

Géosynthétiques et centres de stockage de déchets

Yves Matichard

Après un développement important ces vingt dernières années, les géosynthétiques sont désormais des matériaux intégrés aux techniques mises en œuvre pour l'aménagement, le réaménagement ou la réhabilitation de centres de stockage de déchets (photo 1). L'utilisation de géosynthétiques, et en particulier de géomembranes, est d'ailleurs prescrite par les réglementations actuelles relatives à la filière stockage du traitement des déchets, tant en France qu'en Europe avec la nouvelle Directive Européenne, ainsi que dans le monde.

Les réglementations actuelles sont basées sur la notion de confinement des déchets, c'est-à-dire sur la notion de limitation et de contrôle des transferts de matière des déchets vers le milieu environnant, tant en ce qui concerne les effluents liquides (lixiviats) que gazeux (biogaz), mais aussi du milieu environnant vers les déchets en ce qui concerne les eaux météoriques, superficielles ou souterraines. A cet effet, la réglementation française introduit le concept de sécurité passive et de sécurité active. La sécurité passive fait appel aux caractéristiques du milieu encaissant et est destinée à la protection à long terme du milieu environnant. Les caractéristiques requises, en



▲ Photo 1. – Construction d'un centre de stockage de déchets (photo Y. Matichard).

termes d'épaisseur et de perméabilité des sols, sont fonction de la nature des déchets à stocker (Déchets Industriels Spéciaux : Arrêté Ministériel du 12.12.92; Déchets Ménagers et Assimilés : Arrêté Ministériel du 09.09.97). La sécurité active est destinée, quant à elle, à éviter la sollicitation de la sécurité passive. Elle a pour objet le drainage et la collecte des effluents produits par les déchets. Les géomembranes,

Yves Matichard
SITA
94, Rue de
Provence
BP 69309
75425 Paris

prescrites dans cette sécurité active, ont ainsi pour fonction de créer un interface de très faible perméabilité qui favorise le drainage, par une structure de drainage sus-jacente, soit des lixiviats en fond et sur les talus du centre de stockage, soit des eaux météoriques d'infiltration en couverture.

De nombreux types de géosynthétiques sont utilisés (géomembrane, géotextile, géoespaceur, géosynthétique bentonitique) pour constituer des dispositifs plus ou moins complexes répondant aux exigences réglementaires en termes de confinement des déchets. On parle alors, selon la terminologie définie par le Comité Français des Géosynthétiques (CFG), de Dispositifs d'Étanchéité par Géosynthétiques (DEG), ou de Dispositif de Drainage par Géosynthétiques (DDG). Les deux dispositifs peuvent d'ailleurs être combinés pour former un Dispositif d'Étanchéité et de Drainage par Géosynthétiques (DEDG).

Le marché annuel de géomembranes dans les travaux d'aménagement de centres de stockage de déchets est évalué à 2 Mm², en France, pour un volume de déchets ménagers et assimilés entrant sur ces sites de l'ordre de 20 Mt.

Les contraintes spécifiques des centres de stockage de déchets

Les centres de stockage de déchets présentent un certain nombre de contraintes spécifiques, par rapport aux autres ouvrages de "Génie Civil", qui doivent être prises en considération lors de la conception, de l'installation et du contrôle des DEG et DDG.

L'environnement fonctionnel des géosynthétiques est caractérisé par des conditions particulières :

- sollicitations chimiques, biologiques du fait de la présence de lixiviats, de biogaz,
- sollicitations mécaniques, localisées ou non, du fait de la masse de déchets stockés,
- sollicitations thermiques liées au processus de dégradation des déchets,
- sollicitations par les agents atmosphériques et le rayonnement UV.

Les sollicitations mécaniques peuvent être de type poinçonnement sous la charge apportée par les déchets pour les DEG en fond et sur les talus ou de type mise en tension sous l'action du tassement des déchets pour les DEG en couverture.

La durée de service des DEG et DDG est aussi une contrainte spécifique des centres de stockage de déchets. Elle est caractérisée par une période d'exploitation du centre au cours de laquelle les conditions de l'environnement fonctionnel des DEG et DDG vont évoluer (nature des déchets, phasage d'exploitation), et une période de post-exploitation au cours de laquelle les déchets continueront à produire des lixiviats et du biogaz que l'exploitant devra traiter. La réglementation française, et maintenant européenne, fixe cette période de post-exploitation à une durée minimale de 30 ans.

L'utilisation de géosynthétiques a permis d'apporter des solutions techniques pour la construction de centres de stockage de déchets conformes aux exigences réglementaires en vue de protéger l'environnement. Les centres de stockage de déchets sont ainsi devenus des ouvrages techniques complexes avec leurs propres contraintes techniques. Ainsi, l'association de plusieurs géosynthétiques pour créer des DEG et des DDG peut être caractérisée par des interfaces présentant de faibles caractéristiques de frottement (argile-géomembrane, géomembrane-géoespaceur, géomembrane-géotextile) incompatibles avec la géométrie du projet. La non prise en compte de ces contraintes spécifiques peut conduire à des instabilités de matériaux sur les talus, voire de la masse des déchets sur les DEG et les DDG comme en témoignent quelques exemples dans la littérature (Mitchell et al, 1990 ; Ouvry et al, 1995).

L'installation des DEG et des DDG doit aussi prendre en compte les contraintes spécifiques des centres de stockage (géométrie des alvéoles, délais d'exécution, ouvrages particuliers de collecte des lixiviats, structure drainante mise en place sur le DEG), mais aussi des géosynthétiques eux-mêmes lors des travaux. Ainsi les géomembranes PEHD (voir paragraphe suivant) sont caractérisées par une

dilatation thermique : en fonction des conditions de température ambiante lors de l'installation, la géomembrane peut présenter des plis d'amplitude décimétrique (Giroud et al, 1992) qui constitueront des sujétions lors de la mise en place de la structure de drainage granulaire sus-jacente (Photo 2).

Le contrôle de l'installation et de l'assemblage des géosynthétiques, en particulier des géomembranes, est essentiel pour garantir la conformité du centre de stockage à son objectif de confinement des déchets. Ces travaux et contrôles font l'objet de nombreuses recommandations (CFG, 1995 ; SITA, 1996 ; ADEME, 1998). La réglementation française fait d'ailleurs explicitement référence à la mise en place d'un contrôle indépendant pour l'installation des géomembranes. Des certifications de produits et de services ont été développés en France pour ces travaux avec un organisme tiers indépendant, l'ASQUAL. Il existe d'autre part des méthodes de contrôle global de l'intégrité des DEG installés (Rollin et al, 1999).

Les applications des géosynthétiques

■ Les Dispositifs Types

Les DEG et les DDG sont utilisés dans les centres de stockage de déchets en interface avec le substratum sur le fond et les talus (Photo 1) et en interface avec le milieu atmosphérique au sein du complexe de couverture sur les déchets. Ils sont généralement composés d'un assemblage des structures types suivantes (description du haut vers le bas) :

- structure de protection,
- structure d'étanchéité / de drainage,
- structure support.

Les structures de protection et les structures support peuvent être constituées par des sols, des géosynthétiques et/ou des éléments préfabriqués en fonction du projet. Elles ont pour objet respectif de protéger la structure d'étanchéité, et de permettre l'installation de celle-ci pour garantir sa fonction d'étanchéité. La structure d'étanchéité comporte généralement une géomembrane et peut être



▲ Photo 2. – Exemple de plis des géomembranes PEHD lors de la mise en oeuvre (photo Y. Matichard).

simple, double ou composite (géomembrane et argile). Des exemples de DEG sont présentés Figure 1. La structure de drainage est en général, dans le cas d'un DDG, constituée par un géoespaceur ou un géocomposite associé ou non à des géotextiles.

Dans le cadre de la réglementation française les dispositifs types sont présentés Figure 2. La structure de drainage en fond est, en principe, constituée de matériaux granulaires et de collecteurs. La présence d'une géomembrane dans le complexe de couverture est fonction de la nature des déchets. Elle est imposée dans le cas des déchets industriels spéciaux, des déchets ménagers et assimilés non évolutifs, alors que dans le cas des déchets ménagers et assimilés évolutifs son utilisation dépend de la conception et des caractéristiques du site.

■ Les géosynthétiques utilisés et leurs fonctions

Le choix des géosynthétiques utilisés dans les DEG et DDG est lié aux fonctions que ceux-ci doivent assurer dans l'ouvrage. Ces fonctions ont été définies par le Comité Français des Géosynthétiques (CFG) et sont présentées dans le Tableau 1. Ce tableau n'est pas exhaustif et ne doit pas être utilisé comme outil de sélection.

Des exemples des principales fonctions (étanchéité, protection, drainage, filtration) des

géosynthétiques utilisés dans les centres de stockage de déchets sont discutés dans le paragraphe suivant.

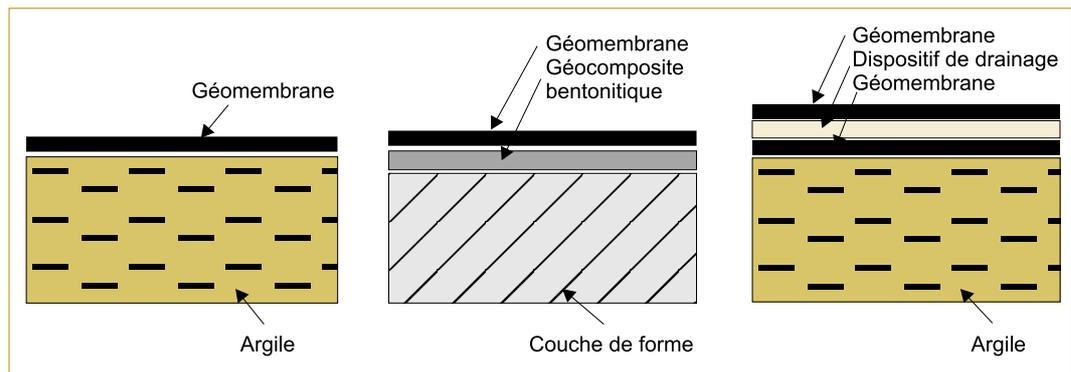
■ **Exemples d'application par fonction**

Etanchéité

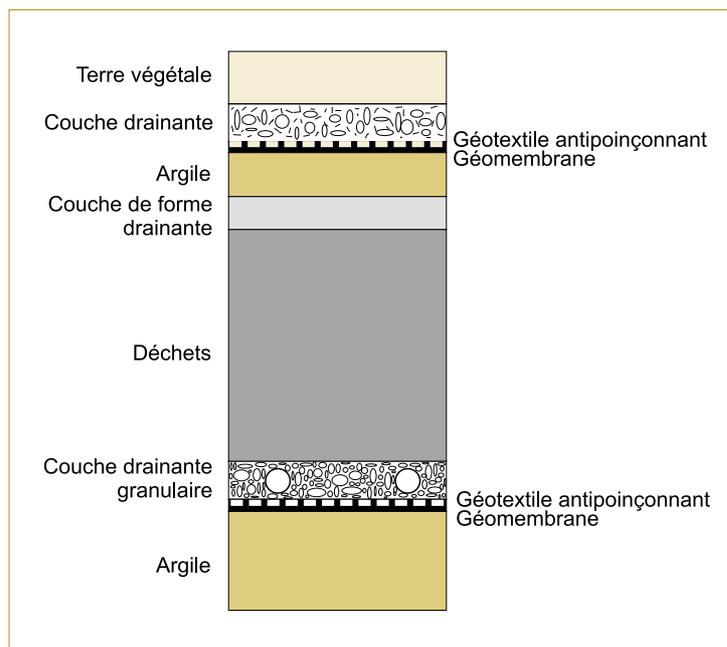
La fonction étanchéité est obtenue avec une structure d'étanchéité généralement constituée d'une géomembrane. La plupart des géomembranes utilisées en fond et sur les talus de centres de stockage de déchets sont constituées de Polyéthylène Haute Densité (PEHD) compte tenu de l'inertie chimique de ce polymère et de sa durabilité (Haxo et al, 1988 ; Landreth, 1990 ; Haxo, 1991). Dans le

cas de structure d'étanchéité incluse dans le complexe de couverture, d'autres matériaux sont utilisés comme les géomembranes bitumineuses, les géomembranes à base de Polychlorure de Vinyl (PVC), les géomembranes à base de Polyéthylène Basse Densité (PEBD). D'autres matériaux potentiels comme les géomembranes à base de Polypropylène (PP) font l'objet de programmes de validation (Potié et al, 1995).

Les différentes prescriptions techniques imposent une épaisseur minimale de 1,5 mm au regard des critères de soudabilité du matériau PEHD. L'épaisseur des géomembranes PEHD est usuellement comprise entre 1,5 mm (Etats-Unis), 2 mm (France) voire 2,5 mm



▲ Figure 1 – Exemples de dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques



◀ Figure 2 – Structures types de dispositif d'étanchéité et de drainage dans les centres de stockage de déchets en France (classes 1 et 2)

Tableau 1. – Exemples de fonction des géosynthétiques utilisés dans les centres de stockage de déchets. (Comité Français des Géosynthétiques, Fascicule n°11, 1995). ▼

Fonction	Géomembrane	Géotextile	Géoespaceur	Géogrille	Géococteneur
Étanchéité	✓				
Protection		✓		✓	
Drainage			✓		
Filtration		✓			
Séparation		✓			
Renforcement		✓		✓	✓
Résistance à l'érosion			✓		✓

(Allemagne, Italie). Pour certains ouvrages particuliers une épaisseur de 3 mm a été considérée.

Les géomembranes PEHD présentent un comportement en traction spécifique avec la présence d'un seuil d'écoulement entre 10 et 15 % de déformation. Giroud et al, 1994, ont montré l'importance de ce comportement sur le dimensionnement et l'installation des structures d'étanchéité avec ces géomembranes. Comme évoqué précédemment, les matériaux utilisés possèdent leurs propres contraintes d'utilisation.

La structure d'étanchéité peut aussi faire appel aux géosynthétiques bentonitiques (bentonite en poudre confinée entre deux géotextiles et dont le mode d'assemblage peut être le collage, l'aiguilletage ou la couture) dont une utilisation classique est l'association avec une géomembrane pour constituer une étanchéité composite. Les performances de ces étanchéités composites, en termes d'impact sur le milieu environnant, sont meilleures que celles d'une étanchéité simple (Bonaparte et al, 1995). La réglementation française introduit ainsi la notion de "mesures compensatrices" pour la sécurité passive dans le cas où le sol environnant ne satisfait pas aux exigences en termes de perméabilité, ainsi que la notion de "géomembrane ou dispositif équivalent" pour la sécurité active. Le Cahier Technique de l'ADEME (1999) évoque l'utilisation de géosynthétiques bentonitiques pour améliorer

la sécurité passive sur les talus pour lesquels il est difficile de mettre en place une structure d'argile compactée (conductivité hydraulique inférieure à 10^{-9} m/s) sur une épaisseur de 1 m ; mais ce cahier ne prévoit pas l'utilisation de géosynthétiques bentonitiques pour améliorer la sécurité passive en fond de casier. Les exemples actuels d'utilisation de géosynthétiques bentonitiques concernent principalement des étanchéités composites en fond et talus, ou des étanchéités simples en couverture de centres de stockage de déchets (Photo 3) pour lesquelles les géosynthétiques utilisés présentent une charge de bentonite de 5 à 3 kg/m².



◀ Photo 3. – Exemple de mise en oeuvre de géosynthétique bentonitique sur les talus d'un centre de stockage de déchets (photo Y. Matichard).

Protection

Nous avons vu que la notion de confinement des déchets préconisée par les différentes réglementations s'accompagne du concept de drainage et de collecte des effluents produits par les déchets. A cet effet le DEG en fond et sur les talus est donc usuellement associé à un dispositif de drainage des lixiviats. Dans le cadre de la réglementation française, cette structure doit être constituée de matériaux granulaires. Ces matériaux induisent des sollicitations localisées de poinçonnement de la structure d'étanchéité sous-jacente sous l'action de la charge apportée par les déchets. Le DEG doit donc comporter une structure de protection destinée à protéger la géomembrane vis-à-vis de ces sollicitations localisées. Les conditions de sollicitation sont complexes car elles combinent des sollicitations mécaniques, des sollicitations chimiques et des sollicitations thermiques, la température liée au processus de dégradation des déchets pouvant être au niveau de la géomembrane comprise entre 40°C à 60°C.

Les sollicitations, en particulier mécaniques, sont spécifiques à chaque projet (géométrie du site, matériau granulaire, nature et hauteur des déchets) et les caractéristiques des géosynthétiques résultant d'essais dits "index tests" (résistance au poinçonnement par exemple) ne peuvent rendre compte de ces sollicitations. Des approches ont été proposées pour le dimensionnement de la structure de protection (Wilson-Fahmy et al, 1996 ; Giroud et al, 1995), mais elles nécessitent généralement de coupler un comportement en laboratoire avec un comportement in situ (Duquennoy et al, 1996). Des essais de performance reproduisant les conditions de sollicitation en service sont donc essentiels pour dimensionner les structures de protection.

Les structures de protection généralement utilisées aujourd'hui sont constituées de géotextiles de masse surfacique comprise entre 300 à 1500 g/m² selon les projets, de "matelas" constitués de sable confiné entre deux géotextiles (Zanzinger et al, 1997), voire de géomatériaux spécifiques.

Drainage

La structure de drainage des lixiviats, granulaire selon la réglementation française, peut être remplacée par un DDG selon les réglementations et projets. Dans ce cas, la structure de drainage est généralement constituée d'un géospaceur caractérisé par une épaisseur de quelques millimètres (3 à 15 mm) et une transmissivité importante (10^{-2} à 10^{-4} m²/s). Ces géospaceurs peuvent être décrits comme des grilles bidirectionnelles permettant un écoulement dans leur plan. Le polymère de base est généralement le PEHD.

De tels DDG sont classiquement utilisés pour le drainage des lixiviats sur les talus compte tenu de la difficulté de mettre en œuvre une structure de drainage avec des matériaux granulaires dans des conditions satisfaisantes de stabilité. Toutefois la combinaison d'une géomembrane et d'un géospaceur présente la particularité de constituer un interface critique vis-à-vis de la stabilité des déchets qui seront mis en place sur cette combinaison de structures. En effet l'angle de frottement entre une géomembrane et un géospaceur est faible ($< 10^\circ$) et incompatible avec les pentes classiques des talus (1V / 3H à 1V / 1H). Des dispositions constructives complémentaires sont alors nécessaires comme l'utilisation d'une géomembrane texturée et d'un géotextile d'interface associé au géospaceur.

Les structures de drainage des eaux météoriques d'infiltration dans le complexe de couverture peuvent également bénéficier des avantages techniques et économiques des DDG (Bloquet et al, 1995).

Filtration

Les structures de drainage des lixiviats, constituées d'un matériau granulaire ou d'un DDG, nécessitent pour assurer la fonction de drainage tout au cours de la durée de vie du centre de stockage d'être préservées du colmatage par les fines particules en provenance du massif de déchets et transportées par le flux de lixiviats. Il s'agit de filtrer ces particules.

Un géotextile peut être utilisé pour cette fonction en tant que structure de filtration pour la

structure de drainage. Ceci est d'ailleurs une application classique dans les ouvrages hydrauliques. Cette utilisation est particulièrement aisée dans le cas des DDG pour lesquels l'association avec le géotextile filtre peut être réalisée au moment de la fabrication du géosynthétique. Mais le fonctionnement d'un filtre géotextile en fond d'un centre de stockage de déchets est différent de celui d'un filtre géotextile dans un ouvrage hydraulique, comme un barrage, compte tenu des conditions environnantes (lixiviats, température, biogaz, anaérobie). La littérature rapporte ainsi que ces conditions environnantes particulières peuvent induire le développement de films bactériologiques (Mlynarek et al, 1995) ou d'incrustations (Brune et al, 1991) et conduire à un colmatage biologique du filtre voire de la structure de drainage. L'utilisation d'un filtre géotextile peut favoriser ce processus. Giroud (1996), propose, dans son état de l'art des filtres, des règles de dimensionnement avec en particulier le choix d'une ouverture de filtration du filtre géotextile supérieure à 500 µm. Les géotextiles répondant à ces critères s'apparentent à des tissés de monofilaments à maille fine et de très faible épaisseur. L'introduction de tels filtres, par exemple associé à un DDG, peut alors nécessiter d'analyser l'incidence de la présence du filtre sur la stabilité des déchets. Deux écoles se font le jour sur cette question d'un filtre pour le dispositif de drainage des lixiviats : utilisation d'un filtre géotextile en association avec la structure de drainage ou adaptation la structure de drainage (dimensions des granulats et distribution granulométrique) pour éviter le colmatage biologique.

L'utilisation de filtres géotextile, en association avec une structure de drainage, dans les dispositifs de couverture d'un centre de stockage de déchets est, quant à elle, une application classique qui s'apparente aux applications dans les ouvrages hydrauliques. Elle obéit à des règles de dimensionnement maintenant éprouvées. Les géotextiles couramment utilisés sont des non tissés aiguilletés.

■ *Les applications particulières*

Les géosynthétiques trouvent aussi de nombreuses applications particulières dans les

centres de stockage de déchets. Quelques exemples sont évoqués ci-après.

Renforcement :

Les géotextiles, géogrilles qui présentent une résistance en traction élevée peuvent être utilisés pour renforcer des structures en terre en se substituant au sol environnant pour reprendre en traction les efforts développés dans la structure. Cette technique peut permettre, par exemple, de renforcer le sol de fondation sous des ouvrages particuliers de collecte, de raidir des talus de remblai (digue interne, digue périphérique), de stabiliser des structures sur pentes...

Protection vis-à-vis de l'érosion :

Des produits apparentés aux géosynthétiques sont couramment utilisés pour la protection de l'érosion des sols par les eaux météoriques de ruissellement. Cet aspect est primordial dans la gestion à long terme du réaménagement des centres de stockage de déchets, une érosion du dispositif de couverture pouvant induire des désordres de l'ouvrage et des coûts supplémentaires (production de lixiviats, saturation des déchets, instabilité de digues, déchets). Les produits utilisés sont généralement constitués d'une structure tridimensionnelle ou alvéolaire destinée à confiner le sol en surface et à favoriser la mise en place d'une végétation.

Couvertures temporaires :

Des géofilms peuvent être utilisés sur les zones d'exploitation pour lesquelles la mise en place de déchets est temporairement arrêtée, en fonction du phasage d'exploitation, du site afin de prévenir l'infiltration des eaux météoriques dans le massif de déchets. Ces géofilms s'apparentent à des films plastiques en polyéthylène dont la mise en œuvre peut être automatisée (Photo 4). Ces géofilms ne doivent pas être confondus avec les géomembranes du fait d'une épaisseur très faible de quelques 1/10 mm.

Parois de confinement :

Dans des applications de réhabilitation d'anciens centres de stockage de déchets, il peut être nécessaire de créer une enceinte latérale de confinement. La technologie des parois moulées a été adaptée pour mettre en place une géomembrane à l'intérieur de la paroi et produire ainsi une paroi étanche (Ouvry et al, 1996).



▲ Photo 4. – Exemple de couverture provisoire avec un géofilm pour la gestion des eaux de surface (photo Y. Matichard).

L'évolution du marché - les besoins

La notion de confinement des déchets, introduite par les différentes législations, connaît aujourd'hui une évolution vers la notion de bioréacteur. Cette dernière est basée sur l'optimisation de la dégradation des déchets et donc la réduction de leur impact potentiel à long terme sur le milieu environnant. Cela signifie que les déchets doivent être amenés à une teneur en eau optimale et par conséquent un contrôle des flux entrants dans le massif de déchets. Cette notion est d'ailleurs présente dans la récente réglementation française sur les centres de stockage de déchets ménagers et assimilés (1997) avec l'introduction de complexes de couverture semi-perméables pour les déchets évolutifs. Cela se traduira par une plus grande qualité d'exécution de l'interface, mettant en œuvre des géosynthétiques, du site avec le sol environnant pour le contrôle des flux internes au massif de déchets et par une perméabilité contrôlée du complexe de couverture.

L'évolution du marché consiste aussi bien sûr en la validation de nouveaux matériaux pour des techniques de mise en œuvre plus simples, une meilleure qualité d'installation et un contrôle facilité. En ce qui concerne les matériaux existants, l'enjeu actuel, compte tenu de la prise en considération d'une période de post exploitation d'une durée minimale de 30 ans, est l'aptitude à démontrer leur durabilité par des analyses en laboratoire, mais aussi des constatations sur ouvrages réels, sur cette période.

Enfin l'évolution du marché actuel et des entreprises vers une mondialisation et une meilleure productivité se traduit par l'organisation de ces entreprises avec, en particulier, une politique d'achats pour garantir le coût et la qualité des travaux. Ceci est typiquement le cas pour les géosynthétiques mis en œuvre dans la construction et le réaménagement de centres de stockage de déchets.

Conclusion

Les géosynthétiques, et plus généralement les Dispositifs d'Étanchéité par Géosynthétiques et les Dispositifs de Drainage par Géosynthétiques, sont et seront des éléments clés de l'aménagement des centres de stockage de déchets pour répondre aux exigences réglementaires, environnementales et économiques.

L'évolution du marché en termes de mode de gestion des déchets, en particulier de la filière stockage, mais aussi des entreprises gestionnaires des déchets s'accompagnera de nouveaux challenges auxquels les géosynthétiques pourront contribuer techniquement et économiquement. La profession, tant au niveau de la recherche que de la production des géosynthétiques et de leur mise en œuvre, se doit de préserver sa créativité et de poursuivre son organisation, dans la suite des actions actuelles, pour répondre aux objectifs de productivité et de qualité. ■

Résumé

La construction et le réaménagement de centres de stockage de déchets fait appel à des Dispositifs d'Étanchéité-Drainage par Géosynthétiques pour répondre aux exigences réglementaires de protection de l'environnement. Après une revue des contraintes spécifiques liées à la nature de l'ouvrage, l'utilisation actuelle des géosynthétiques est présentée au travers des fonctions principales suivantes : étanchéité, drainage, protection, filtration. Les lignes générales de l'évolution du marché sont également esquissées.

Abstract

The construction and the closure of landfills involve geosynthetic lining and drainage systems to meet the regulation requirements for the protection of the environment. Following the review of the landfill specific conditions, the actual use of geosynthetics is presented according to the main functions : watertightness, drainage, protection, filtration. The general lines of the market evolution are also out-lined.

Bibliographie

- ADEME, [1998], “ *Démarche Qualité pour la Mise en Œuvre des Géosynthétiques. Application aux Centres de Stockage de Déchets* ”, Guides et Cahiers Techniques, Connaître pour Agir.
- ADEME, [1999], “ *Les installations de stockage de déchets ménagers et assimilés. Techniques et Recommandations* ”, Connaître pour Agir.
- BLOQUET, C., SIMOND, J.J., GISBERT, T., ELIE, G., [1995], “ *Centre de stockage de déchets industriels de Menneville : réaménagement par couverture en géosynthétiques* ”, Proceedings Rencontres 95, Beaunes, France, Delams P. et Gourc J.P. ed., pp ; 173-178.
- BONAPARTE, R., OTHMAN, M.A., RAD, N.R., SWAN, R.H., AND VANDER LINE D.L., [1995], “ *Evaluation of various aspects of GCL performance* ”, Report of Workshop on Geosynthetic Clay Liner, EPA/600/R-95/149, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, F1-F34.
- BRUNE, M., RAMKE, H.G., COLLINS, H.J., AND HANERT, H.H., [1991], “ *Incrustation processes in drainage systems of sanitary landfills* ”, Proceedings of the Third International Landfill Symposium, Sardinia, Italy, Vol.1, pp. 999-1035.
- COMITÉ FRANÇAIS DES GÉOSYNTHÉTIQUES, [1995], “ *Recommandations pour l'Utilisation des Géosynthétiques dans les Centres de Stockage de Déchets* ”, Fascicule N° 11.
- DUQUENNOI, C., ET ARTIÈRES, O., [1997], “ *Practical use of mechanical tests to design synthetic lining systems against localised damage* ”, Proceedings Sixth International Landfill Symposium, Sardinia, Italy, Vol.3, pp.177-187.
- GIROUD, J.P., MOREL, N., [1992], “ *Anamysis of Geomembrane Wrinkles* ”, Geotextiles and Geomembranes, 11, vol. 3, pp. 255-276.
- GIROUD, J.P., BEECH, J.F., SODERMAN, K.L., [1994], “ *Yield of Scratched Geomembranes* ”, Geotextiles and Geomembranes, 13, pp ; 231-246.
- GIROUD, J.P., BADU-TWENEBOAH, K., SODERMAN, K.L., [1995], “ *Theoretical analysis of geomembrane puncture* ”, Geosynthetics International, Vol.2, n°6, pp. 1019-1048.
- GIROUD, J.P., [1996], “ *Granular Filters and Geotextile Filters* ”, Proceedings Geofilters'96, Montréal, Québec, Canada, pp. 565-680.

HAXO, H.E. AND HAXO, P.D., [1988], “ *Consensus report of the Ad Hoc Meeting on the Service Life in Landfill Environments of Flexible Membrane and Other Synthetic Polymeric Materials of Construction* ”, Report N° EPA-600/x-88-252, USEPA, Cincinnati, OH, USA, 52p.

HAXO, H.E., [1991], “ *Compatibility of Flexible Membrane Liners and Municipal Solid Waste Leachates* ”, USEPA, Cincinnati, OH, USA, 107p.

LANDRETH, R.E., [1990], “ *Chemical Resistance Evaluation of Geosynthetics Used in Waste Management Applications* ”, Geosynthetics Testing for Waste Management Applications, ASTM STP 1081, R.M. Koerner, ed., pp.3-11.

MITCHELL, J.K., SEED, R.B., AND SEED, H.B., [1990], “ *Kettleman Hills Waste Landfill Slope Failure. I : Liner-System Properties* ”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, N°4, pp. 647-668.

MLYNAREK, J., AND ROLLIN, A.R., [1995], “ *Bacterial clogging of geotextiles- Overcoming engineering concerns* ”, Proceedings of Geosynthetics'95, Nashville, Tennessee, USA, Vol.1, pp. 177-188.

OUVRY, J.F., GISBERT, T., ET CLOSSET, L., [1995], “ *Rétroanalyse d'un glissement survenu dans un centre de stockage de déchets* ”, Proceedings Rencontres 95, Beaunes, France, Delmas P. et Gourc J.P. ed., Vol.2, pp 148-151.

OUVRY, J.F. ET AL, [1996], “ *Utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage de déchets* ”, Dossier Géosynthétiques, Revue Générale des Routes et Aéroports, n° 737, pp. 52-56.

POTIÉ, G., MATICHARD, Y., BLOQUET, C., GISBERT, T., [1997], “ *Evaluation des Géomembranes en Polypropylène pour une Utilisation dans les Centres de Stockage de Déchets* ”, Proceedings Rencontres 97, Reims, France, DELMAS P ? et GOURC J.P. ed., pp. 157-162.

ROLLIN, A.L., LARCOTTE, M., JACQUELIN, T. ET CHAPUT, L., [1999], “ *Leak location in exposed geomembrane liners using an electrical leak detection technique* ”, Proceedings Geosynthetics 99, NAGS, Boston, USA.

SITA, BLOQUET, C., DIDIER-GUELORGET, B., GISBERT, T., VINET, S., [1996], “ *Utilisation des Géosynthétiques dans les Centres de Stockage de Déchets* ”, Cahiers Techniques Déchets.

WILSON-FAHMY, R.F., NAREJO, D., KOERNER, R.M., [1996], “ *Puncture protection of geomembrane, Part I : Theory* ”, Geosynthetics International, Vol.3, n° 5, pp. 603-628.

ZANZINGER, H., AND GARTUNG, E., [1998], “ *Efficiency of Puncture Protection Layers* ”, Proceedings Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, Georgia, USA, Vol. 1, pp.285-288.