

QUELQUES ÉTUDES RELATIVES AUX COUVERTURES DE L'ISD DE CHATUZANGE-LE-GOUBET : UN SITE PILOTE EN RHÔNE-ALPES

A FEW STUDIES RELATED TO THE CAP COVERS OF CHATUZANGE-LE-GOUBET PILOT SANITARY LANDFILL (RHÔNE-ALPES REGION, FRANCE)

Franck OLIVIER¹, Camille BARRAL^{2,3}, Jean-Pierre GOURC³, Patrick PIERSON³, Irini DJERAN-MAIGRE², Gérard DIDIER², Mustapha HIDRA⁴

¹ Véolia Propreté, Direction Traitement Stockage (Géolia), Nanterre, France.

² URGC (Unité de Recherche en Génie Civil), INSA Lyon, France.

³ Lirigm-LTHE, Université Joseph Fourier, Grenoble, France.

⁴ Onyx Sanet, Chatuzange-le-Goubet, France.

RÉSUMÉ – Un programme de recherche est en cours de développement sur l'ISD de Chatuzange-le-Goubet avec l'ambition de faire de ce site un laboratoire de terrain en région Rhône – Alpes permettant une étude approfondie du comportement des déchets en interaction avec leurs couvertures. Une importante étude sur les tassements des déchets a déjà été menée, en lien avec la problématique de durabilité des couvertures. Celle-ci va être doublée prochainement d'une étude sur les transferts liquides et gazeux à travers un géosynthétique bentonitique (GSB).

Mots-clés : déchet, tassement, couverture, GSB, lysimètre.

ABSTRACT – A research program is being carried out at Chatuzange-le-Goubet landfill with the ambition to develop a field laboratory in the Rhone - Alps region allowing a thorough study of the behaviour of waste in interaction with cap covers. An important study on the topics of waste settlement has already been undertaken, in relation with the aspects of durability of top covers. This study is going to be complemented by a study on liquid / gas transfers through geosynthetic clay liners (GCL).

Keywords: waste, settlement, cap cover, GCL, lysimeter.

1. Introduction

La couverture d'une Installation de Stockage de Déchets (ISD) de classe II est déterminante quant à l'impact du site sur son environnement. En effet, elle doit assurer le confinement des déchets, contrôler les infiltrations d'eau, limiter les rejets dans l'atmosphère du biogaz émis par les déchets et permettre la réhabilitation du site. Or, sous l'effet des tassements, des modifications du modelé de la couverture de stockage apparaissent, qui induisent des contraintes mécaniques pouvant entraîner sa détérioration accélérée. Face à cette dynamique complexe, on se doit de garantir la pérennité des performances de la couverture d'une ISD. La difficulté de cette tâche explique pourquoi, en matière de couvertures, il n'existe pas de solution unique (cf. Guide technique attaché à l'arrêté du 9 septembre 1997).

Dans le cadre d'un Plateau Technologique du GIS « Envirhônalp » développé conjointement par un groupement de laboratoires grenoblois et lyonnais, l'ISD de Chatuzange-le-Goubet (homologué ISO 14001) est appelé à devenir un important "laboratoire de terrain" en région Rhône-Alpes permettant une étude approfondie du comportement des déchets en interaction avec leurs couvertures minérales et synthétiques. Au stade actuel de l'instrumentation du site, les auteurs présentent ici :

- le principe d'une importante étude sur les tassements des déchets conduite conjointement par le Lirigm-LTHE et le CreeD depuis 2000 et son articulation avec la problématique de durabilité des couvertures ;
- le principe d'une instrumentation de couverture définitive comportant un géosynthétique bentonitique (GSB), permettant de quantifier les intrusions d'eau de pluie dans les déchets (à l'aide de lysimètres) ainsi que les fuites de biogaz vers l'air ambiant (au moyen de chambres à flux spécialement conçues).

2. Présentation de l'ISD de Chatuzange-le-Goubet

L'exploitation de l'ISD de Chatuzange-le-Goubet, qui reçoit les déchets non dangereux (déchets ménagers et déchets industriels banals) des départements de la Drôme et de l'Ardèche, a démarré en 1992 et devrait se poursuivre jusque 2021, dans le cadre d'une extension du site actuel. Au cours des douze années d'exploitation passées, le site a reçu annuellement 110 à 160 000 tonnes de déchets stockées dans 6 casiers de 30 à 40 m de hauteur (Figures 1a et 1b) :

- Casiers A et B : aujourd'hui totalement exploités et recouverts d'une couverture définitive ;
- Casiers C, D, E et F : actuellement en opération ou partiellement exploités (couverture provisoire).

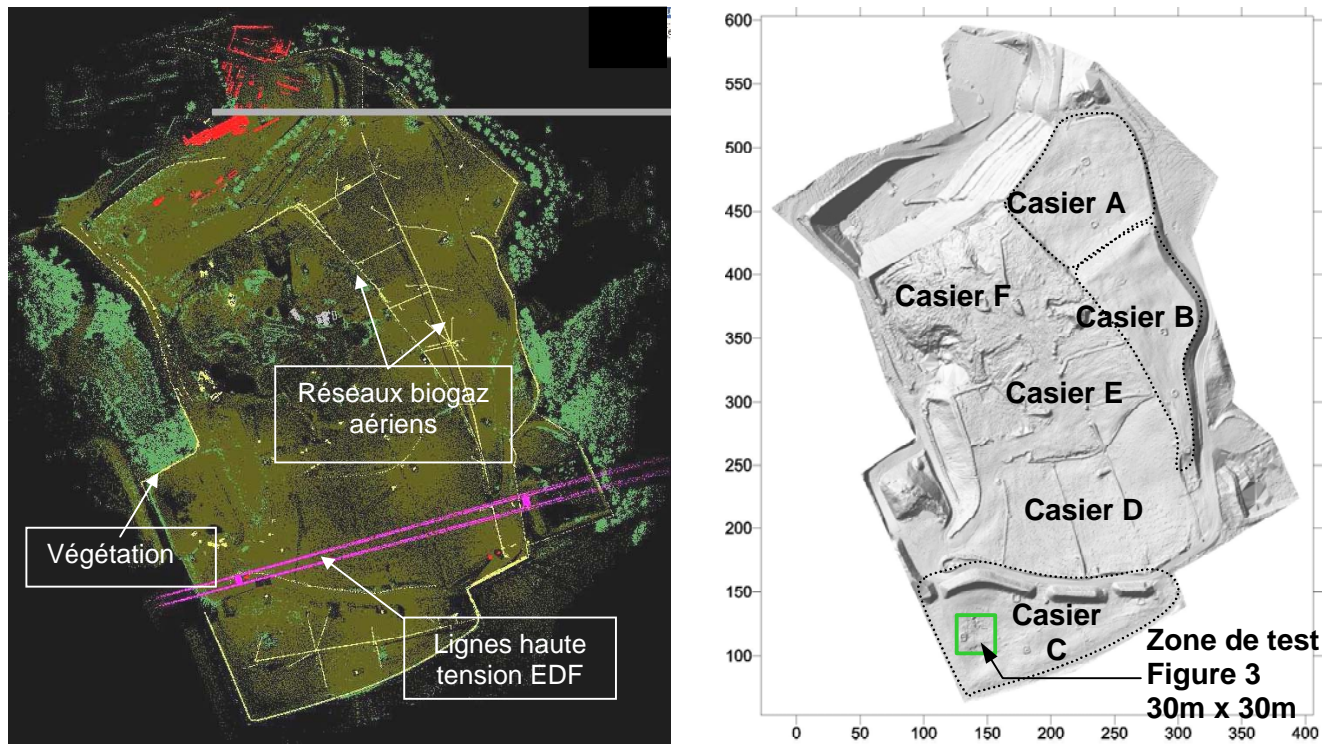


Figure 1. Vue en plan de l'ISD de Chatuzange : (a) modèle numérique de terrain incluant la végétation et les structures de surface ; (b) modèle numérique de surface en coordonnées locales (m).

3. Étude des tassements des couvertures de surface

3.1. Problématique des tassements (notamment différentiels)

Les tassements, dont la vitesse tend à décroître dans le temps, résultent à la fois d'actions mécaniques (liées à l'application de surcharges et entraînant une distorsion et un réarrangement des composants du déchet), d'actions biochimiques (résultant de la décomposition de la matière organique du déchet), d'actions physico-chimiques (corrosion, oxydation, combustion) et enfin de l'entraînement des particules fines au travers des macro-pores. Ces mécanismes ont pour caractéristique de se superposer et d'interagir de manière complexe au cours du temps. Leur association peut néanmoins être schématisée à partir de deux composantes distinctes globalisant l'ensemble des phénomènes, à savoir un tassement primaire (à court terme) résultant du chargement par les déchets sus-jacents et la couverture sommitale et un tassement secondaire (à long terme) pouvant se poursuivre au cours de plusieurs décennies (Olivier, 2003). C'est cette composante secondaire qui a le plus d'incidence sur les performances de la couverture au cours du temps puisque la quasi-totalité du tassement primaire a lieu avant la mise en place de la couverture définitive.

Bien que déterminants en vue de l'évaluation des capacités de stockage de casiers de déchets, les tassements survenant en phase d'exploitation sont très rarement mesurés. De nombreuses valeurs de tassements secondaires post-exploitation ont en revanche été publiées dans la littérature. Il reste cependant difficile d'évaluer avec précision leur tendance sur de longues périodes car d'une part les suivis topographiques rapportés dépassent rarement 4 à 6 ans, d'autre part ceux-ci sont fréquemment

initiés avec retard (après la fin d'exploitation). L'extrapolation des mesures précédentes sur une période de 30 ans donne toutefois une estimation de la déformation généralement comprise entre 8 et 30 % (pour une moyenne proche de 15 à 20 %).

Ces tassements de surface ne sont jamais totalement uniformes. Ceci résulte en particulier de l'hétérogénéité du matériau déchet, de sa hauteur variable d'un point à un autre (notamment au voisinage des flancs de casier), de son mode de mise en place (ségrégation des flux, compactage) et enfin de son mode de gestion post-exploitation (infiltrations d'eau, recirculation des lixiviats, etc.). A la surface des casiers de stockage apparaissent ainsi des tassements différentiels qu'il convient de maîtriser car ils sont susceptibles d'entraîner des déformations (effondrements localisés ou flexion) préjudiciables pour le système d'étanchéité - drainage de la couverture (fissuration de la couverture minérale, poinçonnement de la géomembrane, rupture du système de drainage). Ces tassements différentiels peuvent en outre engendrer des inversions de pente (pente initiale réglementaire $\geq 3\%$ en partie sommitale) qu'il convient de prévenir pour éviter l'accumulation d'eau en surface et garantir le bon fonctionnement des réseaux d'évacuation des biogaz (Ademe, 2005).

Par ailleurs, les tassements sont souvent perturbés par les puits : un meilleur drainage des lixiviats et des biogaz à leur voisinage, un état lâche du déchet à proximité des puits (faible compactage dans le cas de puits implantés en phase d'exploitation) peuvent entraîner un tassement accentué. Dans certains cas, le frottement négatif du déchet par frottement le long des parois de ces mêmes puits peut entraîner l'effet contraire (diminution très localisée des tassements). La séparation des casiers par des merlons de terre est également susceptible d'induire des tassements différentiels. S'agissant des barrières externes, il a été montré expérimentalement que les tassements sont perturbés au voisinage des talus de fond et que les déplacements des déchets ne sont plus verticaux mais tangents aux flancs par suite du glissement de ces derniers le long des barrières d'étanchéité - drainage (Ademe, 2005). Cette forte compressibilité du déchet en bordure de casier est accentuée par la moindre qualité du compactage.

3.2. Suivi des tassements par technologie scanner laser 3D

3.2.1. Méthodologie de l'étude des tassements

Dans le cadre d'un programme de recherche sur les tassements développé à l'Université de Grenoble, une attention particulière a été donnée à l'instrumentation et au suivi en vraie grandeur des ISD (Gourc & Olivier, 2006). En effet, bien que les exploitants soient soumis réglementairement à l'obligation de fournir chaque année un relevé topographique de surface de leur site représentant l'ensemble des aménagements des casiers (en phase d'exploitation comme en phase de post-exploitation), ces relevés restent trop souvent inexploités quand bien même ils pourraient constituer d'excellents indicateurs de contrôle.

La technique traditionnelle de suivi des tassements de surface consiste à relever à intervalles réguliers la côte topographique d'un canevas de points matérialisés par des repères scellés (pouvant prendre la forme de piquets de bois, bornes plastiques, plaques et tiges soudées, etc.) au moyen d'un tachéomètre électronique (encore appelé station totale) faisant à la fois office de distance-mètre et de théodolite. En dépit de sa bonne précision point par point, cette technique ne permet pas de suivre l'évolution du modelé de surface avec une résolution suffisante pour détecter avec précision les zones sensibles.

Développée au cours de la décennie 1990, la technologie scanner laser 3D représente une alternative innovante à la topométrie classique, dont les applications concernent tant les ouvrages géotechniques (évaluation des glissements de terrain, chutes de blocs, construction de tunnels, etc.) que culturels (relevés archéologiques, réhabilitation de monuments historiques).

3.2.2. Présentation de la technologie scanner laser 3D

Le scanner laser s'apparente à un gros appareil photo numérique à champ de vision étendu (360°), longue portée (800 m) et vitesse de numérisation élevée (jusqu'à 10 000 points enregistrés à la seconde) (Figure 2a). Il est utilisé à partir de stations multiples de manière à saisir intégralement la surface des casiers de stockage de déchet. La technique repose sur le principe du 'temps de vol' nécessaire à chaque impulsion laser pour atteindre une surface et retourner au scanner (sans l'aide de réflecteurs). Un ordinateur portable permet à l'utilisateur d'acquérir les données 3D et de procéder à leur traitement (Figure 2b). La résolution angulaire de ce type d'appareil permet de relever jusqu'à 1 point tous les 4 mm à 100 m et sa précision avoisine 10 à 15 mm dans des conditions optimales de post-traitement (filtrage de la végétation et échantillonnage) (Olivier et al., 2005).

Cinq campagnes ont été réalisées à ce jour sur le site de Chatuzange consistant en une trentaine de stations d'acquisition et représentant une base de données d'environ 2 millions de points par hectare, ramenée à quelques 250 000 points/ha après filtration et échantillonnage des données.



Figure 2. Appareillage scanner laser 3D (Riegl LMS-Z420i) testé sur le site de Chatuzange (a) appareillage embarqué (b) appareillage sur pied (ATM3D : <www.atm3d.fr>)

3.2.3. Rendu des tassements à partir de la technologie scanner laser 3D

Après acquisition, les données sont traitées à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sous la forme d'un nuage de points (Figure 1). Un post-traitement est ensuite effectué permettant de traduire les données brutes en cartographie 3D facilement exploitable couplée à des analyses géométriques en cours d'exploitation (volumes de remblai – déblai).

Différents types de cartes représentatives du relief de terrain peuvent être produites : contours de surface, profils linéaires, cartographie des structures. La Figure 3 illustre l'une de ces applications permettant de comparer les côtes topographiques entre deux dates et par suite d'évaluer le niveau des tassements différentiels.

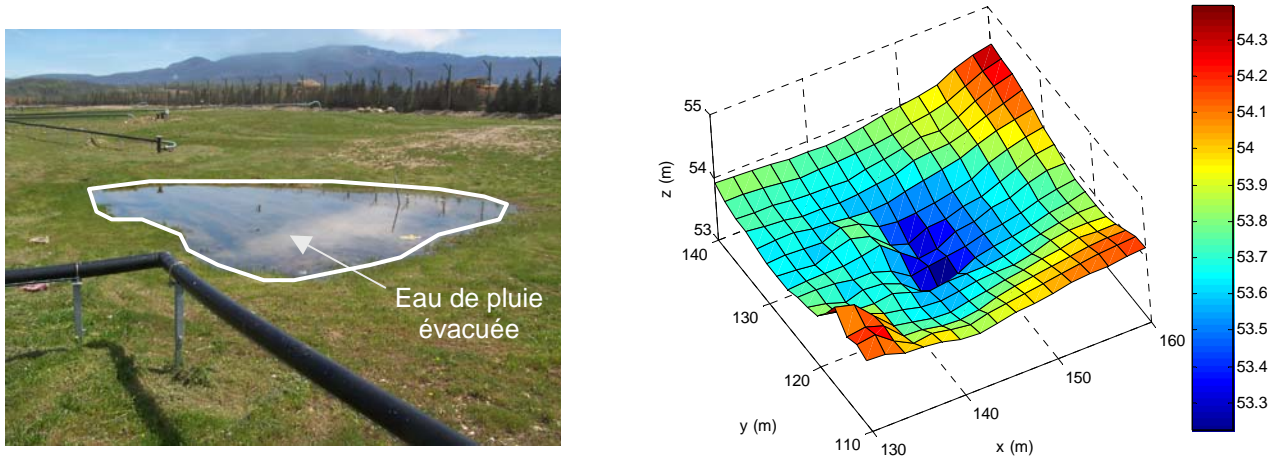


Figure 3. Cartographie d'une dépression de surface résultant d'importants tassements différentiels (a) illustration (b) représentation des altitudes à partir d'une discrétisation en grilles élémentaires de 2 * 2 m.

3.3. Dispositions constructives en lien avec les tassements différentiels

Pour conforter la bonne tenue des couvertures face aux tassements différentiels, il est possible en premier lieu d'agir sur la mise en œuvre des déchets lors de la phase d'exploitation en veillant à :

- éviter la concentration de déchets inertes (gravats, débris de construction), de 'monstres' (les appareils ménagers favorisant les effondrements...) ou encore de déchets très compressibles ;
- assurer un compactage homogène, notamment au voisinage des talus et des puits verticaux ;
- assurer une humidification homogène du déchet en phase d'exploitation et de post-exploitation.

Une fois la phase d'exploitation terminée, il est possible de différer l'installation de la couverture finale incluant au minimum une couche d'étanchéité et des couches de drainage (effluents gazeux, eau d'infiltration). Rappelons que la mise en place retardée de la couverture finale présente l'avantage de laisser s'écouler la phase initiale de tassement au cours de laquelle la cinétique est la plus forte. Ainsi, il peut être judicieux d'envisager la mise en place de la couverture en deux temps :

- installation d'une couverture provisoire immédiatement après la fin d'exploitation ;
- installation de la couverture finale après quelques années.

Compte tenu toutefois des exigences de recyclage des biogaz, la solution précédente n'est pas toujours envisageable. Il reste alors à agir sur le choix et la mise en œuvre de la couverture dont la couche d'étanchéité est caractérisée par un critère de perméabilité, un critère de résistance à la dessiccation et enfin un critère de déformabilité (recherche d'une flexibilité suffisante pour supporter les tassements sans fissuration). De fait, les barrières de couverture compactées sont excessivement rigides, supportant tout au plus des déformations sans fissuration de l'ordre de 0,1 %. Dans ce contexte, une manière de prévenir les effets des tassements différentiels consiste à privilégier des matériaux synthétiques souples et extensibles, dans la mesure où ils répondent par ailleurs aux fonctions premières (étanchéité, drainage). En comparaison des argiles courantes, la plupart des géomembranes et GSB sont capables de supporter des déformations supérieures à 5 %.

3.4. Méthodologie d'estimation des tassements différentiels

Deux valeurs sont nécessaires pour définir un tassement différentiel : l'amplitude maximale de flexion ($w_2 - w_1$) et la demi-largeur de la cavité (L) (Figure 4). Ces valeurs permettent de définir deux paramètres pris indifféremment comme critère de tassement différentiel admissible :

- Distorsion (%) : $100 \cdot \left(\frac{w_2 - w_1}{L} \right)$ (= $\tan \alpha$ où α est l'angle moyen de fléchissement en surface) (1)

- Déformation de fibre (%) : $\frac{\delta L}{L} = 100 \cdot \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$ (indépendant de la largeur de la cavité) (2)

Il faudrait pour une analyse de l'effet de distorsion également prendre en compte l'épaisseur h_c de la couche de couverture. L'effet d'un effondrement localisé sera d'autant moins pénalisant que la portée sera moins large (L petit) et que l'épaisseur h_c sera importante. Gourc (1982) a pu montrer que le rapport (L^2/h_c) est déterminant de ce point de vue.

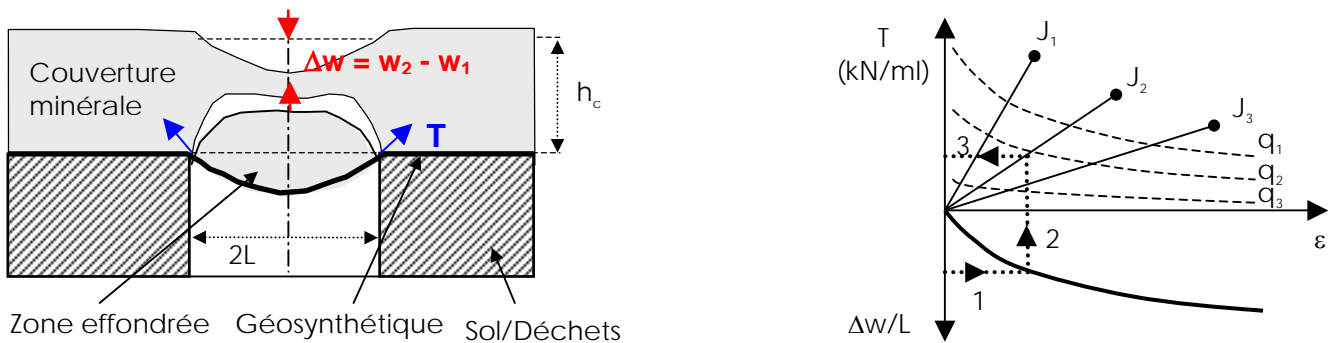


Figure 4. (a) Schéma type d'un effondrement d'un géosynthétique (b) Abaque illustrant la relation tension – déformation bidimensionnelle (ou axisymétrique) dans un géosynthétique.

Par voie analytique puis par expérimentations sur planches d'essai reproduisant des cavités circulaires, Gourc (1982) et Villard et al. (2002) ont décrit l'effet membrane observé dans les nappes géosynthétiques placées dans la configuration de la Figure 4a. Si la hauteur h_c est importante devant le diamètre de la cavité $2L$, il y a redistribution progressive des efforts dans la couverture non effondrée et formation d'une voûte de sol permettant le report des efforts sur le pourtour de la cavité. Si au contraire la hauteur h_c de la couverture est faible devant le diamètre de la cavité $2L$ (cas le plus courant en ISD), on assiste rapidement à la remontée du fontis en surface et à l'effondrement total du cylindre de sol au dessus de la cavité (Figure 4a). Le tassement de surface est alors fonction de la raideur du géosynthétique et à moindre degré, du pouvoir de décompaction de la couverture minérale.

En écrivant l'équilibre statique d'une portion d'un géosynthétique, on établit une relation entre la tension maximale dans le géosynthétique T_{\max} , la charge provenant de la couverture minérale $q=L \cdot h_c$, la déformation maximale dans le géosynthétique ϵ_{\max} , la raideur du géosynthétique J et le diamètre de la cavité L . Sa résolution permet, connaissant L et q , de déterminer ϵ_{\max} et T_{\max} (cf. abaque de la Figure 4b). A titre indicatif, dans le cas de géosynthétiques bentonitiques, la raideur J fluctue généralement entre 50 et 200 kN/m pour une déformation ϵ_{\max} comprise entre 6 et 15 % et une tension T_{\max} variant de 8 à 12 kN/m.

4. Étude des transferts de fluides dans un complexe de couverture avec GSB

L'instrumentation envisagée sur le site comporte deux « volets » et permet l'étude conjointe :

- du comportement hydraulique de la couverture afin de quantifier le volume d'eau qui pénètre dans le massif de déchet et d'effectuer un bilan hydrique complet de celle-ci ;
- des flux de biogaz afin de déterminer la quantité de gaz qui traverse la couverture mais aussi la nature de ce gaz.

4.1. Présentation du casier expérimental

Le casier C a subi une première phase d'exploitation entre février 1998 et janvier 2000. Depuis cinq ans, le casier était fermé par une couverture provisoire (Figure 5a). Suite aux forts tassements des déchets observés entre 2000 et 2005, un volume de 18 000 m³ s'est libéré. Après le retrait de cette couverture provisoire, il a été procédé à la recharge du casier, puis à la pose de la couverture définitive (Figure 5b).

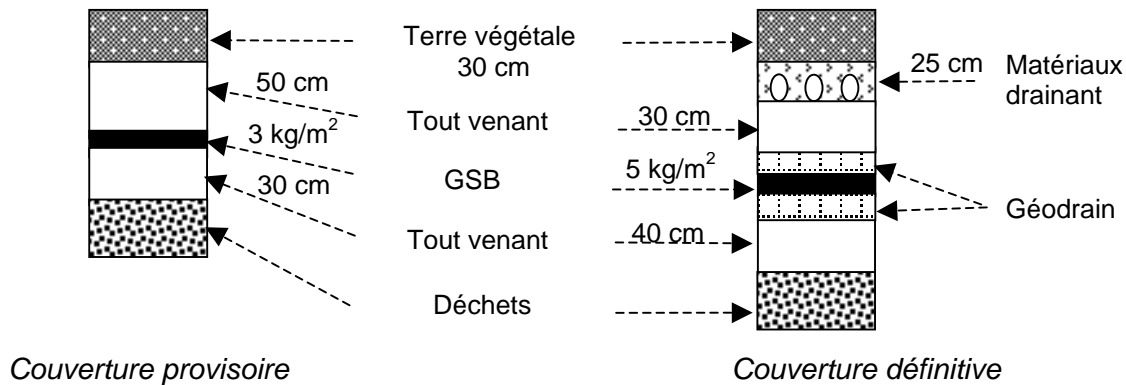


Figure 5. Configuration des couvertures du casier C (a) couverture provisoire (b) couverture définitive

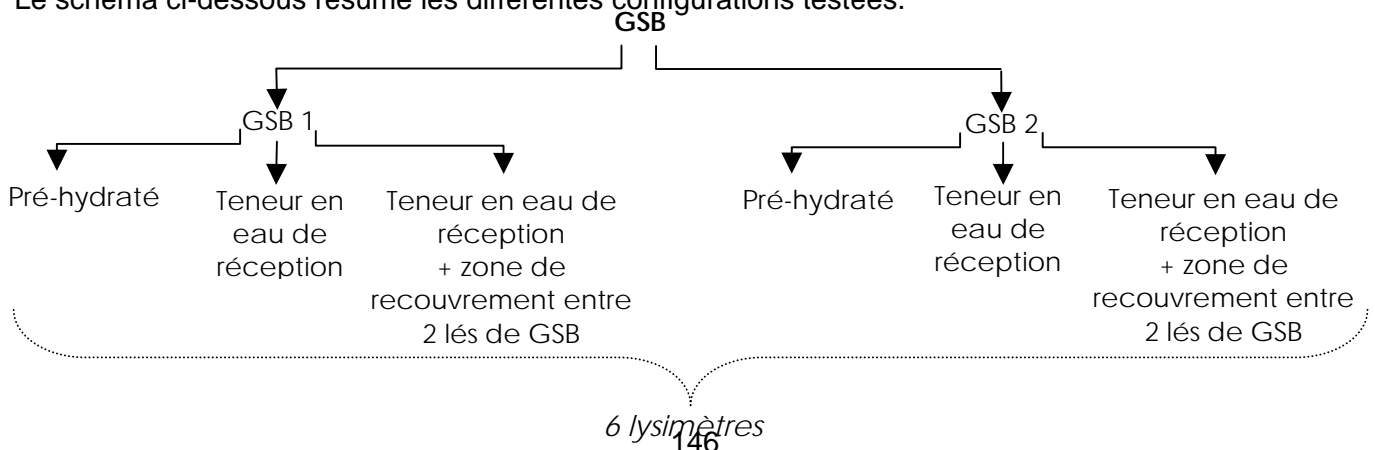
La couche d'étanchéité de la couverture est constituée d'un géosynthétique bentonitique (GSB). Lorsqu'il est correctement hydraté et confiné, le GSB permet de minimiser les échanges de liquide et de gaz entre les déchets et le milieu extérieur. Lors de la pose de la couverture définitive des instrumentations seront placées au dessus et au dessous de deux types de GSB conditionnés par ailleurs de différentes manières. Ces instrumentations permettront de suivre l'évolution au cours du temps d'un certain nombre de paramètres tels que la quantité d'eau infiltrée sous le GSB, l'humidité du sol, les flux de biogaz émis, etc.

4.2. Étude des flux hydriques

Afin de connaître les volumes d'eau qui traversent les GSB, six lysimètres seront placés sous deux types de GSB (trois lysimètres par GSB) avec pour chaque GSB :

- un lysimètre sous le GSB pré-hydraté ;
- un lysimètre sous le GSB à sa teneur en eau de réception ;
- un lysimètre sous un recouvrement entre deux lés.

Le schéma ci-dessous résume les différentes configurations testées.



Les lysimètres seront constitués par la superposition d'une géomembrane et d'un géocomposite de drainage et auront chacun une surface égale à environ 34 m² (17m x 2m). Ils seront reliés au moyen de tuyaux à des réservoirs situés en bordure de casier dans un regard (Figure 6a). Un dispositif de récupération des eaux de ruissellement sur le GSB sera aussi mis en place (Figure 6b) consistant en un tube fendu placé sur le GSB en bas du casier et relié par un tube rilsan à un réservoir situé lui aussi dans un regard en bordure du casier. L'humidité de chaque niveau de sol sera mesurée grâce à des blocs de gypse (trois zones de mesure avec pour chaque zone cinq sondes sur une même verticale afin de suivre dans le temps l'évolution du front d'infiltration). Six piézomètres seront installés à différents emplacements autour des lysimètres. Ces piézomètres seront utiles pour estimer la charge hydraulique s'appliquant sur le GSB lors des épisodes pluvieux. De plus, l'eau qui ruisselle sur l'ensemble de la couverture du casier sera récoltée par différents caniveaux se rejoignant en une buse unique. La mesure du débit sera faite par un canal Venturi sur la buse amenant l'eau dans un bassin de rétention. Enfin, un pluviomètre sur le site relèvera les précipitations tandis que Météo France nous fournira les données relatives à l'évapotranspiration potentielle. Cette instrumentation permettra de suivre l'évolution de l'ensemble des flux entrant et sortant de la couverture au cours du temps.

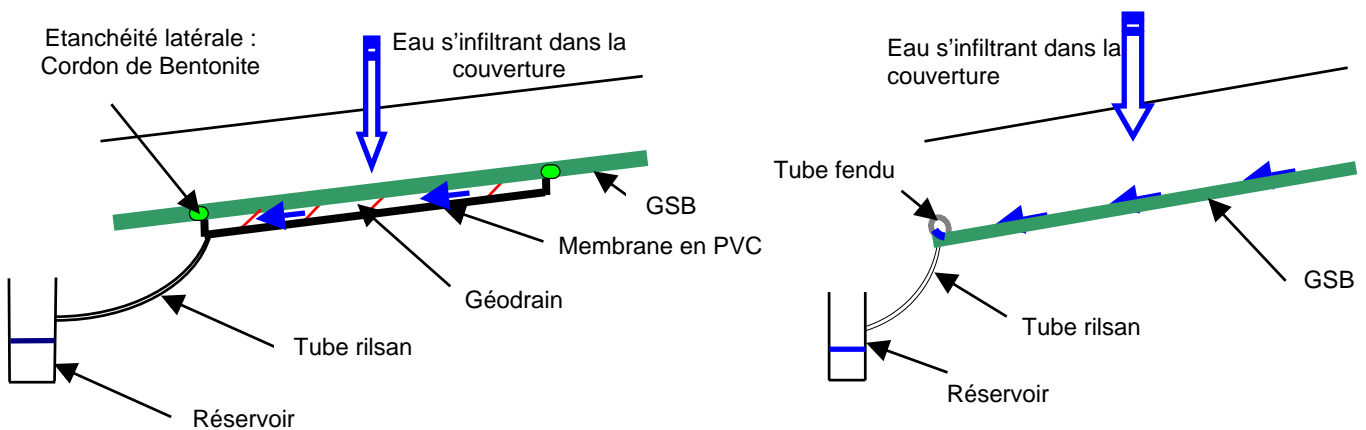


Figure 6. (a) Schéma du lysimètre sous la couverture (vue en coupe)
(b) Schéma du système de récupération des eaux de ruissellement sur le GSB (vue en coupe).

4.3. Étude des flux de gaz

La deuxième partie de cette expérimentation concerne l'étude des flux de biogaz émis par les déchets et traversant le géosynthétique bentonitique grâce à deux dispositifs de chambre à flux. La première se situe sous le GSB et est conçue comme un lysimètre (Figure 7a). C'est une véritable « poche » étanche sous le GSB qui, lorsqu'elle est mise sous pression d'azote, permet la détermination du coefficient de perméabilité au gaz par deux méthodes :

- en régime permanent par mesure des pressions amont, aval et du débit (norme Afnor XP P 84-707) ;
- en régime variable en suivant la chute de pression de l'azote dans la poche (Li et al., 2003).

La deuxième se situe sur le GSB et est conçue comme un lysimètre inversé (Figure 7b). Un balayage à l'azote est mis en place dans cette « poche » avec une pompe. Un analyseur de gaz dose alors le CH₄ et le H₂S (ou d'autres gaz), provenant de la décomposition des déchets et traversant le GSB, contenus dans l'azote à chaque passage.

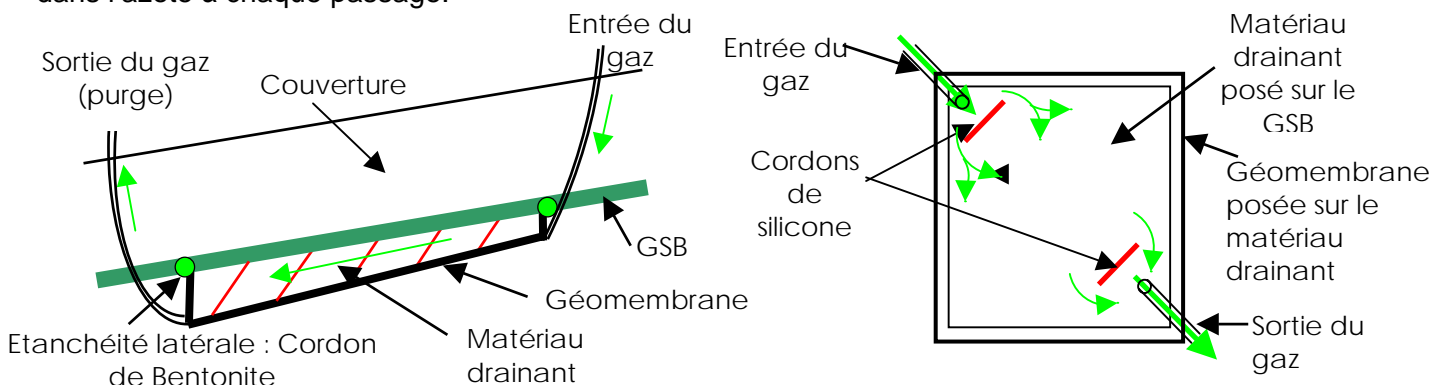


Figure 7. (a) Schéma de la chambre à flux sous la couverture (vue en coupe) (b)
Schéma de la chambre à flux sur la couverture (vue du dessus).

4.4. Mesure des gradients de température

Trois sondes seront implantées afin de suivre l'évolution de la température dans les différentes couches de la couverture. En effet, les matériaux de couverture sont sensibles aux variations climatiques. Des cycles de gel/dégel ou encore de dessiccation/humidification peuvent modifier la structure des matériaux constitutifs du complexe multicouche en place et donc sa perméabilité.

5. Perspectives

La mise en place du dispositif de couverture expérimental sur le site de Chatuzange est prévue au cours du 1^{er} semestre 2006. Les premiers résultats seront donc disponibles au cours du second semestre 2006. Il est prévu un couplage des essais de terrain avec des essais de laboratoire ayant pour objet de déterminer la perméabilité au liquide et au gaz des GSB et de l'argile sous contraintes multiples. Par ailleurs, un suivi précis des tassements différentiels sera réalisé à partir des cartographies scanner laser mises à jour chaque semestre, de manière à évaluer l'état de déformation des GSB en place.

6. Références bibliographiques

- Ademe (2005) Guide méthodologique pour le suivi des tassements des Centres de Stockage de Classe II. Publication ADEME. <www.ademe.fr/htdocs/publications/publipdf/tassements.htm>
- AFNOR NF XP P 84-707 (2002) Perméabilité au gaz des géosynthétiques bentonitiques partiellement saturés.
- Gourc, J.P. (1982) Quelques aspects du comportement des géotextiles en mécanique des sols. Thèse d'Etat, Université de Grenoble, 249 p.
- Gourc, J.P., Olivier, F. (2006) Overview of landfill instrumentation techniques for the monitoring of waste settlements. *Proc. Geo-Environmental Engineering 2006*, Kyoto, Japan.
- Li H., Jiao J.J., Luk M. (2004) A failing-pressure method for measuring air permeability of asphalt in laboratory. *Journal of Hydrology*, 286, 69-7.
- Olivier, F., Lhomme, D., Gourc, J.P., Hidra, M. (2005) The measurement of landfill settlement using 3D laser scanner imaging. *Proc. Sardinia 2005, 10th International Landfill Symposium*, Cagliari, Italy.
- Olivier, F. (2003) Tassement des déchets en CSD de classe II : du site au modèle. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 325 p. <www.lirigm.ujf-grenoble.fr/Laboratoire/Personnel/foivier.html>
- Villard, P., Gourc, J.P., Blivet, J.C. (2002) Prévention des risques d'effondrement de surface liés à la présence de cavités souterraines : une solution de renforcement par géosynthétiques des remblais routiers et ferroviaires. *Revue Française de Géotechnique*, n°99.