

**UTILISATION DE BROYATS DE PNEUMATIQUES USAGES NON REUTILISABLES  
POUR LE DRAINAGE DES LIXIVIATS  
EN INSTALLATION DE STOCKAGE DE DECHETS NON DANGEREUX**

**PROGRAMME D'ESSAIS ET D'EXPÉRIMENTATIONS EN LABORATOIRE ET *IN  
SITU***

**SYNTHESE**

**Mars 2012**

Synthèse réalisée pour le compte de l'ADEME par EEDEMS  
Travaux de recherche réalisés pour le compte de SITA France et ALIAPUR

**Coordination technique** : Isabelle Hébé – Service Prévention et Gestion des Déchets –  
Direction Consommation Durable et Déchets - ADEME Angers



## REMERCIEMENTS

Remerciements à l'ensemble des membres du comité de pilotage :

HÉBÉ Isabelle (ADEME)  
LUSSAC Fabien (SITA/France)  
Carole BLOQUET (SITA/France)  
GAYRAUD Claire (SITA Sud-Ouest)  
CLAUZADE Catherine (ALIAPUR)  
FAURE Jean-Philippe (ALIAPUR)  
DIDIER Gérard (LGCIE - INSA de Lyon)  
COURADIN Alain (Laboratoire de Géotechnique Environnementale –INSAVALOR)  
NOROTTE Véronique (Laboratoire de Géotechnique Environnementale –INSAVALOR)  
MORETTO Robert (EEDEMS)

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

## Résumé

Le stockage des déchets en France et en Europe se base sur le principe des barrières de sécurité multiples. La première barrière dite « active » se trouve en contact avec le déchet. La seconde dite « passive » est présente soit de manière naturelle par le milieu géologique en place, soit de manière artificielle par apport de géomatériaux (naturels et/ou géosynthétiques). La barrière active est un complexe d'étanchéité-drainage constitué d'un niveau drainant surmontant par l'intermédiaire d'un géotextile de protection, une géomembrane. Le niveau drainant est constitué, de manière classique, par des matériaux granulaires naturels dont l'épaisseur supérieure ou égale à 0,5 mètre est fixée par la réglementation. Ce niveau drainant est complété par un réseau de drains permettant de concentrer l'écoulement des effluents liquides et ainsi d'en faciliter leur évacuation.

Lorsque l'environnement géologique de l'installation de stockage ne dispose pas naturellement de matériaux drainants de qualité, le recours à un dispositif équivalent peut être envisagé et l'utilisation de coproduits industriels comme les broyats de PUNR peut représenter une solution technique de substitution à considérer.

Lors d'un premier programme de recherche mené par EEDEMS pour le compte des sociétés ALIAPUR et SITA France dans le cadre de la valorisation de broyats de PUNR<sup>1</sup> comme matériaux drainant en ISDND<sup>2</sup> différentes approches ont permis de définir :

- les performances physiques et mécaniques de différents types de broyats en matière de drainage de phase liquide (eau et lixiviats),
- l'évaluation de l'impact de l'utilisation de broyats de PUNR sur la qualité physico-chimique des lixiviats et réciproquement d'un point de vue physique et mécanique,
- le dimensionnement sur site en relation avec les caractéristiques des broyats testés.

Les résultats obtenus ont alors permis d'envisager, en grandeur réelle sur un site « A » de SITA France, la valorisation de broyats de PUNR dans la fonction drainage en ISDND en substitution de granulats naturels.

**Dans une première approche**, et dans le cadre de cette application, différents dispositifs de protection de la géomembrane ont également été testés au travers d'études au laboratoire et sur planche d'essai *in situ* (en associant différentes épaisseurs de matériaux à différents types de géotextiles de protection).

L'objectif de l'étude en laboratoire a consisté à tester puis à sélectionner le ou les dispositifs de protection permettant d'éviter tout endommagement de la géomembrane lors de la mise en œuvre des broyats et de la première couche de déchets mais également en phase d'exploitation sous la contrainte maximale de service ( $\sigma_0$ ) apportée par les déchets puis avec la couverture en phase finale.

La démarche utilisée consiste à reconstituer le dispositif de drainage et d'étanchéité par géomembrane dans une cuve de grande dimension (1m de diamètre) et d'appliquer la contrainte statique ( $\sigma_0$ ) pendant une période de durée 3 jours à l'aide d'un bâti équipé d'un vérin de 200 tonnes. L'état de la géomembrane a ensuite été caractérisé visuellement.

Quatre essais de qualification de la protection de la géomembrane vis à vis des matériaux de drainage de type PUNR de type « Large A » ont été réalisés dans une cuve de grand diamètre (1m) sous contrainte uni-axiale de 300 kPa.

---

<sup>1</sup> Pneumatiques Usagés Non Réutilisables

<sup>2</sup> Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux

Les deux types de protection testés ont été :

- deux types de géosynthétiques notés (Gtx1) et (Gtx2) ayant respectivement pour masse surfacique 1 000 et 800 g/m<sup>2</sup> et pour résistance au poinçonnement 10 et 9,5 kN,
- une couche de granulats roulés 20/40 de 20 cm d'épaisseur.

Les quatre essais menés ont montré l'absence de tout endommagement majeur de type « perforation » de la géomembrane PEHD d'épaisseur 2 mm quelle que soit la configuration envisagée. En effet, les examens visuels de la géomembrane ont permis de mettre en évidence des dommages de type « déformations » qui se réduisent très fortement dans le temps après déchargement. Les géotextiles de protection sont marqués sur leur face supérieure mais non perforés.

Pour les essais utilisant des broyats de PUNR, et dans les configurations d'expérimentation, ces résultats indiquent que :

- le géotextile Gtx1 de fort grammage 1 000 g/m<sup>2</sup> (essai E2) assure une protection suffisante lorsqu'il est mis directement en contact avec les broyats de PUNR. Il en est de même lorsqu'une couche de granulats 20/40 est intercalée entre ce géotextile et la couche de broyats (essai E3),
- le géotextile Gtx2 de grammage 800 g/m<sup>2</sup> assure une protection suffisante lorsqu'une couche d'environ 20 cm de granulats 20/40 est intercalée entre ce géotextile et la couche de broyats de PUNR (essai E4).

Les empreintes conservées par le matériau support indiquent des déformations de type creux de 5mm d'amplitude maximale avec cependant un bombement général (concavité) vers le centre où il y a eu concentration de contraintes.

Aussi, pour une exploitation en grandeur réelle (*in situ*), il est néanmoins recommandé d'ajouter sous la couche de PUNR une couche de granulats 20/40 d'épaisseur 20 cm en protection de la géomembrane (facteur de sécurité = 5 dans le cas où les baricules des broyats font 4 cm de long) ou d'envisager des essais de caractérisation par planche d'essai *in situ*.

Une planche d'essai a été réalisée sur site. L'objet de cette mission a eu pour objectif de reconstituer de manière artificielle et à l'échelle d'une planche d'essai un complexe d'étanchéité-drainage composant une barrière de sécurité active. Deux configurations ont été expérimentées et à titre de comparaison le niveau drainant de la première a fait intervenir un matériau drainant naturel, alors que la seconde a fait appel à un système drainant en système bicouche constitué par le même matériau naturel puis par des broyats de PUNR. Une fois ces configurations composées, l'ensemble a été soumis à une sollicitation dynamique par l'intermédiaire du passage répétée d'un engin de chantier visant à simuler la période correspondant aux travaux d'aménagement d'une installation de stockage, voire également celle correspondant à son exploitation commerciale (admission et stockage des déchets).

Pour la première configuration, le niveau drainant est composée de 0,5 m d'épaisseur de matériau naturel 20/40 roulé. Pour la seconde, le niveau drainant est constitué de bas en haut par 0,2 m d'épaisseur de ce même matériau drainant puis par 0,5 m d'épaisseur de broyats de PUNR. Ces deux configurations sont réparties dans le sens longitudinal à la planche d'essai. La géomembrane (2) est une géomembrane en PEHD, d'épaisseur 2 mm.

Le géotextile de protection placé sous la géomembrane est un géotextile ayant une masse surfacique égale à  $500 \text{ g/m}^2$  et de résistance au poinçonnement de 6,5 kN. Il s'agit d'un géotextile non-tissé en polypropylène blanc. Les géotextiles de protection disposés sur la géomembrane proviennent de 2 producteurs. Dans les deux cas, il s'agit d'un géotextile non-tissé dont seul le grammage varie, de manière à mettre en évidence ou non l'influence de la masse surfacique quant à la nature des endommagements supportés par la géomembrane après sollicitations. Ainsi au total, huit géotextiles de 2 types ont été testés : cinq pour le premier type (masse surfacique variant de 800 à  $2\,000 \text{ g/m}^2$  et résistance au poinçonnement variant respectivement de 8 à 18 kN) et trois pour le second type (masse surfacique variant de 800 à  $1\,200 \text{ g/m}^2$  et résistance au poinçonnement variant respectivement de 8 à 12 kN). Ces différents géotextiles sont disposés de manière transversale à la planche d'essai.

Après essai, déblaiement des matériaux granulaires, des broyats de PUNR et l'enlèvement des différents lés des géotextiles, une autopsie visuelle de la géomembrane a été effectuée.

Cette autopsie visuelle montre que les dommages occasionnés par l'essai de chargement dynamique sur la géomembrane sont faibles et peu importants puisque principalement des déformations ont été constatées en certains endroits. Aucune perforation n'a été observée. Les dommages résultent en la déformation de la géomembrane du fait du tassement du sol support ou de la prééminence d'un élément grossier, sans réduction notable de l'épaisseur, rémanente ou non, et en des éraflures

Ainsi, dans les configurations adoptées lors de cette planche d'essai, la géomembrane n'a jamais été en contact avec les broyats de PUNR car séparée de ceux-ci, soit par les différents lés de géotextile + 50 cm de matériaux granulaires, soit par les différents lés de géotextile + 20 cm de matériaux granulaires + 50 cm de broyats de PUNR. De ce fait, et malgré la présence de barbules métalliques de grande dimension, aucune perforation de la géomembrane n'a été observée,

Aussi, pour ce type d'utilisation de broyats de PUNR et pour éviter tout risque de perforation de la géomembrane, nous recommandons de disposer à minima une couche de granulats 20/40 d'épaisseur 20 cm (facteur de sécurité = 5 dans le cas où les barbules des broyats font 4 cm de long) entre les broyats de PUNR et le complexe géomembrane+géotextile.

**Dans une seconde approche** et afin d'appréhender d'une part le taux de tassement d'une couche de broyats de PUNR déposés en fond d'alvéole et soumise à la charge des déchets déposés et, d'autre part, un éventuel impact dû à la présence de broyats de PUNR sur la qualité physico-chimique des lixiviats générés par les déchets, une alvéole « **a** » d'un casier « **X** » sur un site « **A** » de SITA France a été utilisée comme alvéole test.

D'un point de vue technique, le design de l'alvéole test « **a** » est le suivant :

- un géotextile, de masse surfacique  $500 \text{ g/m}^2$  et de résistance au poinçonnement de 2,5 kN, sous la géomembrane, sur le fond et les flancs,
- une géomembrane en PEHD de 2 mm d'épaisseur (barrière active) de résistance au poinçonnement 5,45 kN,
- un géotextile, de masse surfacique  $700 \text{ g/m}^2$  et de résistance au poinçonnement 7,2 kN, sur la géomembrane en fond et sur les diguettes,
- un géotextile de masse surfacique  $800 \text{ g/m}^2$  et de résistance au poinçonnement 7,8 kN sur la géomembrane en talus,
- 20 cm de matériaux granulaires siliceux lavés roulés 20/40 mm ont été mis en place en fond d'alvéole,
- 50 cm de broyats de PUNR de type LARGE A ont été déposés fin d'année 2008 sur les matériaux granulaires siliceux. La masse totale de broyats déposés est de 803 tonnes.

Le contrôle des tassements au cours du remplissage de l'alvéole « **a** » a été réalisé au moyen d'un tassomètre disposé en fond de casier « **X** » de façon à suivre dans le temps et en fonction du chargement du casier le tassement de la couche de broyats de PUNR engendré par la charge induite par les déchets. Le tassomètre est assemblé par un dispositif en trois parties avec : *i*) à la base du pied de talus du casier, un caillebotis métallique galvanisé (150 x 100 x30 mm) solidaire du futur déplacement des PUNR ; *ii*) en tête de flanc périmétrique, un système de mesure comportant un réglé gradué horizontal relié à une assise de fondation en béton ; *iii*) entre ces deux dispositifs, un organe de transmission des déplacements représenté par deux câbles en acier. Les deux câbles courent sur le développé des flancs à l'intérieur d'un tube en PVC rectiligne et solidaire du DEDG. La surface supérieure du caillebotis accueille un cadre métallique (40 x 40 mm) qui sert de guide au déplacement horizontal d'une tige métallique pleine (35 x 35 mm). Cette tige métallique coulisse en fonction du déplacement vertical du caillebotis dont l'une des extrémités vient en contact physique avec le rampant du pied de talus par l'intermédiaire d'une rotule. L'un des câbles est fixé à la rotule, l'autre est fixé à l'extrémité opposée. Si bien que le déplacement des deux câbles est en mesure de fournir également une indication sur l'inclinaison du caillebotis lors de son chargement par le déchet. La couche de matériaux drainant constituant la barrière de sécurité active de l'alvéole est constituée (du bas vers le haut) d'une couche de granulats naturels puis d'une couche de PUNR. C'est en contact de cette couche qu'a été installé le tassomètre en vue d'en déterminer son tassement pendant et après le chargement par le déchet. A l'aplomb du tassomètre, la couche de PUNR possède une épaisseur moyenne de 40-50 centimètres. L'angle du rampant par rapport à l'horizontal est de 45° (pente de 1H/1V) avec une longueur développée de 7,1 mètres.

Le remplissage de l'alvéole « **a** » par les déchets d'OM s'est étalé sur une période de 5 mois (février à juin 2009) et s'est terminé par la mise en place de la couverture argileuse en septembre 2009.

A ce jour, les données acquises, relatives à la mise en place d'une hauteur de déchets de 11 mètres + 1 mètre de couverture argileuse, montrent que les déplacements enregistrés par le tassomètre sont significatifs d'un tassement jusqu'à la mise en place de la couverture de l'alvéole « **a** ». Un tassement maximum de **34%** de la couche de broyats initiale de **50 cm** d'épaisseur a été enregistré. Ultérieurement, le tassement n'évolue plus et on peut même remarquer un léger effet de relaxation de la couche de broyats qui pourrait être mis en relation avec une diminution de la masse de déchets surincombants due à la biodégradation de ceux-ci.

Au final, après consolidation sous contraintes apportées par les déchets, l'épaisseur de la couche de broyats (épaisseur résiduelle de 33 cm) ajoutée à l'épaisseur de la couche de granulats sous-jacente (20 cm) respectent bien l'épaisseur de 50 cm requise par la législation pour la couche de drainage en fond d'ISDND.

En ce qui concerne le suivi de la qualité des lixiviats le casier « **X** », dans lequel se situe l'alvéole « **a** », comporte également deux autres alvéoles « **b** » et « **c** ». Le design du casier « **X** » est tel qu'il est possible d'échantillonner les lixiviats de l'alvéole « **a** » dans un regard avant mélange avec les lixiviats des alvéoles « **b** » et « **c** » constitutives de ce casier « **X** ».

Aussi, afin de suivre l'évolution de l'impact de l'alvéole « **a** », qui contient les broyats de PUNR, sur la qualité physico-chimique d'ensemble du casier « **X** », une analyse témoin a été réalisée le 20 novembre 2008 sur les lixiviats des alvéoles « **b** » et « **c** » du casier « **X** » déjà en exploitation avant mise en service de l'alvéole « **a** ». Le prélèvement a été réalisé en point bas du casier « **X** » (la collecte des lixiviats étant gravitaire).

Dans le but d'appréhender un éventuel impact des lixiviats de l'alvéole « **a** » sur la composition physico-chimique des lixiviats du bassin « **A2** », qui réceptionne les lixiviats de l'ensemble des casiers de la zone d'exploitation « **Z A2** » (d'une superficie de 11 Ha et composée de 7 casiers), les résultats obtenus sur l'alvéole « **a** » ont été comparés à ceux obtenus sur ce bassin « **A2** » dont les prélèvements ont été réalisés à l'arrivée du tuyau de collecte des lixiviats de l'ensemble des casiers de cette zone d'exploitation.

En septembre 2009, un nouveau casier « **Y** » a été créé. Il a été conçu avec un regard permettant le prélèvement des lixiviats sur ce casier de façon isolée du reste du dôme. La première alvéole « **d** » ne comporte pas de couche de broyats de PUNR. SITA a fait procéder à partir de novembre 2009 à des prélèvements de lixiviats pour analyses. Cette alvéole a été utilisée comme référentiel et les résultats des analyses physico-chimiques de ses lixiviats ont alors été comparés à ceux du bassin « **A2** » et à ceux de l'alvéole « **a** » du casier « **X** ».

La fréquence des prélèvements analysés depuis le remplissage de l'alvéole « **a** » du casier « **X** » est la suivante :

1) sur l'alvéole « **a** » du casier « **X** » :

2009						2010				2011			
17/03	16/04	19/05	25/06	16/07	06/08	25/11	18/02	06/05	12/08	16/11	16/02	05/05	23/11

2) sur le bassin « **A2** » :

2009					2010				2011			
18/02	07/05	19/05	06/08	25/11	18/02	06/05	12/08	16/11	16/02	05/05	04/08	23/11

3) sur l'alvéole « **d** » du casier « **Y** » :

2009	2010				2011			
20/11	18/02	06/05	12/08	16/11	16/02	05/05	04/08	23/11

L'exploitation des résultats des analyses physico-chimiques a été réalisée de façon à mettre en parallèle l'évolution de la composition physico-chimique des lixiviats dans l'alvéole « **a** » du casier « **X** » (de mars 2009 à novembre 2011), dans le bassin « **A2** » (sur 11 ans) et dans l'alvéole « **d** » du casier « **Y** », et d'avoir par là-même une vision de l'incidence des lixiviats de l'alvéole « **a** » sur le bassin « **A2** » bien que le volume de lixiviats générés par cette alvéole ne représente qu'une faible part du volume des lixiviats recueillis dans le bassin « **A2** » (effet de dilution).

En se référant aux analyses menées sur les lixiviats du site « **A** » par SITA et aux résultats obtenus dans la précédente étude pilote au laboratoire EEDEMS, un panel d'éléments et de substances à rechercher a été arrêté : pH, conductivité, MES, DCO, DBO<sub>5</sub>, COT, NTK, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Indice phénol, HCTotaux, HAPs, Cd, Pb, Ni, Sn, As, Cr<sub>6</sub>, Cr total, Hg, Se, Fe total, Cu, Zn, Mn, Al, Mo, Co, Ba, P total, CN libres, CN totaux, sulfates, chlorures, fluorures, AOX.

Sur une durée de 36 mois de suivi (période de production de lixiviats par l'alvéole « **a** » du casier « **X** »), il est à remarquer que de très nombreux éléments dans les lixiviats de l'alvéole « **a** » du casier « **X** » présentent des concentrations tout à fait en accord avec celles relevées dans le bassin « **A2** », ce qui indique, au regard des résultats obtenus sur l'alvéole « **d** » du casier « **Y** » et malgré les effets de dilution des lixiviats de l'alvéole « **a** » dans le bassin général « **A2** », que les broyats de PUNR ne relarguent pas ces éléments en des concentrations susceptibles de modifier la qualité des lixiviats du bassin général de « **A2** » et que les concentrations relevées dans les lixiviats de l'alvéole « **a** » du casier « **X** » sont essentiellement imputables à la qualité des déchets stockés.

Au terme de 3 ans de suivi, les résultats obtenus au niveau de la qualité physico-chimique des lixiviats générés par les OM montrent que l'utilisation de broyats de PUNR en couche de drainage des lixiviats en fond de l'alvéole « **a** » du casier « **X** » n'a pas de répercussion significative sur la qualité physico-chimique des lixiviats de cette même alvéole et sur celle du bassin « **A2** ». Ces résultats sont confortés par ceux obtenus sur l'alvéole « **d** » du casier « **Y** » qui ne contient pas de broyats de PUNR.

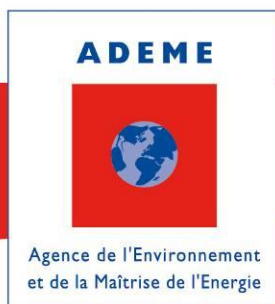
**En l'état actuel des connaissances** acquises sur une alvéole durant une expérimentation d'une durée de 3 ans, il apparaît donc tout à fait possible d'utiliser, en substitution partielle de granulats naturels, des broyats de PUNR en couche de drainage de lixiviats en fond d'ISDND, dans la mesure où un intercalaire de granulats naturels est positionné entre les broyats de PUNR et le complexe de barrière active. Ce premier retour d'expérience mériterait néanmoins d'être conforté ou infirmé par un suivi ultérieur de la qualité des lixiviats de l'alvéole test et des taux de tassements de la couche de broyats de PUNR.



## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.



ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)