

COUVERTURE FINALE DE CSDU : ÉVALUATION NUMÉRIQUE SIMPLE, OPTIMISATION ET APPLICATION CONCRÈTE À SOLESMES

THE FINAL COVER FOR THE SOLESMES LANDFILL : NUMERICAL MODELLING, OPTIMISATION OF THE DESIGN, AND CONSTRUCTION-RELATED ISSUES

N. FAVOTTI¹, F. BOURGEOIS², J. BRUHIER³

¹ SCETAUROUTE DGM, Guyancourt, France

² SITA Nord, Valenciennes, France

³ HUESKER France SAS, Lingolsheim, France

RÉSUMÉ – Dans un contexte géologique et hydrogéologique favorable et sans qu'une influence ne soit réellement constatée sur les milieux, l'obligation préfectorale de remise en état du CSD de Solesmes semblait dictée par une couverture de protection double, minérale et polymère (matériaux semi-perméables remaniés, géosynthétique bentonitique et géomembrane PEHD). Le projet a consisté en la vérification de l'efficacité de cette couverture excessive, puis en la comparaison avec d'autres constitutions plus en rapport avec le contexte de protection local. Une combinaison optimisée tant techniquement qu'économiquement a pu ainsi être déterminée. Le chantier a été mené l'été suivant et il a confirmé la validité des dimensionnements géotechniques et hydrauliques, en montrant la grande attention à accorder au respect de toutes les conditions de mise en œuvre.

Mots-clés : CSDU – couverture finale – étanchéité – géosynthétiques - drainage

ABSTRACT – Compared to the favourable geological and hydrogeological setting, and without any significant impact on the surrounding environment, the regulatory requirement for the rehabilitation of the Solesmes Landfill seemed to be relatively onerous. It comprised a low-permeability soil layer, a geosynthetic clay liner, and a HDPE geomembrane. The first stage of the project was an evaluation of the effectiveness of this over-specified cover system, and a comparison with other solutions more appropriate to the favourable local context. For this, the approach adopted was to estimate the infiltration across the different layer of the cover using a finite element model. As a result, the composition of the final cover system was subsequently optimised both technically and economically. The construction of the final liner system was carried out the following summer and confirmed the validity of the geotechnical and hydraulic design. An important lesson from the works stage was the need for the utmost attention in the construction techniques and methods employed.

Keywords: sanitary landfill – final cover – lining – geosynthetics – cover drainage

1. Introduction

La conception d'une couverture finale est souvent motivée par une position de principe relative à la perméabilité. L'arrêté ministériel de septembre 1997 retient la solution semi-perméable, mais la réalisation de couvertures finales entièrement imperméables n'est plus exceptionnelle et l'emploi d'argiles ou de géomembranes se répand de plus en plus.

En réponse à un sujet soumis par SITA Nord intéressant le Centre de Stockage de Déchets de Solesmes (59), SCETAUROUTE a mené une comparaison de différents dispositifs, géosynthétiques ou minéraux, par un calcul numérique d'infiltration et de ruissellement, suivi d'une analyse afin de classer simplement les solutions dans le contexte environnemental local. Le fruit de cette approche a été l'optimisation tant technique qu'économique de la couverture, et son application pratique sur le chantier, riche elle aussi en leçons de bon sens.

2. Le développement complet d'un sujet courant de couverture imperméable

2.1. Le sujet appliqué au CSD de Solesmes

Le CSD de Solesmes s'inscrit dans un contexte de protection favorable, sa réhabilitation devant s'achever par la mise en place de la couverture finale, priorité programmée pour terminer une intégration réussie dans le paysage.

Le projet intervient après la mise en sécurité du site qui a consisté, après la fermeture, en la mise en place d'une couverture partielle en limons et la création du réseau de gestion des eaux pluviales. Le projet de couverture finale consiste à apporter d'abord un outil de dimensionnement simple, à définir une constitution de couverture finale la plus adaptée aux objectifs environnementaux, puis à la réaliser au cours de l'été 2005.

Dans un contexte géologique et hydrogéologique favorable, l'obligation de remise en état est dictée par un arrêté préfectoral qui prévoit une couverture de protection renforcée : une étanchéité double, minérale et polymère (une épaisseur semi-perméable avec des matériaux naturels remaniés, associée à un géosynthétique bentonitique et une géomembrane PEHD). Le suivi piézométrique démontre l'absence d'impact.

2.2. Le CSD dans son environnement

Le suivi de la qualité des eaux souterraines au droit du site entrepris depuis 1989, montre qu'en fait aucune incidence significative du site sur la qualité des eaux souterraines n'est à signaler, car les valeurs des indicateurs physico-chimiques restent bien inférieures aux valeurs de constat d'impact définies pour un usage sensible, les VCI_{usage sensible} se rapportant à la gestion des sites potentiellement pollués (BRGM, 2002). Pour les eaux de ruissellement, aucune incidence significative n'est à signaler non plus, car les valeurs des indicateurs physico-chimiques restent toutes bien inférieures aux valeurs limites avant rejet données par l'arrêté préfectoral de cessation d'activité.

Tout se passe comme si le site semblait être isolé de la nappe de la craie par des formations géologiques (alternance de silt argilo-sablonneux, sable fin, sable argileux et argile sableuse) d'environ 15 m d'épaisseur, présentant une perméabilité très faible, entre 10^{-7} et 10^{-9} m/s selon les essais in situ ou en laboratoire. De surcroît, les horizons d'argile qui composent ces formations, filtrent et fixent les possibles polluants organiques. L'exploitation pour les besoins en eau potable et en eau industrielle est éloignée du site, à une distance de plus de 2 km, et ne se situe pas dans le même bassin versant hydrogéologique.

2.3. Étude de modélisation et optimisation de la couverture

Le projet a donc débuté par la vérification de l'efficacité de cette couverture excessive, puis par la comparaison avec d'autres constitutions plus en rapport avec le contexte de protection local. L'approche comparative a été réalisée par la modélisation par éléments finis de l'infiltration au travers des différents constituants, soumis à une pluie décennale, appelée « recharge ». Quatre modèles théoriques ont ainsi été testés. À chaque fois, le drainage a été paramétré de façon à supprimer la charge hydraulique sur l'horizon « le plus imperméable » (sol type limoneux ou géosynthétiques) et à déduire ses caractéristiques hydrauliques de perméabilité et de transmissivité.

L'efficacité comparée des couvertures imperméables est globalement équivalente, en tout état supérieure à 99 %. Le modèle de protection le plus satisfaisant permet de réduire l'infiltration à 0,36 % de la pluviométrie. Il correspond à la constitution géomembrane polymère + géosynthétique bentonitique type 5.000 g/m² + 0,20 m couche semi-perméable ($k = 10^{-6}$ m/s) sur les dômes et sur les talus.

Quant à la constitution semi-perméable, elle n'obtient pas de résultats satisfaisants, ce qui peut justifier la position prudente prise par l'administration dans le cas de Solesmes. D'après le modèle utilisé, environ 76 % de la recharge s'infiltrerait dans une couverture incorrectement réglée et drainée, comparable à une couverture provisoire constituée de matériaux semi-perméables de type limoneux ou sablo-argileux.

Cette étude démontre que toute constitution imperméable retient autour 99,5 % de la recharge et il est intéressant de remarquer que ce résultat théorique se rapproche, en ordre de grandeur, du ratio de bilan hydrique que certains exploitants utilisent de façon pragmatique et prudente pour estimer la production de lixiviats dans leur stockage. Ce ratio est communément de l'ordre de 1 %.

Une combinaison optimisée est ainsi confirmée par le calcul et elle est retenue par le maître d'ouvrage pour la suite du projet : 0,20 m de limons du site remaniés afin d'obtenir une perméabilité de l'ordre de 10^{-7} m/s, un géosynthétique bentonitique de type 5 kg/m², un géocomposite de drainage et la terre végétale support à un ensemencement d'herbes mélangées. En dôme, cette combinaison est complétée par une géomembrane PEHD d'épaisseur 1 mm afin de se conformer aux exigences réglementaires, car cet ajout n'apporterait selon le modèle aucun avantage dans la limitation du débit d'infiltration.

En talus, il a fallu prévoir en plus un renforcement mécanique à l'interface GSB et terre végétale. Le dimensionnement et le choix du produit est facilité par une géométrie régulière et une terre de couverture homogène quoique lourde (20 kN/m^3).

Un autre facteur qui contribue à l'optimisation économique de l'opération est la présence sur le site d'un emprunt dont les caractéristiques et les quantités ont été vérifiées par la maîtrise d'œuvre au moment du projet. Ces matériaux sont très adaptés à la couche semi-perméable et à la terre de couverture, limitant ainsi fortement l'apport de terre extérieure au chantier. C'est ce scénario qui est donc retenu pour la consultation, laissant peu de possibilité de variante aux candidats mais permettant un jugement plus rigoureux et plus clair des offres sur les critères de capacité technique et financiers.

Le chantier concerne une surface de 7 ha, dont la moitié en talus de pente 2H/1V.



Photographie 1. Limon semi-perméable ($k < 10^{-6} \text{ m/s}$) en talus (SITA Nord – SCETAUROUTE)

2.4. Présentation des travaux

Les travaux ont été réalisés entre mai et septembre 2005 par les sociétés GEOBTP et GUINTOLI, sous la conduite de SITA Nord et de son maître d'œuvre SCETAUROUTE. Les quantités mises en œuvre sont les suivantes :

- 5000 m^3 de déblai et de remblai pour l'obtention d'un profil régulier. Ce faible volume a été optimisé lors du projet et a concerné pour l'essentiel un talus et le dôme ;
- 10.000 m^3 de limons semi-perméables ;
- 71.000 m^2 de dispositif d'étanchéité et de drainage composite, dont 36.000 m^2 en talus, nécessitant la pose d'une géogrille de résistance en traction en service de 11 kN/m ;
- 20.000 m^3 de terre de couverture, dont 6.000 m^3 en apport extérieur ;
- 70.000 m^2 d'ensemencement pour l'intégration paysagère ;
- 1 chambre de décantation en béton (plan d'eau de 36 m^2) ;
- 3.000 m de fossé ;
- 9 busages de petit diamètre ;
- 3 passages ouverts ou gués en béton.

Les géosynthétiques utilisés sont les suivants :

- géosynthétique bentonitique BENTOMAT® SS 100 (CETCO) ;
- géomembrane PEHD ALKORTENE® 00251 en 1.0 mm ;
- géocomposite de drainage HUESKER POZIDRAIN 4S250D / NW 8 (2 faces en dôme) et 4S250 / NW 8 (une face en talus) ;
- géogrille de renforcement FORTRAC® 3D-30 (HUESKER).



Photographie 2. En talus : limon, GSB et géocomposite de drainage (SITA Nord – SCETAUROUTE)

La préparation du chantier a permis aux professionnels de confirmer les dimensionnements des fournitures contenus dans le dossier de consultation et de mettre au point avec le maître d'œuvre une dernière amélioration de la conception pour l'exécution du renforcement aux interfaces. Après la reconnaissance des terrains, qui a découvert une épaisseur suffisante pour les terrassements, les tranchées d'ancrage ont toutes été décalées de quelques dizaines de centimètres. Elles ont été recalculées selon cette géométrie. Le bénéfice de cette amélioration est une diminution de 7 % de la surface de géogrille de renforcement.

2.5. Les retours d'expérience du chantier

Le chantier a ensuite prouvé la validité des dimensionnements géotechniques, hydrauliques et du renforcement aux interfaces. Notamment, il a montré que la stabilité des constituants sur les pentes n'est obtenue que si toutes les conditions de mise en œuvre sont correctement respectées : section de l'ancrage, largeur des géosynthétiques en tranchée pour la mobilisation du frottement, poids du remblai sur l'ancrage ou les recouvrements sur risberme, épaisseur et réglage de la terre sur les talus. Il est important d'éviter qu'un mauvais réglage de la couche finale ne favorise les pièges à eau, la saturation des terres et son augmentation de poids, sous peine de provoquer des glissements de la couche végétale, en général peu localisés et endommageant les géosynthétiques de drainage et d'étanchéité.

Réalisé en été, le chantier a subi quelques orages déplaisants, mais ces aléas météorologiques ont eu d'autant moins d'effet sur les travaux que des réseaux hydrauliques de protection ont été réalisés à l'avancement, même pour un usage temporaire. Rarement exécutées systématiquement, de telles mesures préventives permettent néanmoins de limiter la détérioration des produits par les glissements ou les averses et leur remplacement.

2.6. Conclusion

Le projet de Solesmes est ainsi l'occasion d'un exercice complet d'études et de travaux mettant en pratique le thème d'une couverture finale imperméable de dimension finalement assez répandue. Sur ce sujet récurrent chez tous les exploitants ou maîtres d'ouvrage de Centre de Stockage de Déchets, il a permis de disposer d'arguments sur les plans techniques et économiques, justifiant le dispositif le plus adapté. La réalisation du projet a été menée en définitive dans les délais impartis à la satisfaction de l'ensemble des participants.



Photographie 3. La constitution précédente + le renforcement + le recouvrement de l'ancrage (SITA Nord – SCETAURROUTE)



Photographie 4. Sur le dôme : limon semi-perméable, GSB et géomembrane PEHD (SITA Nord – SCETAURROUTE)



Photographie 5. Vue d'ensemble en talus : profilage, étanchéité, drainage, renforcement et terre végétale (SITA Nord – SCETAUROUTE)



Photographie 6. Vue aérienne en fin de chantier (SITA Nord – SCETAUROUTE)

3. Références bibliographiques

BRGM (2002). Guide de gestion des sites (potentiellement) pollués version 2. Annexe 5C révision du 09 décembre 2002 : valeurs guides en matière de pollution des eaux et des sols.