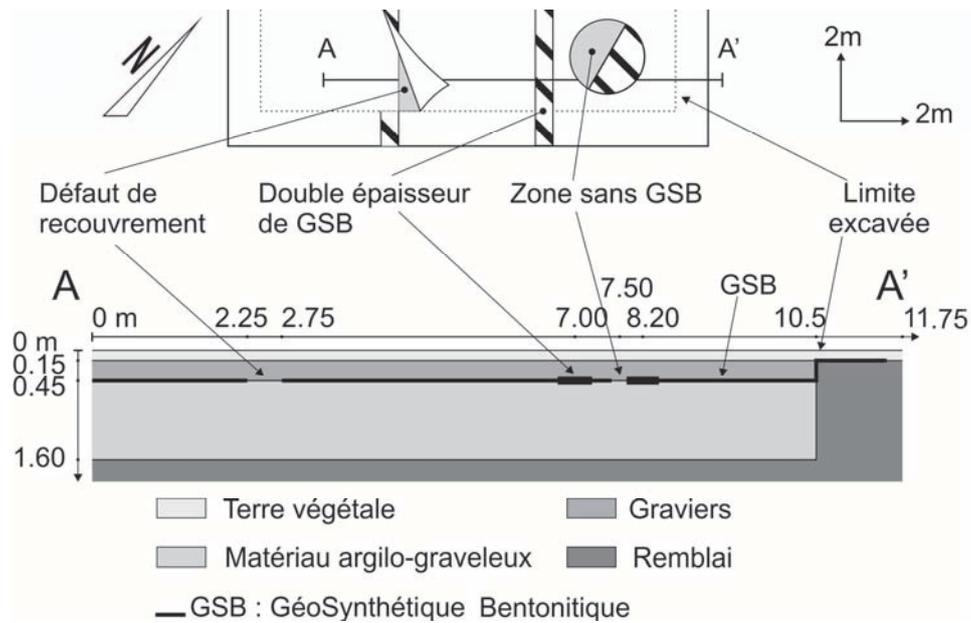


Figure 4. Emplacement du profil de tomographie de résistivité électrique et vue en coupe de la couverture expérimentale au droit du profil de mesure

### 3.2. Données météorologiques

Les mesures de tomographie de résistivité électrique effectuées pendant plus de deux années l'ont été dans des conditions météorologiques variables (Genelle, 2012). Dans le Tableau 2 sont précisés les dates des prospections et antécédents météorologiques de cinq d'entre elles.

Tableau 2. Conditions météorologiques au cours des sept jours précédant chacune des mesures de tomographie de résistivité électrique (données issues d'une station météorologique installée à proximité immédiate de la couverture expérimentale)

Date des mesures	Pluie totale - ETP* (mm)	Température atmosphérique moyenne (°C)
Février 2010	6,4	2,8
Septembre 2010	-6,9	15,4
Mai 2011	-24,0	16,7
Juillet 2011	29,2	17,0
Mai 2012	-12,9	15,3

\*ETP : EvapoTranspiration Potentielle

## 4. Résultats

Les données de résistivité électrique ont été traitées au moyen du logiciel RES2DINV© par une inversion robuste (Loke et al., 2003) associée à un affinage du maillage du modèle. La gamme de résistivité électrique varie de 16,9 à 4107  $\Omega.m$ .

À l'issue de chacune des cinq prospections, un contraste de résistivité électrique apparaît vers 0,2 m de profondeur (Figure 5). Au-dessus de cette profondeur, les résistivités électriques sont dans l'ensemble inférieures à 400  $\Omega.m$ . Les valeurs les plus élevées sont obtenues pour les mois de septembre 2010 et mai 2011 (Figure 5 b et c). A ces dates, les cumuls de pluie totale – ETP (cf. Tableau 2) sont globalement inférieurs à ceux des périodes pour lesquelles les résistivités électriques sont plus faibles. Ceci permet d'attribuer les différences de résistivité à l'effet du cumul de pluie totale – ETP.

Si les résistivités électriques des niveaux superficiels peuvent être attribuées à la terre végétale, les résistivités électriques des niveaux sous-jacents sont représentatives de la couche de graviers de 0,3 m et du GSB d'épaisseur 6 mm, éléments indissociables sur les modèles de résistivité électrique en raison du fort contraste électrique entre la terre végétale et le GSB.

Lors des prospections effectuées en 2010 (Figure 5 a et b), le GSB est caractérisé par des valeurs de résistivité électrique supérieures à 2000  $\Omega.m$  et une épaisseur surestimée (de l'ordre de 0,7 m sur les modèles de résistivité). D'après le principe d'équivalence (Maillet, 1947), cela correspond à une résistivité électrique réelle d'au moins 400 000  $\Omega.m$  pour une épaisseur de GSB de 7 mm (Sirieix et al., 2013).

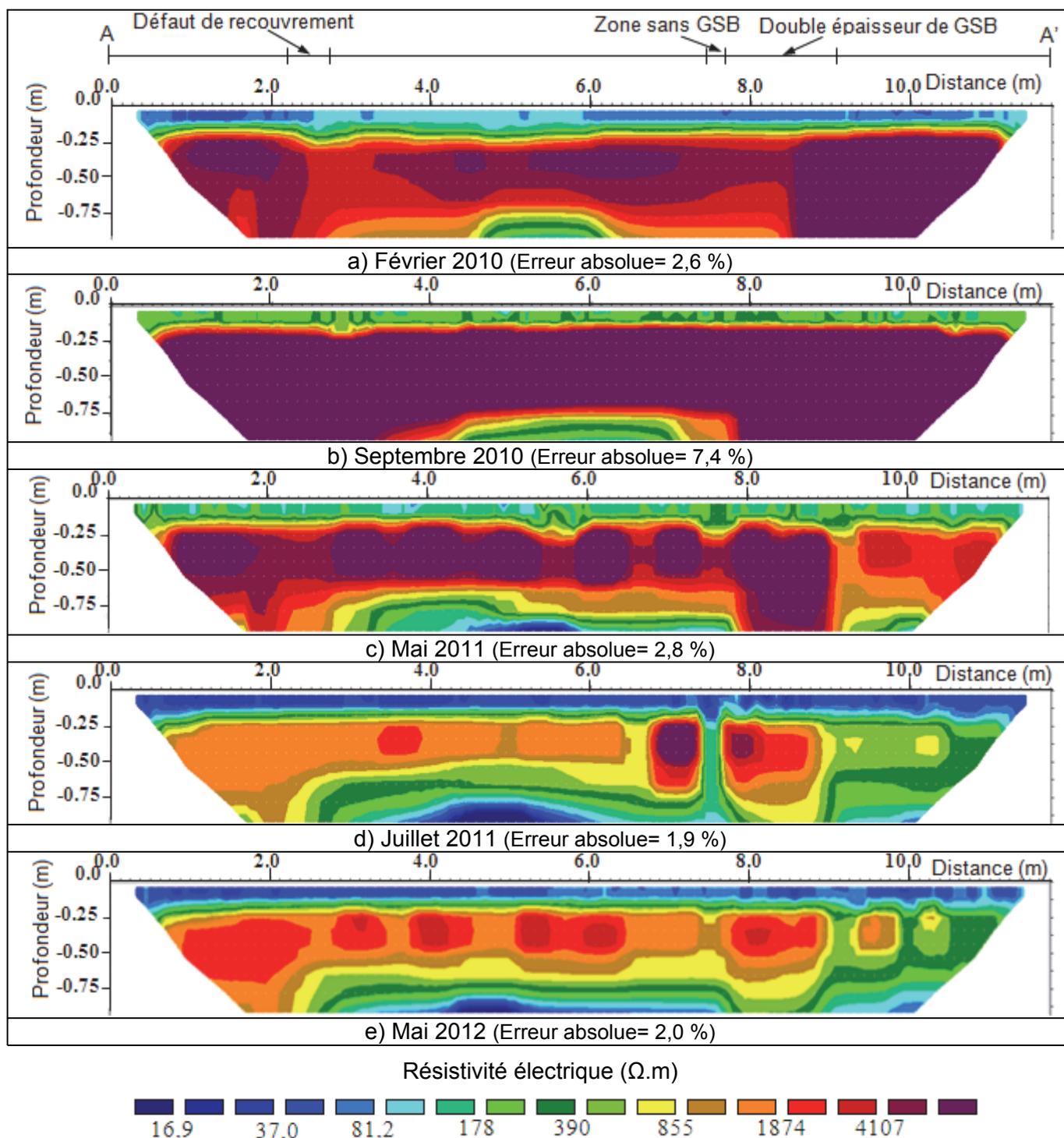


Figure 5. Modèles des résistivités électriques au sein de la couverture le long du profil de mesure (dispositif dipôle-dipôle)

Les mesures réalisées en 2011 (Figure 5 c et d) montrent une baisse des résistivités électriques du GSB sur toute la longueur du profil. Les valeurs sont globalement inférieures à 1000  $\Omega$ .m sur le modèle de résistivité des mesures effectuées en juillet 2011. D'après le principe d'équivalence (Maillet, 1947), cela correspond à une résistivité électrique réelle d'environ 100 000  $\Omega$ .m pour une épaisseur de GSB de 7 mm (Sirieix et al., 2013). Cette évolution des résistivités électriques depuis février 2010 pourrait s'expliquer par l'action des phénomènes d'échange cationique et des cycles de dessiccation/humidification intervenant dans le processus du vieillissement du GSB.

Le modèle des résistivités électriques des mesures effectuées en juillet 2011 met également en évidence l'existence d'un contraste de résistivité électrique entre 7,5 et 7,7 m à partir de 0,2 m de profondeur au sein du GSB (Figure 5 d). Cette diminution de résistivité électrique est située au droit de l'arrachage du GSB, au niveau de la zone où le matériau argilo-graveleux est directement au contact des graviers (Figure 4). La résistivité électrique y est inférieure à 200  $\Omega$ .m. Il est par ailleurs intéressant de noter que la zone située entre 7,7 et 9,0 m présente des résistivités électriques élevées et ce jusqu'à la profondeur d'investigation maximale. Il pourrait s'agir de l'effet du GSB dont l'épaisseur est double à cet endroit.

Les deux modèles issus des mesures réalisées en 2011 diffèrent également des précédents par la présence en profondeur (entre -0,80 et -1,0 m) de faibles valeurs de résistivité électrique, comprises entre 16 et 37  $\Omega$ .m, en particulier entre les abscisses 3 et 8 m. Elles pourraient être liées à la présence du matériau argilo-graveleux situé sous le GSB.

Enfin, le modèle de résistivité électrique issu des mesures réalisées en mai 2012 (Figure 5 e) est dans son ensemble, semblable à celui de juillet 2011 avec toutefois une légère augmentation de l'ensemble des résistivités électriques. Le défaut d'arrachage est toujours visible mais le contraste de résistivité électrique à l'endroit du défaut est moins marqué. Ceci peut s'expliquer par un antécédent hydrique plus faible lors de cette prospection (Tableau 3) : le cumul de pluie totale-ETP est de -12,9 mm au cours des sept jours précédant les mesures alors qu'il est de 29,2 mm au mois de juillet 2011. Cette prospection a été réalisée dans un contexte thermique identique à celui de septembre 2010 pour laquelle l'antécédent hydrique était plus faible (égal à -6,9 mm). Ceci permet de confirmer que l'évolution de la résistivité électrique du GSB au cours du temps ne dépend pas majoritairement de l'antécédent hydrique.

## 5. Conclusion

L'évolution du comportement électrique du GSB a été mise en évidence par le suivi temporel réalisé en tomographie de résistivité électrique de février 2010 à mai 2012, soit respectivement cinq et trente-deux mois après l'installation du GSB. La baisse de résistivité observée au cours du temps pourrait être due au vieillissement du GSB provoqué par le phénomène d'échange cationique entre les ions sodium et calcium de la bentonite et par les cycles de dessiccation/humidification. Cette modification de l'état du GSB a permis la détection du défaut d'arrachage au bout de vingt-deux mois, détection devenant par la suite possible quelles que soient les conditions climatiques. Le contraste de résistivité électrique à l'endroit du défaut par rapport à l'ensemble de la tomographie est toutefois fonction de l'antécédent hydrique.

Dans le but de déterminer quantitativement les performances du GSB au cours du temps, des prélèvements de GSB ont été réalisés en mai 2012, à proximité immédiate du profil de mesure. Le résultat des analyses permettra ou non de confirmer la baisse des capacités du GSB.

## 6. Références bibliographiques

- ADEME – BRGM. (2001). Guide pour le dimensionnement et la mise en œuvre des couvertures de sites de stockage de déchets ménagers et assimilés. 167 pages.
- Bouazza A. (2002). Geosynthetic Clay Liners. *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 3-17.
- Bouazza A., Jefferis S., Vangpaisal T. (2007). Investigation of the effects and degree of calcium exchange on the Atterberg limits and swelling of geosynthetic clay liners when subjected to wet-dry cycles. *Geotextiles and Geomembranes*, 25, 170-185.
- Cazzuffi D., Crippa E., Villa C. (2005). Laboratory tests and field observations on a geosynthetic clay liner (GCL) system installed as capping since seven years. *International Workshop "Hydro-Physico-Mechanics of Landfills"*, Grenoble. 7 pages.

- Comité Français des Géosynthétiques. (2011). Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques bentonitiques en installations de stockage de déchets. Fascicule n°13, 85 pages.
- Egloffstein T.A. (2001). Natural bentonites- influence of the ion exchange and partial desiccation on permeability and self-healing capacity of bentonites used in GCLs. *Geotextiles and Geomembranes*, 19, 427-444.
- Genelle F. (2012). Les méthodes géophysiques pour la caractérisation des couvertures d'installation de stockage de déchets. Thèse de l'Université Bordeaux 1, 366 pages.
- Loke M.H., Acworth I., Dahlin T. (2003). A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, 34, 182-187.
- Maillet, R. (1947). The fundamental equations of electrical prospecting. *Geophysics*, 12, 529-556.
- Meer S.R., Benson C.H. (2007). Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners exhumed from landfill final covers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133, 550-563.
- Melchior S. (1997). In situ studies of the performance of landfill caps (compacted soil liners, geomembranes, geosynthetic clay liners, capillary barriers). *Land Contamination and Reclamation*, 5 (3), 209-216.
- Pirriou T., Touze-Foltz N., Croissant D., Rosin-Paumier S., Ouvry J.F. (2011). Performances d'un GSB dans une couverture d'installation de stockage de déchets après six ans en service. *Rencontres géosynthétiques*, 339-348.
- Scalia J., Benson C.H. (2011). Hydraulic conductivity of Geosynthetic Clay Liners exhumed from landfill final covers with composite barriers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137, 1-13.
- Silvestre P., Norotte V., Oberti O. (2003). Les géosynthétiques en couverture. *Rencontres géosynthétiques francophones*, 97-113.
- Sirieix C., Fernández Martínez J.-L., Riss J., Genelle F. (2013 - en révision). Electrical resistivity characterization and defect detection on a Geosynthetic Clay Liner on an experimental site. *Journal of Applied Geophysics*.
- Touze-Foltz N. (2001). Modélisation des transferts advectifs dans les étanchéités composites de centres de stockage de déchets. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 286 pages.
- Zanzinger H, Touze-Foltz N. (2009). Performance des géosynthétiques bentonitiques en couverture d'installations de stockage de déchets. *Rencontres géosynthétiques*, 499-508.