

# EVALUATION D'ESSAIS DE DETERMINATION DU COMPORTEMENT À LA LIXIVIATION DE DÉCHETS UTILISÉS EN TECHNIQUE ROUTIÈRE

L. ODIE

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc, CETE Ouest, France  
lionel.odie@equipement.gouv.fr

J-C. AURIOL

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – Centre de Nantes, France  
jean-claude.auriol@lcpc.fr

## RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'opération de recherche « recyclage et matériaux alternatifs » du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, une étude a été effectuée par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc pour évaluer la pertinence des essais de lixiviation et de percolation disponibles, en vue de simuler le relargage d'éléments polluants issus d'un déchet utilisé dans un scénario routier. Les principaux paramètres susceptibles de rapprocher les conditions de l'essai de percolation normalisé (CEN/TS 14405) des conditions plus spécifiques d'un scénario routier ont été évalués. Le rapport Liquide / Solide et le niveau de compactage initial de l'échantillon ont montré une influence limitée sur le relargage des espèces présentes dans le déchet étudié (bétons de démolition contaminés par des pesticides).

D'après les résultats de l'expérimentation de la RD 767 (chaussée constituée de MIOM), l'essai de percolation dans sa version « standard » normalisée constitue un essai pertinent pour simuler la cinétique de relargage au moins à court terme ( $L/S$  cumulé  $< 2$ ) des éléments traces métalliques (Cu, Pb). Un recul plus important sur des sites instrumentés sera nécessaire pour juger de la pertinence de ce type de méthode pour une approche « moyen / long terme ».

Pour ces approches de plus long terme, les essais de lixiviation plus facilement accessibles (NF X31-210 / EN 12457-2) permettent d'obtenir, pour certains éléments traces métalliques, des relargages similaires aux résultats obtenus par l'essai de percolation simulée. Ces méthodes qualifiées d'essais de « conformité », ne doivent donc pas forcément être rejetées pour une simulation des relargages réels, au moins dans un scénario routier.

## 1. INTRODUCTION

L'utilisation de déchets en travaux publics contribue depuis de nombreuses années à la préservation des ressources non renouvelables de granulats naturels. Elle ne peut cependant être envisagée sans s'assurer que l'ouvrage routier, constitué de déchets, ne sera pas à l'origine d'un flux de relargage d'éléments polluants incompatible avec le milieu dans lequel il se trouve. Pour cela il convient de déterminer le comportement à la lixiviation du déchet dans son scénario d'exposition. Si la détermination de ce comportement à la lixiviation dans des conditions spécifiées bénéficie d'une méthodologie désormais normalisée au niveau européen<sup>(1)</sup>, sa mise en application reste dépendante de méthodes d'essais non spécifiques à un scénario d'exposition.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a lancé, dans le cadre de l'opération 11D022 « recyclage et matériaux alternatifs », un travail de recherche avec pour objectif de mieux évaluer la pertinence des essais déjà normalisés ou expérimentaux pour déterminer le comportement à la lixiviation d'un déchet utilisé dans un scénario routier.

Sur la base des premiers protocoles d'essai de percolation émis par le CEN/TC292 « caractérisation des déchets », un mode opératoire, qui se veut le plus représentatif possible des conditions auxquelles un déchet est soumis dans un scénario routier, a été proposé et évalué par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc. Les résultats obtenus ont été mis en parallèle avec les relargages obtenus sur une chaussée constituée de Mâchefer d'Incinération d'Ordures Ménagères, instrumentée spécifiquement pour suivre en flux et concentration les eaux de percolation.

## **2. PRINCIPAUX PARAMÈTRES INFLUANT SUR LE COMPORTEMENT À LA LIXIVIATION D'UN DÉCHET**

Les agents physico-chimiques susceptibles d'intervenir dans les mécanismes de mobilisation et de transport du potentiel polluant d'un déchet sont nombreux. Au travers des vecteurs que constituent les milieux liquide, gazeux et solide, ces agents vont agir sur les conditions de stabilité des éléments majeurs et des espèces minoritaires contenus dans le déchet.

Le comportement à la lixiviation d'un déchet granulaire est principalement contrôlé par la solubilité des espèces, pour ce qui relève de la mobilisation du potentiel polluant et par la convection (entraînement des éléments en solution dans le mouvement du fluide qui se déplace), pour ce qui relève du transport du potentiel polluant<sup>(2)</sup>.

Au travers du rapport Liquide / Solide (L/S) appliqué à un échantillon de déchet, ce sont les mécanismes de solubilité et de convection qui sont utilisés pour simplifier et accélérer le processus de relargage d'un déchet granulaire et aboutir à un essai de simulation du comportement à la lixiviation, utilisable dans une démarche de modélisation conformément à l'esprit de la norme « méthodologique pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées » (EN12920 : 2006).

## **3. PRINCIPAUX ESSAIS DE DÉTERMINATION DU COMPORTEMENT À LA LIXIVIATION D'UN DÉCHET**

Les essais de détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet peuvent être regroupés dans les deux catégories suivantes :

- Les essais de « caractérisation de base » qui permettent d'identifier l'influence de certains paramètres (rapport Liquide / Solide, pH, ...) sur les caractéristiques intrinsèques du déchet et d'obtenir des informations sur son comportement potentiel à court et long terme. Parmi ces essais on peut citer l'essai de percolation simulé qui a été normalisé en 2004, sur la base de conditions standardisées qui ne se veulent pas représentatives d'un scénario spécifique (CEN/TS 14405 : essai de percolation à écoulement ascendant).

- Les essais de « conformité » qui permettent de vérifier que le déchet respecte des seuils de référence imposés par une filière d'utilisation ou d'élimination. Ces essais volontairement « simplifiés » utilisent un nombre limité de facteurs agissant sur le comportement à la lixiviation. Ces facteurs sont toutefois suffisamment sévères et peu représentatifs de certaines conditions d'exposition, notamment pour les scénarios routiers (fragmentation, rapport Liquide/Solide fixe et élevé, agitation), pour générer des relargages importants qui peuvent être obtenus que sur du long terme. Parmi ces essais on peut citer l'essai dit de « lixiviation » initialement normalisé en France sous la référence NF XP 31-210 et dont le principe a été transposé au niveau européen sous la référence EN 12457-2.

C'est le principe de l'essai de percolation simulée (tel que retenu dès 1997 dans les projets de protocole issus du CEN/TC292) avec son rapport de Liquide / Solide adaptable au scénario d'exposition, qui a été utilisé, dans le cadre de la présente étude, pour proposer un essai de simulation le plus proche possible des conditions hydriques auxquelles est réellement confronté un déchet dans un scénario routier.

#### 4. ADAPTATION DE L'ESSAI DE PERCOLATION SIMULÉE À UN SCÉNARIO ROUTIER

##### 4.1. Principales caractéristiques hydriques des scénarios routiers

Dans la mesure où cet essai a pour objectif d'être le plus représentatif de l'exposition que peut subir un déchet utilisé en technique routière, la première étape a été de déterminer, sur la base des données issues des ouvrages routiers instrumentés, les principales caractéristiques du transfert hydrique dans un scénario routier. Ces dernières sont rappelées ci-dessous <sup>(3)</sup>.

- Une variation rapide des conditions hydriques (teneur en eau, volume des eaux de percolation, ...) est constatée dans les couches de chaussées après chaque événement pluvieux.
- Cette variation de la teneur en eau et des pressions interstitielles des matériaux, au cours des différents cycles climatiques, est d'autant plus importante que l'on se rapproche de la surface de la chaussée.
- Les transferts d'eau sous les enrobés peuvent induire des niveaux de saturation en eau, à l'interface de deux couches (couche de base / couche de forme, couche de forme / remblai, ...).
- Les rapports L/S qui peuvent être mesurés sur sites réels sont très variables, suivant la nature de la structure et l'implantation géographique de la chaussée :  $1,0 \cdot 10^{-6} < \text{rapport L/S journalier} < 1,0 \cdot 10^{-4}$ . (cf. tableau 1).

Tableau 1 – exemples de rapport Liquide / Solide obtenus sur chaussées instrumentées

Principal matériaux constitutif de l'ouvrage routier	Surface de la chaussée instrumentée (m <sup>2</sup> )	Durée du suivi (mois)	L/S journalier moyen
MIOM <sup>(3)</sup>	160	75	$9,3 \cdot 10^{-5}$
Grave naturelle <sup>(3)</sup>	160	75	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Grave cendre <sup>(3)</sup>	100	13	$1,8 \cdot 10^{-6}$
MIOM <sup>(4)</sup>	150	20	$9,1 \cdot 10^{-5}$

#### 4.2. Principales caractéristiques de l'essai de percolation simulée adapté à un scénario routier

Les principaux paramètres de l'essai, dont l'influence sur le relargage du déchet a été évaluée, sont les suivants.

- Rapport L/S journalier : de 0,05 à 0,5. La valeur de 0,05 est la plus faible proposée dans le projet de protocole initial du CEN/TC292. Elle est suffisamment faible pour se rapprocher, des rythmes de percolation très lents observés sur les chantiers et suffisamment élevée pour accélérer de façon significative les mécanismes de solubilisation et de transport.
- Densité : de 1,5 à 1,9. Cette valeur correspond à une densité usuelle obtenue lors de la mise en œuvre de matériau granulaire en remblai ou couche de forme.

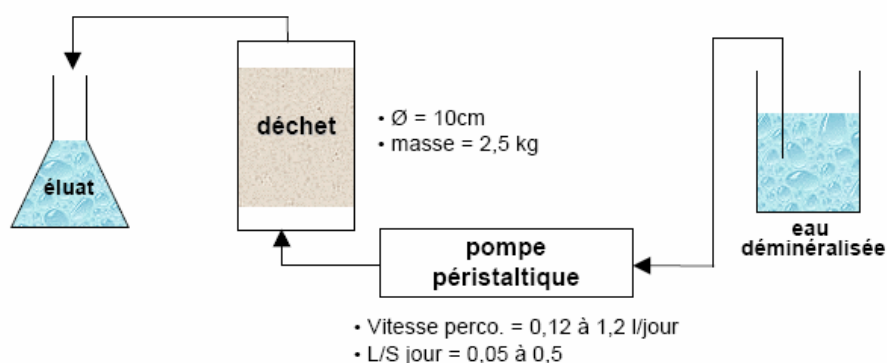


Figure 1 – principe de l'essai de percolation simulée

Tableau 2 – comparaison du protocole de percolation simulée « adapté » à un scénario routier avec le protocole « standard » NF CEN/TS 14405

	Protocole « adapté » au scénario routier	Protocole « standard » NF CEN/TS 14405
masse / volume échantillon	environ 2,3 kg	30 cm en 5 couches
diamètre colonne	10 cm	5 ou 10 cm
compactage (masse dame)	densité = 1,5 à 1,9 (3,7 kg)	- (0,5 kg)
saturation initiale	3 jours	3 jours
vitesse de percolation (rapport L/S jour)	0,125 à 1,2 l/jour (0,05 à 0,5)	1,1 l/jour
nombre d'extractions (L/S)	4 à 6 (0,3; 1; 3; 5; 10; 20; 30)	7 (0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10)
Durée de l'essai (L/S=10)	20 à 200 jours	30 jours

## 5. RÉSULTATS DES ESSAIS DE SIMULATION DE RELARGAGE

### 5.1. Choix des déchets

Les déchets évalués ont été choisis spécifiquement par rapport à la nature du potentiel polluant jugé peu évolutif. Il s'agit de bétons de démolition contaminés par des pesticides (Hexa-Chloro-cycloHexane). Le  $\beta$ -HCH qui a la particularité d'être stable en milieu alcalin

constitue le principal traceur utilisé pour suivre le comportement des éléments traces peu solubles. On peut dans ce cas envisager une bonne stabilité du potentiel polluant tout au long des procédures d'extraction, qui peuvent pour certaines durer jusqu'à 6 mois.

Aucune chaussée n'ayant été construite à partir de ces bétons de démolition pollués, des essais de simulation ont également été pratiqués sur des Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères, en dépit de leur caractère évolutif dans le temps (phénomène de maturation), de façon à établir une comparaison avec les résultats obtenus sur une chaussée réelle spécifiquement instrumentée, dont la couche de forme est constituée de MIOM (cf. paragraphe 6).

## 5.2. Résultats

La simulation des relargages a été évaluée au travers des deux protocoles de percolation simulée (protocoles « standard » et « adapté » au scénario routier). Ces résultats sont comparés dans les graphiques ci-dessous à ceux obtenus avec l'essai de « conformité » dit de lixiviation en appliquant les rapports Liquide / Solide de l'ancien protocole initialement normalisé en France sous la référence NF XP 31-210 (10, 20, 30).

### 1.1.1 Influence du rapport Liquide / Solide

— Pour les espèces peu solubles (ex:  $\beta$ -HCH) : les quantités extraites sont dépendantes du type d'extraction (lixiviation / percolation), mais restent linéairement dépendantes du rapport L/S appliqué (cf. figure 2). C'est l'essai de lixiviation qui permet d'extraire la quantité la plus importante de  $\beta$ -HCH.

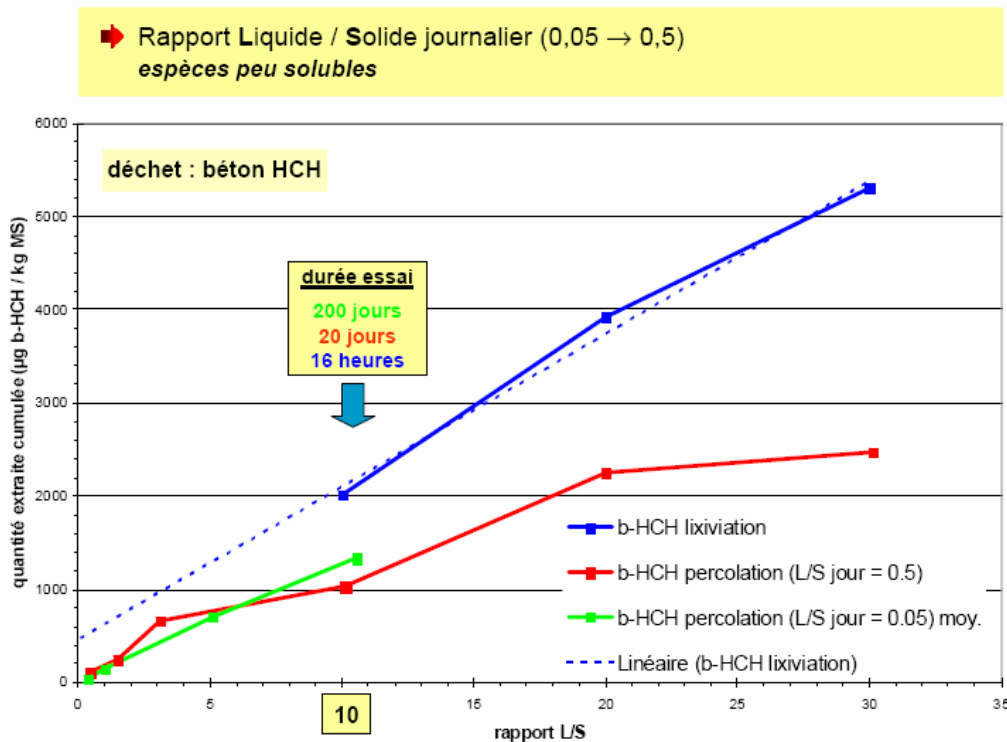


Figure 2 – influence du rapport L/S sur le relargage du  $\beta$ -HCH

— Pour les espèces moyennement solubles (ex: sulfates) : la quantité extraite cumulée obtenue pour le rapport Liquide / Solide de 10 est assez dépendante de la technique et des conditions d'extraction. Les quantités extraites sont d'autant plus importantes que la vitesse de percolation est lente. (cf. figure 3).

➡ Rapport Liquide / Solide journalier (0,05 → 0,5)  
espèces moyennement solubles

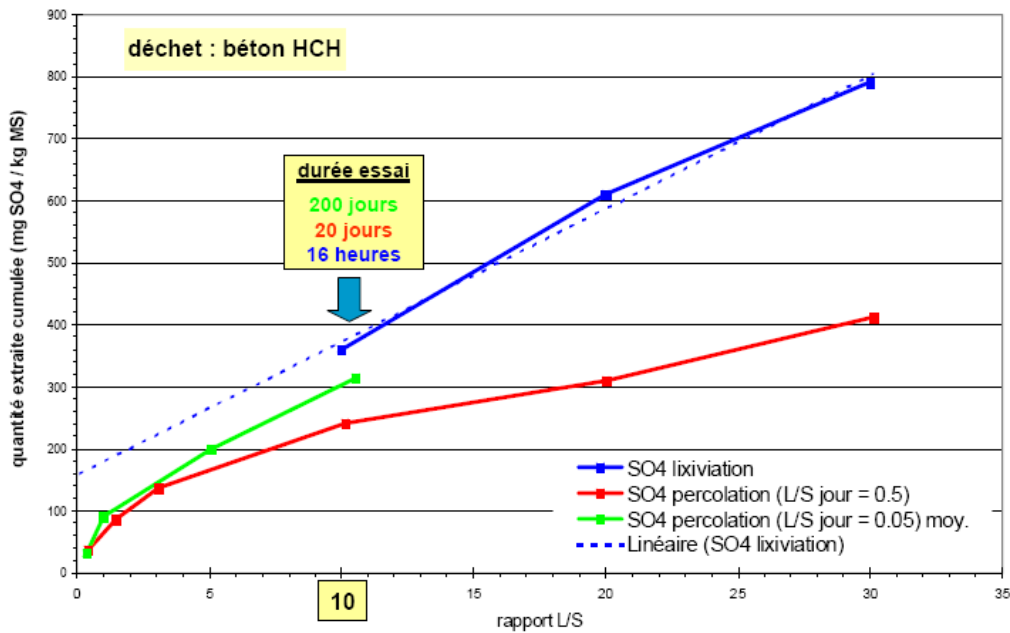


Figure 3 – influence du rapport L/S sur le relargage des sulfates

— Pour les espèces très solubles (ex: chlorures) les relargages obtenus pour un rapport Liquide/Solide de 10 est peu dépendant de la technique et des conditions d'extraction (lixiviation, percolation). L'écart est inférieur à 10% de la valeur moyenne (cf. figure 4).

➡ Rapport Liquide / Solide journalier (0,05 → 0,5)  
espèces très solubles

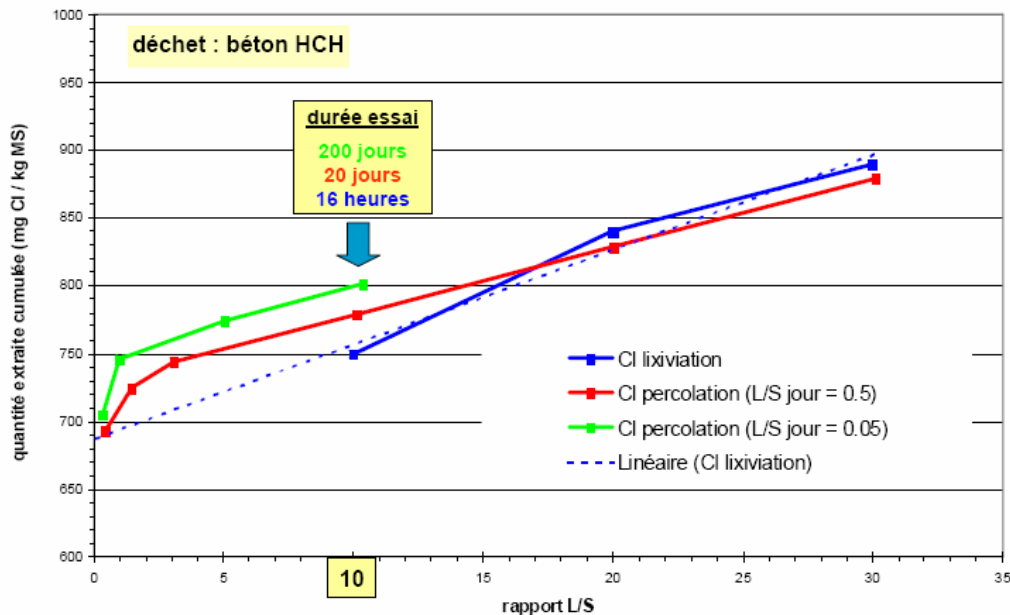


Figure 4 – influence du rapport L/S sur le relargage des chlorures

### 1.1.2 Influence de la densité

Les résultats obtenus montrent une influence modérée de la densité de l'échantillon sur le relargage des traceurs peu solubles (cf. figure 5). Il faut signaler que très rapidement la

colonne constituée de matériaux foisonnés (densité 1,1) avait atteint sous l'influence de la circulation d'eau une densité de 1,5.

### 1.1.3 Synthèse des résultats obtenus par essais de simulation

Indépendamment du caractère peu ou fortement soluble de l'espèce étudiée, on constate une bonne linéarité des relargages obtenus par l'essai de lixiviation. Pour les essais de percolation simulée, la linéarité n'est obtenue que pour les espèces faiblement solubles ( $\beta$ -HCH). Pour les autres espèces les quantités extraites cumulées atteignent d'autant plus rapidement une asymptote que l'espèce est très soluble (chlorures).

L'écart obtenu, pour un rapport Liquide / Solide de 10, entre les résultats obtenus par lixiviation et les deux protocoles de percolation (« standard » et « adapté ») est relativement faible : entre 10 et 100% selon la solubilité des espèces.

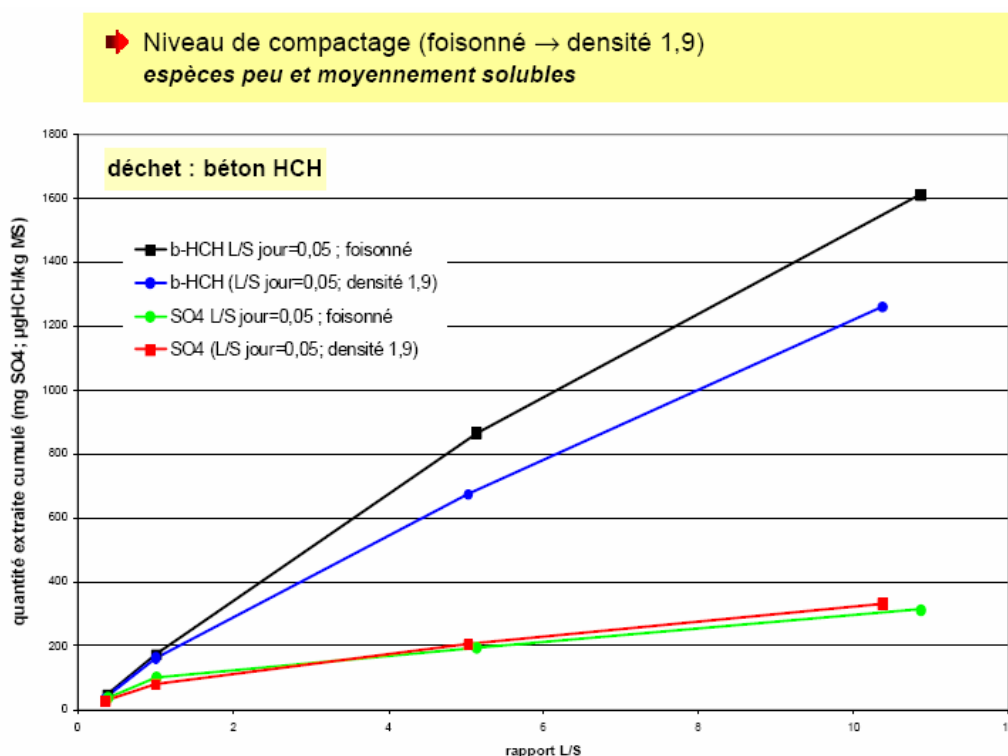


Figure 5 – influence du niveau de compactage sur le relargage des  $\beta$ -HCH et sulfates

## 6. COMPARAISON ENTRE ESSAIS DE SIMULATION ET CHANTIER EXPÉRIMENTAL INSTRUMENTÉ

Pour évaluer les essais de simulation (lixiviation ou percolation) vis à vis des relargages réels obtenus sur site, une chaussée constituée de Mâchefer d'Incinération d'Ordures Ménagères (RD 767 – Bégard – Côtes d'Armor), a été instrumentée pour collecter l'ensemble des eaux d'infiltration et déterminer ainsi les flux de relargage (cf. figure 6).

Le plot expérimental constitué de 153 tonnes de MIOM de l'usine d'incinération de Pluzunet a été suivi d'octobre 2002 à juin 2004. Le volume total collecté (86 m<sup>3</sup>) représentent 35% de la pluviométrie relevée au cours des 20 mois de la période de suivi. Cette valeur (une des plus élevées obtenues sur ce type d'ouvrages instrumentés) correspond à un rapport Liquide / Solide de 0,56 au bout des 20 mois de suivis. Elle peut

en partie s'expliquer par la période transitoire au cours de laquelle l'imperméabilisation de la chaussée n'était pas assurée. De plus les accotements et le terre-plein central ne sont pas recouverts par une structure étanche.

Les relargages des éléments métalliques (cuivre et plomb) obtenus sur site au bout des 20 mois de suivis correspondent entre 24% (Pb) et 33% (Cu) de la quantité extraite par l'essai de lixiviation NF X31-210 : L/S = 10 (cf. figures 7 et 8 – échantillon n°1).

Compte tenu d'un décalage dans le temps entre la réalisation du chantier et de l'essai de percolation simulée, un second échantillon de MIOM provenant de la même usine a du être constitué (échantillon 2). Les essais de lixiviation pratiqués sur cet échantillon 2, montrent un relargage plus important pour le plomb et plus faible pour le cuivre par rapport à l'échantillon 1.



Figure 6 – mise en œuvre de l'étanchéité et des MIOM – chaussée instrumentée RD767

En dépit de cette différence sur le potentiel de relargage, on constate que les quantités extraites de plomb et du cuivre suivent la même cinétique que celles observées sur le site réel. On constate pour le cuivre une bonne correspondance entre les résultats de l'essai de percolation et ceux obtenus par la lixiviation, pour un rapport Liquide / Solide de 10. Pour le plomb, les résultats de la lixiviation restent nettement supérieurs à ceux obtenus par percolation simulée.



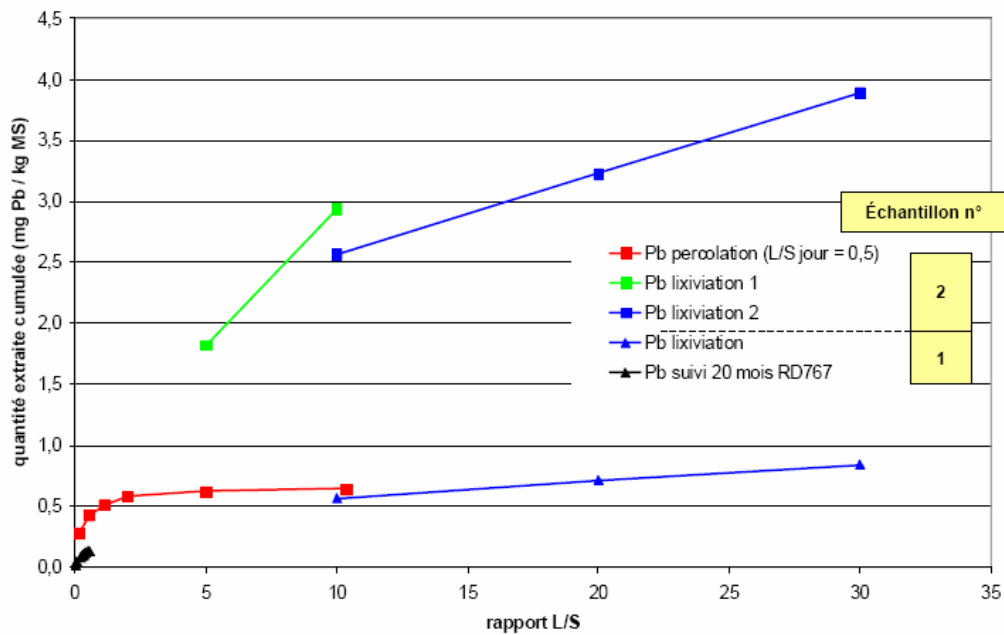


Figure 7 – comparaison relargage réels MIOM/RD767 et essais de simulation (plomb)

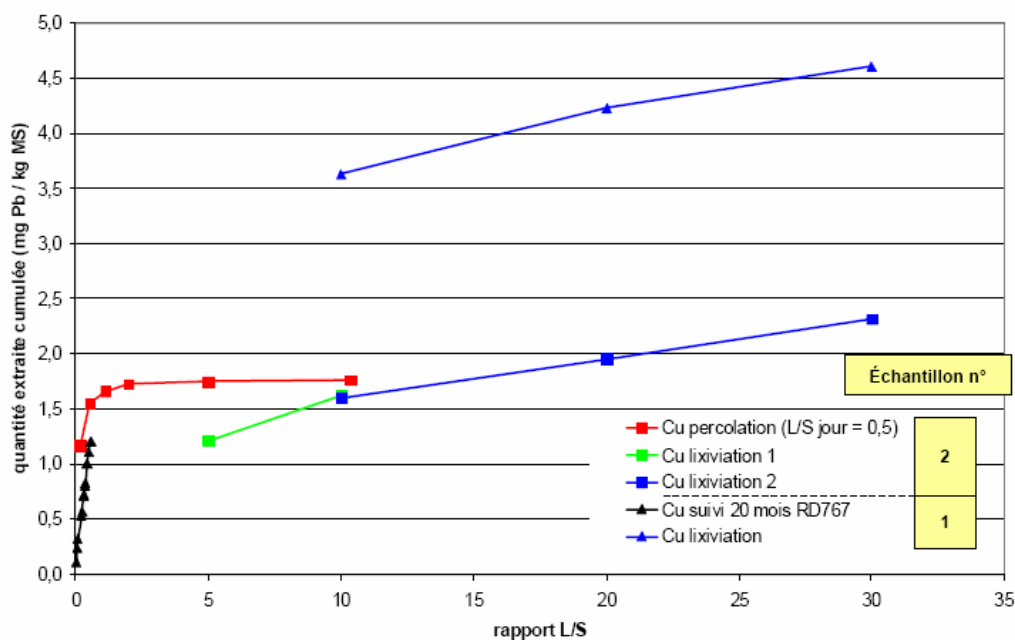


Figure 8 – comparaison relargage réels MIOM/RD767 et essais de simulation (cuivre)

## 7. CONCLUSION

La caractérisation environnementale des déchets peut se faire au travers de l'utilisation d'une méthodologie et de méthodes d'essais désormais normalisées au niveau européen. Les méthodes d'essais disponibles, essais de « conformité » (essai de lixiviation) ou de « caractérisation de base » (essai de percolation), n'ont pas été conçues pour simuler un scénario d'exposition spécifique. Les principaux paramètres susceptibles de rapprocher

les conditions « standards » de l'essai de percolation normalisé (CEN/TS 14405) des conditions plus spécifiques d'un scénario routier ont été évalués.

La baisse du rapport Liquide / Solide (L/S jour = 0,5 → 0,05) qui a été pratiquée pour se rapprocher des conditions observées sur différents chantiers instrumentés, a montré une influence limitée sur le relargage des espèces présentes dans le déchet étudié, qu'elles soient faiblement ou très solubles ( $\beta$ -HCH, SO<sub>4</sub>, Cl). Il en est de même pour le compactage initial de l'échantillon.

D'après les résultats de l'expérimentation de la RD 767 (chaussée constituée de MIOM), l'essai de percolation dans sa version « standard » normalisée (avec L/S jour = 0,5) constitue un essai pertinent pour simuler la cinétique de relargage au moins à court terme (L/S cumulé < 2) des éléments traces métalliques (Cu, Pb). Un recul plus important sur des sites réels sera nécessaire pour juger de la pertinence de ce type de méthode pour une approche « long terme ».

Pour ces approches de plus long terme, l'essai de lixiviation plus facilement accessible (NF X31-210 / EN 12457-2) permet d'obtenir, pour certains paramètres, des relargages similaires à ceux obtenus par l'essai de percolation simulée. Ces méthodes qualifiées d'essai de « conformité », ne doivent donc pas forcément être rejetées pour une simulation des relargages réel, au moins dans un scénario routier.

*Les auteurs remercient le Conseil Général des Côtes d'Armor (MM. Leweurs, Sulpice) pour avoir permis la réalisation du suivi environnemental de la chaussée expérimentale RD 767.*

## REFERENCES

1. NF EN 12920 : Caractérisation des déchets – Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées.
2. International Ash Working Group (1994) – An international perspective on characterisation and management of residues from MSWI, summary report.
3. ODIE, L. (1999). Evaluation du relargage d'un déchet utilisé en travaux publics : FAER 2-73-33 / 2-22-04. LCPC / CETE Lyon.
4. ODIE, L. (2005). Étude du suivi de la chaussée expérimentale en MIOM de la RD 767 – dossier CETE Ouest.