

# DE L'INTÉRÊT D'ADAPTER LES SOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES DE CONFINEMENT AUX CONDITIONS LOCALES VIA LES GÉOSYNTHÉTIQUES

## ABOUT THE ADVANTAGES OF ADAPTING THE LEGAL CONFINEMENT SOLUTIONS TO LOCAL CONDITIONS USING GEOSYNTHETICS

Thierry CHASSAGNAC<sup>1</sup>, B. PLASSE<sup>2</sup>, D. SCATTOLIN<sup>3</sup>, T. LEVAILLANT<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Adjoint au Directeur Général CSD AZUR

<sup>2</sup>Péchiney Electrometallurgie

<sup>3</sup>Entreprise Deschiron

<sup>4</sup>Paysagiste Wabi-sabi

**RÉSUMÉ** - Cet article aborde la réalité d'une argumentation technique établie dans le cadre d'une proposition à l'administration en charge (DRIRE) (Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement) d'une solution dérogatoire de couverture d'un dépôt de déchets industriels constitué de résidus issus de l'électrometallurgie du silicium. Il propose également un concept original de complexe de couverture optimisé du point de vue performance, entretien, durabilité et intégration paysagère, avec intégration de géosynthétiques.

**Mots-clés** : Géosynthétique bentonitique, durabilité, entretien, intégration paysagère, négociation avec l'administration.

**ABSTRACT** - This paper presents the reality of the discussions with the administration concerning the needs of modifications of covering design of an industrial landfill (silicium electrometallurgy) and how to respect legislation and needs due to local conditions. This paper also presents an original solution using geosynthetics, with an optimisation of performances, maintenance, durability and landscape integration.

**Keywords**: Geosynthetic clay liner, durability, maintenance, landscape integration, negotiation with administration

## 1. INTRODUCTION

L'entreprise Péchiney Électro-Metallurgie a souhaité compléter le réaménagement du dépôt de déchets de l'usine de Laudun (30) et a missionné le groupement CSD AZUR-Deschiron pour une mission de conception-réalisation. Ce dépôt est constitué des déchets minéraux liés au procédé de fabrication du ferro-silicium sur le site, à savoir :

- des laitiers,
- des scories,
- des fines de traitement des fumées (dites fumées de silice) et
- des déchets divers.
- 

Les contraintes auxquelles devait répondre le projet furent de quatre ordres :

1. des contraintes réglementaires : définissant à la fois des performances minimales mais prescrivant également une structure de couverture ;
2. des contraintes locales : liée notamment à la spécificité du contexte climatique (fortes précipitations, aridité) et de la sensibilité des sols à l'érosion ;
3. des contraintes contractuelles : imposées par le maître d'ouvrage et demandant notamment la prise en compte des deux premières séries de contraintes et fixant également un objectif de développement de la biodiversité sur le site et d'intégration paysagère ;
4. des contraintes complémentaires de qualité : proposées par le groupement et tendant à optimiser les aspects d'intégration paysagère, de performances et surtout de facilitation de l'entretien.

## 2. LES CONTRAINTES

### 2.1. L'arrêté préfectoral

L'arrêté préfectoral d'autorisation du site datant de 1994 impose le niveau de performance de la couverture des déchets à mettre en place pour la remise en état du site :

- une couche d'au moins 0,50 m de terre caractérisée par un coefficient de perméabilité de  $10^{-9}$  m/s,
- une couche d'au moins 0,30 m de terre arable pour permettre une revégétalisation du site.

### 2.2. Les clauses contractuelles

Le projet de réhabilitation doit remplir les objectifs suivants (*Extrait du dossier de consultation PEM Péchiney ElectroMétallurgie*) :

- assurer la stabilité mécanique du dépôt, notamment dans le cas d'une crue centennale ;
- constituer un confinement pérenne des déchets afin de préserver l'environnement de tout risque de pollution (eaux superficielles, eaux souterraines, air, sol), issue de cette décharge ;
- développer la biodiversité sur le site.

### 2.3. Les conditions climatiques locales

Le secteur géographique concerné (secteur de Laudun, département du Gard) est soumis à un régime de précipitations de type cévenol, marqué par l'occurrence d'événements pluvieux extrêmes induisant une érosion forte des sols et un ravinement profond. La prise en compte de cette problématique est fondamentale pour assurer la pérennité de l'ouvrage. Le calcul de la pluie de dimensionnement du projet donne une intensité de 355 mm/h.

### 2.4. Les objectifs de qualité complémentaires

Trois séries d'objectifs complémentaires ont été fixées :

1. assurer une pérennité optimale et notamment :

- résister aux phénomènes d'érosion et de vieillissement :
  - érosion par ruissellement, fortement développé dans le secteur,
  - érosion éolienne,
  - cycles gel-dégel,
  - cycles humidification-dessiccation ;
- être stable mécaniquement ;
- résister aux risques biologiques :
  - intrusion animale,
  - intrusion végétale ;

2. réduire au maximum les besoins d'entretien du site vis à vis de la conservation des sols et de la végétation ;

3. proposer une réelle intégration paysagère.

## 3. LE PROJET PROPOSÉ

L'emprise à traiter est d'environ 15 000 m<sup>2</sup>, le reste du site ayant déjà une couverture argileuse.

### 3.1. Structure de couverture

La coupe type de la couverture est représentée sur la figure 1. Elle comporte, à partir de la couche de déchets, lissée et remodelée, une couche de géosynthétique bentonitique, un géodrain, une couche radiculaire et une couche de blocaille ébouleuse végétalisée.

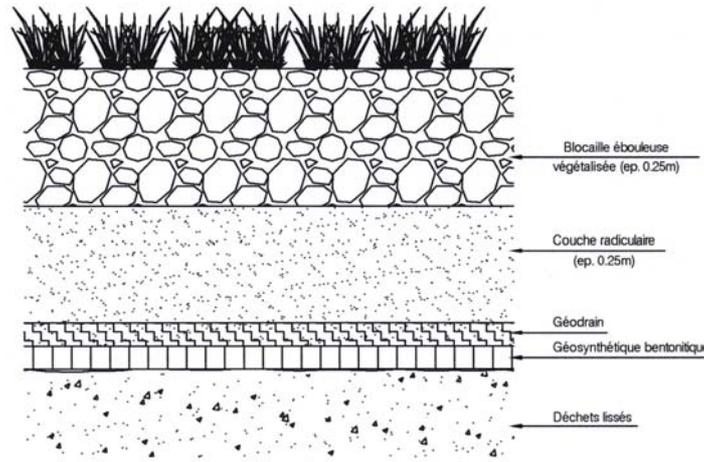


Figure 1. Coupe type de la couverture

### 3.1.1. Remodelage et lissage des déchets

Le remodelage a pour but :

- de donner des pentes suffisantes au dépôt afin d'assurer une évacuation rapide des eaux de surface et de ce fait de limiter le taux d'infiltration qui sollicitera la fonction d'étanchéité de l'ouvrage ;
- de limiter les pentes dans les secteurs où ces dernières sont trop importantes de façon à éviter tous risques d'instabilité ultérieure ;
- de donner au dépôt une topographie en harmonie avec le paysage de façon à améliorer l'insertion paysagère.

Le volume de remodelage est d'environ 10000 m<sup>3</sup>.

### 3.1.2. Structure d'étanchéité

Le choix du GSB répond aux exigences de l'arrêté :

- Nature de l'argile : mélange d'argile de types smectite et montmorillonite, stable chimiquement
- Masse de bentonite : 5 kg/m<sup>2</sup>
- Perméabilité : 10<sup>-10</sup>m/s
- Type de confinement interne : aiguilletage très dense, supérieur à plusieurs millions/m<sup>2</sup>
- Résistance à la traction : ≥ 400 N.

### 3.1.3. Structure de confinement du GSB (Géosynthétique bentonitique)

La structure de confinement de l'écran étanche comporte :

- la structure drainante : géosynthétique drainant de type « Enkadrain »
- la couche radriculaire : matériaux fins de type stérile de carrière, dont l'épaisseur a été fixée à 25 cm. Son rôle est de protéger le GSB de l'action météorique (gel, dessèchement) de laisser aux racines un espace suffisant de développement et de leur assurer une réserve hydrique ;
- la couche de végétalisation : le niveau sommital de la couverture doit répondre à des exigences fortes :
  1. *résister à la forte érosion liée au régime pluvial cévenol* : Cette résistance ne peut être stoppée que par deux types d'actions :
    - la densification végétale : compte tenu du climat et du souhait de limiter l'entretien, cette solution ne nous a pas paru pas judicieuse ;
    - la forte augmentation de la fraction grossière du sol. C'est cette solution qui a été retenue ;
  2. *permettre le développement végétal et une insertion paysagère durable* ;
  3. *posséder des caractéristiques permettant de limiter l'entretien*.

Compte tenu de ces contraintes fortes, il a été proposé de mettre en œuvre un concept de couverture de type « éboulis végétalisé ». Ce concept consiste à reconstituer un paysage naturel aride d'éboulis comportant des « poches » de végétalisation arbustive positionnées de façon à produire un effet de masse (Figures 3 et 4). Le matériau utilisé est un cailloutis de granulométrie d'environ 50-150 sur une épaisseur de 0.25 m. On recherchera un gisement ancien pouvant montrer un aspect patiné pour améliorer l'insertion paysagère. Localement le cailloutis est retiré pour laisser la place à des massifs terreux en forme de bandes en vue de la végétalisation arbustive (Figure 4).

Vis à vis de l'érosion, la granulométrie du masque de cailloutis et la faible pente permettent de garantir à long terme la tenue de la couverture et la protection de l'écran étanche sous-jacent (intrusion animale notamment).

Pour ce qui concerne la gestion des eaux pluviales, les eaux météoriques (hors pluies extrêmes) vont s'écouler de façon hypodermique à la surface du contact couche radulaire-masque de cailloutis. Ceci freine les écoulements, permet une meilleure alimentation en eau de la couche radulaire et assure une réserve hydrique plus importante pour les végétaux. Seules les pluies extrêmes pourront générer un écoulement en surface, qui n'aura aucun effet sur la tenue des sols.



Figure 2. Aspect final recherché

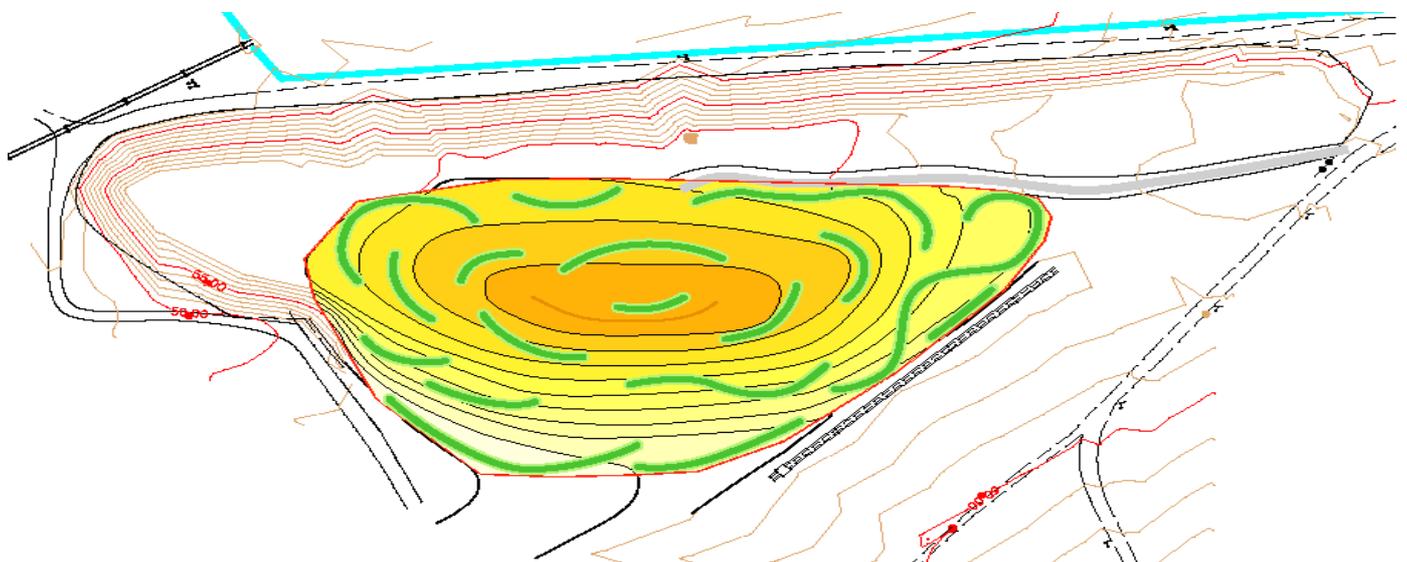


Figure 3. Implantation des îlots végétaux sur la partie du site à traiter

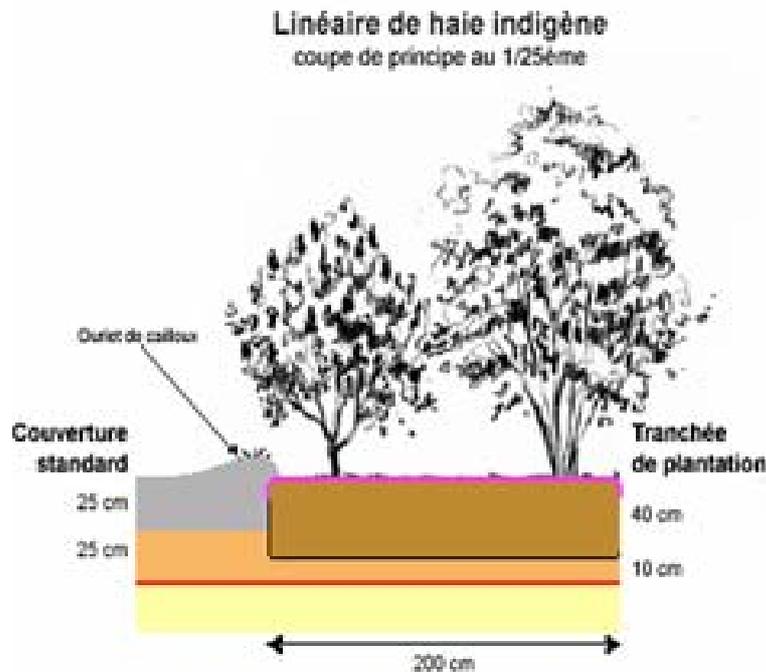


Figure 4. Coupe type d'un îlot végétal

#### 4. LA NÉGOCIATION AVEC L'ADMINISTRATION

Du fait de la nature industrielle des déchets et malgré l'arrêté préfectoral existant, la DRIRE a souhaité rapprocher ses prescriptions de l'arrêté ministériel de 2002, nettement plus exigeant (1m d'argile au lieu de 0,5m et nécessité d'installation d'une membrane PEHD). De ce fait, elle a demandé un argumentaire justifiant le projet proposé en termes de performance et d'épaisseur, ainsi qu'une analyse des risques à long et court terme. On signalera par ailleurs qu'une caractérisation des déchets a montré que ces derniers répondaient aux critères des déchets « inertes ».

##### 4.1. Argumentaire concernant l'épaisseur totale du recouvrement de l'écran étanche (GSB)

Ce recouvrement a pour fonctions principales :

- de protéger contre l'intrusion animale et végétale,
- de lutter contre l'érosion,
- d'assurer une réserve hydrique évitant la dessiccation,
- de protéger contre le gel.

Dans la pratique, ce niveau est fixé à 1 m sans besoin de justification. Dans notre cas, cette épaisseur peut être réduite sans perte d'efficacité pour les raisons suivantes :

- le niveau de cailloutis protège de façon définitive contre l'érosion et l'intrusion animale (taille minimale des blocs : environ 50 mm non déplaçable par les animaux fouisseurs locaux) ;
- le choix d'espèces végétales à système racinaire traçant limite la perforation de l'écran par les racines. De plus, le GSB possède une forte capacité de cicatrisation (Cazaux et al., 1999) (qui n'existe pas pour les membranes polymériques), qui se traduit par un colmatage (fluage de la bentonite) de l'éventuel orifice ou défaut ;
- le choix du plan de plantation à très faible densité (îlots végétaux) et à faible consommation hydrique limite fortement (d'un facteur 10 au moins) la transpiration végétale et la perte consécutive d'eau du sol . De plus, le niveau de cailloutis, de par sa granulométrie grossière, empêche toute remontée capillaire d'eau et supprime la perte par évaporation simple (soit environ la moitié des pertes globales [évaporation + transpiration végétale] constatées en général sur un sol végétalisé). Globalement le concept proposé permet la réduction de 95 % des pertes par évapotranspiration par rapport à une couverture standard (ce qui en théorie permettrait de réduire d'une même proportion l'épaisseur de sol à vocation de stockage d'eau) ;
- la profondeur de gel locale est inférieure à 50 cm sur le secteur considéré selon la carte de Cadiergues (Guide du constructeur en bâtiment, 1992).

#### 4.2. Analyse de l'efficacité à court terme

L'argumentaire développé a essentiellement porté sur la performance et la résistance aux diverses sollicitations à court terme. Il fut notamment démontré :

- que le flux résiduel d'infiltration est très faible (près de 140 fois plus faible qu'à l'état actuel et 7 fois plus faible que la solution préconisée dans l'arrêté préfectoral d'autorisation du site) ;
- que la structure proposée permet de résister aux intrusions animales ;
- que le choix et la densité de végétalisation limite la dessiccation de l'écran (faible évapotranspiration) et l'intrusion végétale (choix d'espèces à système racinaire traçant) ;
- que les bonnes caractéristiques géomécaniques des matériaux (GSB et sols sus-jacents) et la faible pente du dépôt assurent la stabilité d'ensemble (le GSB se pose couramment avec ou sans drainage stabilisateur sur des pentes allant jusque 1V/2H (constat basé sur l'expérience)).

#### 4.3. Analyse de l'efficacité à long terme

Cette analyse se base sur l'identification des causes potentielles de dysfonctionnement ou de défaillance de l'écran sur le long terme, notamment :

- perte de performance de l'argile interne du GSB :
  - par vieillissement des matériaux
  - par échange ionique du fait de l'environnement calcaire du recouvrement de sol (Meer et Benson, 2004),
  - par suite des cycles gel-dégel pouvant affecter la perméabilité de l'écran (Hewitt et Daniel, 1997) ;
  - du fait de la dessiccation de l'argile interne ;
  - par perforation du fait des racines ;
- déstabilisation de la couverture du fait d'une possible dégradation des géotextiles de confinement de l'argile interne, entraînant un glissement au niveau du plan argileux.

Ces causes sont passées en revue ci-après, ainsi que les mesures visant à réduire leur occurrence. La situation résultant d'une défaillance est décrite en termes d'impact probable permettant de qualifier le niveau de risque, le cas échéant.

##### 4.3.1 Perte de performance de l'argile interne du GSB

###### *a. Par vieillissement des matériaux*

En cas de dégradation complète des matériaux synthétiques de confinement de l'argile, évolution que l'on ne peut exclure sur des durées supérieures à la centaine d'années, ce dernier, de nature minérale, persistera et conservera un caractère peu perméable limitant l'infiltration. Au pire, on peut craindre une perte de performance de plusieurs ordres de grandeur (10, 100, ?). Un flux d'infiltration se manifesterait alors d'un ordre de grandeur inverse à celui constaté en termes de performance d'imperméabilité. Au pire, ce flux d'infiltration restera toujours inférieur à celui de la partie non réhabilitée du site (actuellement sans couverture) et qui ne manifeste pas d'impact significatif au regard du suivi piézométrique réalisé depuis 1995. De ce fait, l'impact constatable restera bien en deçà de l'incidence actuelle jugée non significative.

###### *b. Par échange ionique du fait de l'environnement calcaire du recouvrement de sol*

La nature de l'argile du produit sélectionné (smectite et bentonite sodique naturelle) n'est que peu sensible à l'échange cationique.

###### *c. Par suite des cycles gel-dégel pouvant affecter la perméabilité de l'écran*

La carte de Cadiergues (Guide du constructeur en bâtiment, 1992), qui donne en France la profondeur de mise hors gel des fondations pour des zones situées à moins de 150m NGF d'altitude, indique que, sur le secteur, cette profondeur est de 50 cm. Au pire, en considérant la possibilité d'un changement climatique majeur et l'occurrence de périodes de gel profond, l'article de Hewitt et Daniel (1997) montre que la perte de performance d'un GSB soumis à de nombreux cycles de gel-dégel reste non significative. L'article signale qu'à l'opposé les couvertures en argile subissent, lorsqu'elles sont soumises à des cycles de gel-dégel, des fissurations significatives (cas de l'arrêté préfectoral du site et

de l'arrêté ministériel de 2002). On peut donc considérer que l'occurrence de cette situation ne génère pas de risque significatif.

*d. Du fait de la dessiccation de l'argile interne*

L'argile naturelle, lorsqu'elle est soumise à une forte dessiccation, se rétracte et il se manifeste des fentes de dessiccation qui permettent le passage en masse des premières eaux météoriques. Le GSB est protégé par 50 cm de sols et blocaille non sensibles à ce phénomène. En effet, la blocaille, du fait de sa granulométrie grossière (absence de pores fins) ne permet pas la succion capillaire, moteur qui rend possible la migration ascendante des eaux « pompées » par l'évaporation. Ce n'est pas le cas des couvertures argileuses qui, en cas d'extrêmes climatiques, peuvent se dessécher et présenter une fissuration néfaste. Le recouvrement du GSB empêchera cet effet néfaste en assurant la réserve hydrique nécessaire au maintien de la teneur en eau de l'argile interne. On notera que la végétalisation du concept d'éboulis végétalisé comporte une végétation à faible consommation hydrique et à faible densité (îlots isolés). Au pire, en considérant la possibilité d'un changement climatique majeur et l'occurrence de périodes arides prolongées, un flux d'infiltration pourra se manifester. Au pire, ce flux d'infiltration restera toujours inférieur à celui de la partie non traitée du site (actuellement sans couverture) et qui ne manifeste pas d'impact significatif au regard du suivi piézométrique réalisé depuis 1995. L'occurrence de cette situation ne génère donc pas de risque significatif.

*e. Par perforation du fait des racines*

La végétation sélectionnée est à faible développement racinaire et plutôt de type traçant, qui se satisfait d'un sol superficiel. De plus, on notera que l'approfondissement des racines correspond en général à une stratégie de recherche d'eau et est guidée par un gradient positif descendant de teneur en eau. L'écran, entraînant l'assèchement des déchets (par ailleurs pauvres en éléments nutritifs), limitera fortement cette situation. On observe, lors d'autopsie de structure de couverture à base de GSB, que les racines ont tendance à « ramper » sur les écrans GSB (Benneton, 2004). De plus, les GSB ont une capacité d'auto-cicatrisation qui permet l'obturation de l'écran par migration de l'argile en cas de perforation sous des conditions favorables. On ne peut cependant exclure totalement cette possibilité. Dans ce cas, un faible flux d'infiltration pourra se manifester. Au pire, ce flux d'infiltration restera toujours inférieur à celui de la partie non traitée du site (actuellement sans couverture) et qui ne manifeste pas d'impact significatif au regard du suivi piézométrique réalisé depuis 1995. L'occurrence de cette situation ne génère donc pas de risque significatif.

#### 4.3.2 Déstabilisation de la couverture, du fait d'une possible dégradation des géotextiles de confinement de l'argile interne entraînant un glissement au niveau du plan argileux

Les essais de durabilité des géosynthétiques se bornent actuellement à étudier la durabilité sur un terme maximum de 100 ans. Ils montrent (Benneton, 2004) que, dans le cas du polypropylène PP (matériau de constitution des géotextiles), la perte de performance mécanique au bout de 100 ans n'est que de 15%. En cas de disparition totale des géotextiles de confinement suite à une dégradation complète, qu'on ne peut exclure à un terme de plusieurs centaines (milliers ?) d'années, on peut estimer que l'on se trouvera en présence d'un niveau centimétrique très riche en argile, en déchets et en sable au lieu et place du GSB. On peut estimer l'angle de frottement de ce niveau entre 10 et 20 degrés (<10 degrés pour la bentonite seule). Les pentes maximales du dépôt étant de l'ordre de 20 % (8 degrés), le glissement n'est pas possible puisque l'angle de frottement du plan de cisaillement est supérieur à la pente moyenne. Le risque à long terme est quasi nul.

## 5. Conclusion

En conclusion, l'administration, après de multiples discussions, ayant fini par se laisser convaincre du bien fondé de cette solution, l'auteur constate qu'il est plus facile de faire passer une solution strictement conforme à la réglementation qu'une solution dérogatoire, même si cette dernière est d'évidence plus performante et mieux adaptée que le standard réglementaire. Si le paramètre économique est en général facilement entendu par le maître d'ouvrage, l'argumentation technique auprès de l'administration doit être fortement développée et il est courant de se heurter aux limites des connaissances dans le domaine concerné.

Ceci ne doit pas cependant être un frein à la poursuite de la recherche de solutions toujours plus performantes et il devient de plus en plus nécessaire d'asseoir les argumentaires sur les résultats de la recherche dans le domaine des géosynthétiques et du confinement en général

## 6. Références bibliographiques

Guide technique du constructeur en bâtiment (1992). Hachette Technique.

Cazaux et al. (1999). Capacité d'autocicatrisation des géosynthétiques bentonitiques. Rencontres géosynthétiques 1999, Bordeaux. CFG éditeur.

Meer, Benson (2004). In-service hydraulic conductivity of GCLS used in landfill cover. Geo Engineering report N° 04-17, 2004

Hewitt, Daniel (1997). Hydraulic conductivity of GCLS after freeze-thaw. Journal of geotechnical and geo Engineering.

Courardin A. (Non daté). Observations de A Courardin, communication personnelle. URGC Géotechnique INSA Lyon.

Benneton J.P. (2004). Durabilité des géosynthétiques. Conférence à l'École Nationale des Ponts et Chaussées