

# Evaluation du transfert des composés organiques des MIOM utilisés en sous-couche routière dans des ouvrages de construction récente

Rabia BADREDDINE<sup>1</sup>, Ivan DROUADAINE<sup>2</sup>

1. Ineris, DRC/DESP, Parc technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte

2. Eurovia, Centre de recherche et développement, 2, rue Thierry-Sabine, BP 20067, 33703 Mérignac

Correspondant : R. BADREDDINE - E-mail. rabia.badreddine@ineris.fr

## Résumé

La gestion des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) et leur utilisation en technique routière sont régies par les critères de la circulaire du 9 mai 1994, qui ne tiennent pas compte des composés organiques tels que les PolyChloroDibenzo-para-Dioxines (PCDD) et les PolyChloroDibenzoFurannes (PCDF). Dans cette étude, deux scénarios de valorisation sont évalués : l'utilisation des MIOM comme matériaux de remblai de chaussée, et l'usage comme granulats de couche de fondation. Les investigations réalisées à l'échelle du site ont été menées en vue de déterminer les teneurs et les profils des congénères PCDD/PCDF dans les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères utilisés en construction routière, et la mobilité de ces composés vers le sol sous-jacent afin d'évaluer l'impact sur l'environnement. Les auscultations ont été réalisées dans deux ouvrages contenant des MIOM produits en 2002 et en 2003. Ces MIOM, issus d'incinérateurs de conception récente, présentent des teneurs en PCDD/PCDF généralement faibles, qui varient selon le site considéré de 6,6 à 20 ng-I-TEQ/kg MS.

Les teneurs en PCDD/PCDF des sols sous-jacents aux MIOM récents utilisés en sous-couche routière sont du même ordre de grandeur que les sols de référence échantillonnés hors de l'influence des MIOM et que les sols prélevés en zone urbaine. Ces résultats indiquent une absence de transfert des PCDD/PCDF des MIOM vers les sols sous-jacents.

**Mots clés :** *Impact, MIOM, PCDD/PCDF, sous-couche routière, transfert, valorisation*

## Summary

The management of the Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ashes (MSWI-BA) and their reuse in the road construction are controlled by the regulation of 1994, 9th May. The organic components as PolyChloroDibenzo-para-Dioxines (PCDD) and PolyChloroDibenzoFurannes (PCDF) are not taken into account by the regulation. In this study, two scenarios of MIOM recycling are investigated : the embankment and the subgrade layer. Investigations were conducted to determine the PCDD/PCDF content and

profiles of different congeners in the MSWI-BA used in the road construction. The eventual release of these components in the underlying soil was also estimated to evaluate the impact on the environment. The auscultation were realized in two sites containing MSWI-BA produced in 2002 and 2003. The MSWI-BA from the recent incinerator has revealed a weak PCDD/PCDF content varying from of 6,6 to 20 ng-I-TEQ/kg MS.

The PCDD/PCDF content in the underlying soil are in the same order of magnitude than the content of the reference soils sampling out of the MSWI-BA influence and the soils sampled in the urban zone, indicating no transfer of PCDD/PCDF from MSWI-BA to surrounding soil.

## INTRODUCTION

En France, chaque année, il est produit 46 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés dont 38 % environ sont actuellement incinérés (ITOM 2002, ADEME). Le reste est stocké en centres d'enfouissement ou recyclé. L'incinération génère des gisements de résidus solides constitués de produits de traitement de fumées (2,5 à 5 % du poids des déchets ménagers) et des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) représentant 10 % du volume et 25 à 30 % du poids des déchets incinérés.

L'arrêté du 25 janvier 1991 du ministère de l'Environnement relatif aux installations d'incinération précise le mode de gestion de ces produits : les résidus d'épuration des fumées et les mâchefers doivent être stockés séparément ; même prétraités, les résidus de l'épuration des fumées ne doivent en aucun cas être mélangés avec des résidus urbains. Ces dispositions ont conduit à la séparation des mâchefers et des produits d'épuration des fumées, ces derniers présentant en particulier des teneurs importantes en PolyChloroDibenzo-para-Dioxines (PCDD) et PolyChloroDibenzoFurannes (PCDF).

La séparation réalisée, les MIOM répondants aux critères de la circulaire du 9 mai 1994 du ministère de l'Environnement peuvent être valorisés en technique routière. Ces critères sont basés sur le taux d'imbrûlés et sur les résultats de l'essai de

lixiviation selon la norme XP-X31-210 concernant Hg, Pb, Cd, As, Cr hexavalent, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, COT. A ce jour, les composés organiques tels que les PCDD/PCDF ne constituent pas un critère de cette classification.

Par ailleurs, le coût élevé du stockage dans les centres d'enfouissement pour déchets non dangereux et la moindre disponibilité des ressources naturelles en granulats de certaines régions ont favorisé la valorisation des MIOM en technique routière, qui atteint environ 2 millions de tonnes par an.

Le retour d'expérience environnemental sur le développement de cette filière de valorisation a été fait sur des sites instrumentés (Drouadaine et Badreddine, 2003). Néanmoins, peu de données sont disponibles sur les micro-polluants organiques.

Des études réalisées par l'Ineris ont montré que les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères peuvent contenir des PCDD/PCDF (Bartet, 2001) et qu'il existe une relation étroite entre la séparation des résidus de traitement des fumées et la teneur en PCDD/PCDF des mâchefers (Badreddine et al., 2003).

Le présent projet a pour objectif d'évaluer l'impact des MIOM valorisés en sous-couche routière. Cette évaluation a été réalisée sur site par l'auscultation de deux chaussées dont la construction récente datait de 2 et de 3 ans, et concernait la détermination des teneurs en PCDD/PCDF et des métaux dans les MIOM, dans les sols sous-jacents et dans les sols de référence. L'objectif de l'étude étant de déterminer l'éventuel transfert principalement des composés organiques issus des MIOM vers les sols sous-jacents.

## MATERIEL ET METHODES

### Echantillonnage

Les auscultations ont concerné deux sites de construction récente. Le premier est un remblai support de chaussée (site I) situé en région parisienne dont la construction date de 2002 (Figure 1). Le second est une chaussée (site II) contenant des MIOM en couche de fondation, située en région toulousaine, et date du début 2002 (Figure 2). Dans les deux cas, les MIOM provenaient d'installations de maturation et d'élaboration, (IME). Les prélèvements ont été réalisés respectivement en novembre 2003 et en avril 2004. Pour chaque site, les auscultations ont été menées à partir de tranchées de prélèvement.

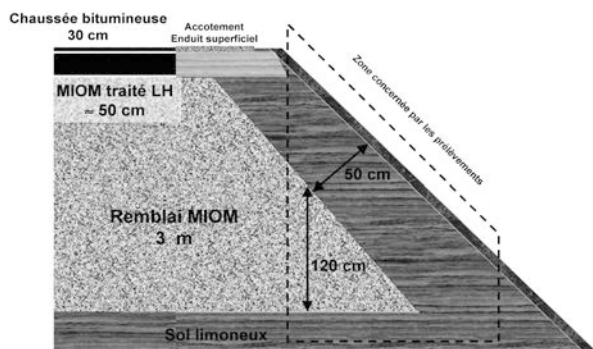


Figure 1 : Description schématique du site I.

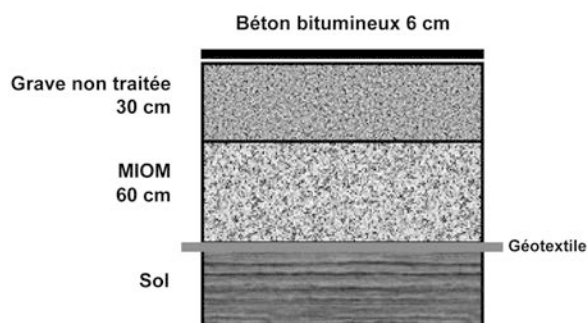


Figure 2 : Description schématique du site II.

Pour l'obtention des échantillons de laboratoire, les différents échantillons prélevés ont fait l'objet d'une homogénéisation et de quartage sur site selon le projet de norme Pr EN 14 899 (06/2004) relatif à l'échantillonnage des déchets.

De même, l'obtention d'une prise d'essai représentative à partir des échantillons pour laboratoire est obtenue par quartage réalisé selon le projet de norme européenne concernant la préparation de la prise d'essai des déchets Pr EN 15002 (10/2004).

### Prélèvement des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères

Pour chaque site, deux tranchées ont été réalisées. La réalisation de la seconde tranchée a pour objectif le contrôle de l'homogénéité des MIOM et des sols sur un même site. Le prélèvement a consisté en un ou deux échantillons de MIOM selon l'épaisseur de la couche de MIOM mise en place. Cette épaisseur varie entre 60 cm et 120 cm. Les principales caractéristiques géotechniques ont été mesurées sur les échantillons prélevés.

### Prélèvement des sols sous-jacents et de référence

L'évaluation de l'impact de l'utilisation des MIOM en sous-couche routière a consisté en la caractérisation des sols sous-jacents. Pour chaque site, des échantillons ont été prélevés à des profondeurs différentes. Le prélèvement a concerné le sol situé en dessous de la couche de MIOM, à une profondeur de 0 à 40 cm et/ou 40 à 80 cm par rapport à la limite inférieure de la couche de MIOM. De même, des échantillons de sol qualifiés de référence, situés loin de l'influence de la couche de MIOM, ont été prélevés à une profondeur de 60 cm à partir de la surface dans le site I et à 40 cm dans le site II. Les sols prélevés ont été identifiés sur le plan géotechnique par la mesure de la granulométrie et de la proportion d'argile.

### Géotextiles

Les géotextiles sont utilisés classiquement en construction routière pour le renforcement des couches de forme ou de chaussées non traitées et dans certains cas pour éviter les mélanges de matériaux lors de la mise en œuvre. Dans le site II, sur les deux tranchées, un géotextile à fibres organiques non tissées est présent à l'interface sol-mâchefers. A partir de chaque tranchée, un échantillon de ce géotextile a été prélevé en vue de son analyse.

### Origine des mâchefers

Les deux sites auscultés étant postérieurs à la mise en application de la circulaire du 9 mai 1994 du ministère de l'Environnement, la traçabilité de l'origine des MIOM a pu ainsi être établie. Pour le site I, la production de MIOM mise en place est de janvier à mai 2002 et pour le site II, elle est de novembre 2001. Préalablement à leur utilisation, les mâchefers des deux sites ont été classés « V », pour « Valorisation ». Ils proviennent d'installations de maturation et d'élaboration (IME) qui constituent une étape intermédiaire de traitement entre les usines d'incinération et les chantiers de construction routière. L'élaboration des mâchefers consiste en un calibrage à 0/20 ou 0/30 mm suivi d'une séparation des métaux ferreux et des non-ferreux. Ensuite, sur les deux installations concernées, les imbrûlés résiduels ont été triés par soufflerie. En vue d'assurer la stabilité chimique des mâchefers et d'améliorer les caractéristiques environnementales, les mâchefers initialement classés « V » subissent une maturation complémentaire de trois mois environ. Les matériaux, stockés par lot, sont alors caractérisés sur le plan géotechnique avant usage. Pour les deux cas particuliers de cette étude, la durée de maturation sur l'installation de maturation et d'élaboration avant utilisation est de huit mois pour le site I et quatre mois pour le site II.

### Essai de lixiviation selon la norme XP X31-210

Avant leurs mises en place, les échantillons de MIOM des deux sites ont été caractérisés par un essai de lixiviation selon la norme XP-X31-210 préconisée par la circulaire du 9 mai 1994. Lors de cet essai, l'échantillon initial prélevé sur stock est homogénéisé et carté pour obtenir un échantillon représentatif. Ensuite, l'échantillon pour laboratoire est réduit et tamisé pour obtenir une granulométrie inférieure à 4 mm. 100 g de cette fraction sont alors soumis à une triple lixiviation de 16 h. Chaque échantillon de MIOM est mélangé avec un lixiviant dans un rapport L/S de 10 l/kg. L'éluat est prélevé après une agitation mécanique de 16 h et filtré avec une membrane présentant une porosité de 0,45 µm. L'éluat récupéré est analysé pour la détermination des éléments préconisés par la circulaire de 1994.

### Analyse des dioxines par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

La détermination de PolyChloroDibenzo-para-Dioxines (PCDD) et de PolyChloroDibenzoFurannes (PCDF) a été réalisée par couplage de la chromatographie gazeuse de haute résolution et de la spectrométrie de masse de haute résolution (HRGC/HRMS). Elle consiste en la mesure des 17 congénères toxiques. La concentration d'un congénère PCDD ou PCDF peut être convertie en une valeur d'équivalent toxique international (I-TEQ, International Toxic Equivalent Quantity) (1), avec une limite de détection garantie de 1,22 ng I-TEQ/kg et une incertitude de 4,7 % sur l'équivalent toxique. Les résultats de l'analyse des PCDD/PCDF sont présentés sous forme de :

— teneurs des 17 congénères toxiques dont les atomes de chlore occupent les positions 2, 3, 7, 8 en ng/kg ;

— valeur en I-TEQ (International Toxic Equivalent Quantity) qui est la teneur en équivalent toxique obtenue en sommant les teneurs de chaque congénère  $i$  multiplié par le facteur de toxicité TEF, correspondant :

$$I-TEQ = \sum_{i=1}^{17} (\text{teneur congénère } i \times TEF_i)$$

## RESULTATS

### Caractérisation environnementales des MIOM

Avant leur valorisation, les MIOM ont été caractérisés pour déterminer leur potentiel polluant et les classer en catégorie « V » (« Valorisation »), « M » (« Maturation ») ou « S » (« Stockage »). Les teneurs en fraction soluble, sulfates et métaux (Cd, As, Hg, Cr hexavalent) ont été déterminées et comparées aux seuils préconisés par la circulaire du 9 mai 1994. Les résultats permettent une classification des MIOM en catégorie « V » (Tableau 1).

Paramètres	Unité	MIOM Site I	MIOM Site II	Seuil « V » <sup>2</sup>	
Sulfates	mg/kg	2 486	5 030	10 000	
Chrome hexavalent		0,33	< 0,06	1,5	
Plomb		< 1,5	0,16	10	
COT		703	246	1 500	
Cadmium		< 0,30	0,1	1	
Arsenic		< 0,30	< 0,06	2	
Mercurure		< 0,018	< 0,006	0,2	
Taux d'imbrûlés		%		0,7	< 5 %
Fraction soluble			2,4	3,1	< 5 %
Nb de mois/IME <sup>1</sup>	mois	8	4	< 12	
Catégorie		V	V	V	

1. Installation de maturation et d'élaboration

2. Valorisable.

Tableau 1 : Qualification des MIOM au regard des paramètres de la circulaire de 9 mai 1994.

### Caractérisation géotechnique des matériaux prélevés

Les caractéristiques physiques des MIOM des deux sites auscultés sont proches et sont représentatives des gisements nationaux. La distribution granulométrique a été déterminée selon la norme NF EN 933-1. La courbe de la granulométrie les caractérisant est celle d'une grave bien graduée 0/20 mm. La proportion des éléments dont la taille est inférieure à 63 µm est de l'ordre de 6 à 8 % pour le site I et de 3 à 5 % pour le site II.

#### Note :

(1) C'est la concentration mesurée de chaque congénère PCDD ou PCDF qui est multipliée par le TEF du composé. Le TEQ indique la quantité de 2, 3, 7, 8-TCDD nécessaire pour produire le même effet toxique que celui susceptible d'être induit par le congénère étudié à la concentration mesurée.

TEF est défini comme suit :  $TEF = \frac{\text{potentialité toxique d'un composé individuel}}{\text{potentialité toxique de la 2, 3, 7, 8 - TCDD}}$

Les teneurs en eau des MIOM mis en place sont comprises entre 13 et 15 %. Lors du prélèvement des couches de mâchefers, aucune prise hydraulique de ces matériaux n'a été constatée.

Sur le site I, la couche de mâchefers est couverte par 30 cm de grave naturelle alluvionnaire siliceuse de granulométrie 0/20 mm. Le matériau n'est pas argileux (VBS = 0,1 selon NFP 94-068 « mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ») et présente une faible teneur en particules fines (3,9 % de passant au tamis de 63 µm).

Dans les deux sites, les sols sous-jacents sont de nature limoneuse, ils présentent une disparité dans la proportion d'argile. Les sols du site I sont des limons peu plastiques, faiblement argileux (VBS = 1,6) avec une proportion de 45 % en éléments inférieurs à 63 µm. Le sol du site II est un limon argileux (VBS = 3,2) dont la teneur en éléments inférieurs à 63 µm est de 80 %.

### Caractérisations chimiques et minéralogique

La composition minéralogique déterminée par la diffraction des rayons X pour les deux échantillons de MIOM analysés montre la présence du quartz, SiO<sub>2</sub>, de carbonates (calcite, CaCO<sub>3</sub>) et de spinelle (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).

La composition des MIOM en éléments majeurs (Si, Al, Ca, Na) est équivalente pour les deux sites avec dominance du silicium et du calcium par rapport à l'aluminium et au sodium (Figure 3). Cette composition est équivalente à celle des MIOM analysés dans d'autres études (Freyssinet et al., 1998 ; Brôns-Laot, 2002). Les métaux lourds contenus dans les MIOM se présentent dans l'ordre quantitatif suivant : Cu > Pb > Ni > As ≈ Mo > Cd > Hg. Les MIOM caractérisés ne comportent pas de chrome hexavalent. Les concentrations en Cu et en Pb sont légèrement plus élevées dans le site I que dans le site II (Figure 3).

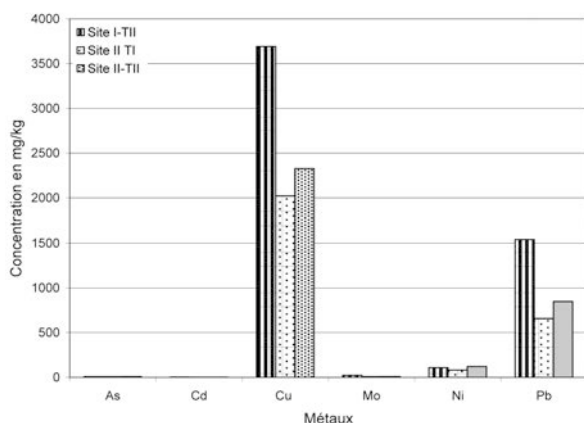


Figure 3 : Composition en métaux des MIOM.

### Teneurs en PCDD/PCDF Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères et géotextiles

Dans le site I, les teneurs déterminées en PCDD/PCDF des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères sont faibles et légèrement variables d'une tranchée à l'autre. Elles sont de l'ordre de 7,2 et 8,6 ng I-TEQ/kg pour la tranchée I et de 6,6 ng

I-TEQ/kg pour la tranchée II (Tableau 2). Elles sont dans l'ordre de grandeur des mâchefers issus d'usines d'incinération d'ordures ménagères de conception récente (Damien, 1997). Les résultats montrent une homogénéité des teneurs en PCDD/PCDF des MIOM utilisés dans les deux tranchées de la chaussée du site I indiquant le plus probablement une origine commune.

Dans le site II, les teneurs en PCDD/PCDF des MIOM sont plus élevées que sur le site I. Elles sont de 20,4 et de 13 ng I-TEQ/kg respectivement dans les tranchées I et II (Tableau 2). Ces teneurs sont dans la fourchette haute des valeurs mesurées sur les MIOM issus des usines d'incinération de conception récente, de 4 à 21 ng I-TEQ/kg de MS (Damien, 1997).

Sites Tranchée	Site I			Site II	
	TI	TI	TII	TI	TII
Unité	ng/kg MS				
<b>PCDF</b>					
2378-TetraCDF	2,52	3,52	2,85	9,94	6,58
12378-PentaCDF	4,96	5,94	5,00	37,2	21,0
23478-PentaCDF	4,30	5,28	4,04	12,6	7,66
123478-HexaCDF	6,12	8,18	6,54	25,5	16,6
123678-HexaCDF	6,54	6,97	5,58	23,3	15,4
123789-HexaCDF	0,70	0,94	0,77	7,59	5,70
234678-HexaCDF	6,05	6,77	4,68	6,23	5,56
1234678-HeptaCDF	24,0	29,6	21,7	33,2	26,0
1234789-HeptaCDF	5,67	4,81	4,64	17,9	11,4
OctaCDF	37,6	56,8	39,7	59,3	53,2
<b>PCDD</b>					
2378-TetraCDD	0,56	0,60	0,60	0,77	0,31
12378-PentaCDD	1,14	1,46	0,95	2,16	1,34
123478-HexaCDD	1,01	1,06	0,69	4,77	2,88
123678-HexaCDD	2,43	2,21	1,82	3,68	2,47
123789-HexaCDD	2,23	2,54	1,62	3,61	2,36
1234678-HeptaCDD	40,0	43,7	31,7	89,2	66,1
OctaCDD	179	241	166	435	314
I-TEQ (NATO/CCMS) sans LD <sup>a</sup>	7,20	8,56	6,59	20,4	13,0
I-TEQ (NATO/CCMS) avec LD <sup>c</sup>	7,20	8,56	6,59	20,4	13,0
Matière sèche (%)	87,4	86,3	87,4	88,6	86,8

a : Calcul de la valeur TEQ à partir de la concentration des seuls congénères détectés.  
c : Calcul de la valeur TEQ en tenant compte des congénères non détectés avec la totalité de la valeur de leur limite de détection respective.

Tableau 2 : Teneur en PCDD/PCDF des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères.

Le géotextile utilisé à l'interface des MIOM et du sol sous-jacent dans le site II présente des teneurs en PCDD/PCDF relativement plus élevées. Dans la tranchée I, cette teneur de 33 ng I-TEQ/kg est plus élevée que celle du MIOM. Cette teneur relativement élevée est probablement liée à la migration des particules fines de la couche des MIOM vers le géotextile. En effet, une relation a été établie entre la teneur élevée en PCDD/PCDF et la taille fine des particules (Badreddine et Denis, 2005). En revanche, dans la tranchée II, la teneur de 13,6 ng I-TEQ/kg est équivalente à celle des MIOM (Tableau 3).

### Sols sous jacents et de référence

Dans le site I, la teneur en PCDD/PCDF du sol de référence, prélevé à proximité de la chaussée et loin de l'influence des MIOM, est faible, de l'ordre de 0,72 ng I-TEQ/kg MS (Tableau 3).

Nature de l'échantillon	SR <sup>2</sup>	Géotextile TI	Géotextile TH
Unité	ng/kg MS		
<b>PCDF</b>			
2378-TetraCDF	0,14	8,96	5,65
12378-PentaCDF	0,22	57,9	19,6
23478-PentaCDF	< 0,15	22,1	6,99
123478-HexaCDF	1,34	49,9	15,6
123678-HexaCDF	0,29	40,4	13,7
123789-HexaCDF	< 0,07	15,3	5,22
234678-HexaCDF	0,34	8,60	5,44
1234678-HeptaCDF	1,30	44,4	24,4
1234789-HeptaCDF	< 0,39	28,1	9,82
OctaCDF	< 2,44	61,1	45,0
<b>PCDD</b>			
2378-TetraCDD	< 0,06	0,73	0,43
12378-PentaCDD	0,34	2,62	2,09
123478-HexaCDD	0,26	7,18	6,50
123678-HexaCDD	0,68	5,02	3,63
123789-HexaCDD	0,24	4,85	3,16
1234678-HeptaCDD	3,71	154	91,9
OctaCDD	12,1	807	441
I-TEQ (NATO/CCMS) sans LQ <sup>c</sup>	0,574	33,1	13,6
I-TEQ (NATO/CCMS) avec LQ <sup>c</sup>	0,717	33,1	13,6
Matière sèche (%)	88,3	37,3	47,0

< : non détecté au seuil de quantification indiqué.

a : Calcul de la valeur TEQ à partir de la concentration des seuls congénères quantifiés.

c : Calcul de la valeur TEQ en tenant compte des congénères non quantifiés avec la totalité de la valeur de leur limite de détection respective.

Tableau 3 : Teneur en PCDD/PCDF du sol de référence et des géotextiles.

Tranchée	Site I			Site II		
	TI 0-40 cm	TH 0-40 cm	TI 40-80 cm	TI 0-40 cm	TH 0-40 cm	TH 40-80 cm
Unité	ng/kg MS					
<b>PCDF</b>						
2378-TetraCDF	0,26	< 0,12	< 0,42	< 0,41	< 0,45	0,41
12378-PentaCDF	0,16	< 0,06	0,30	0,60	0,33	0,72
23478-PentaCDF	0,28	< 0,05	< 0,19	0,34	< 0,20	0,40
123478-HexaCDF	0,56	0,43	0,48	0,74	0,43	0,61
123678-HexaCDF	< 0,12	< 0,07	< 0,28	0,52	< 0,30	0,31
123789-HexaCDF	< 0,06	< 0,13	< 0,28	< 0,28	< 0,30	< 0,26
234678-HexaCDF	0,17	< 0,09	< 0,28	< 0,28	< 0,30	< 0,26
1234678-HeptaCDF	0,87	< 0,41	< 1,87	< 1,85	< 2,01	< 1,72
1234789-HeptaCDF	< 0,42	< 0,41	< 1,87	< 1,85	< 2,01	< 1,72
OctaCDF	< 1,40	< 1,02	< 4,68	< 4,62	< 5,04	< 4,31
<b>PCDD</b>						
2378-TetraCDD	< 0,09	< 0,09	< 0,09	< 0,09	0,23	0,10
12378-PentaCDD	< 0,09	0,28	0,45	0,84	1,06	1,31
123478-HexaCDD	< 0,17	< 0,20	0,32	0,97	1,09	1,64
123678-HexaCDD	< 0,14	< 0,17	0,71	1,62	1,45	2,19
123789-HexaCDD	< 0,15	< 0,18	1,48	2,32	2,89	3,31
1234678-HeptaCDD	1,53	2,36	11,4	27,6	31,4	40,6
OctaCDD	6,78	9,45	75,9	151	183	214
I-TEQ (NATO/CCMS) sans LQ <sup>a</sup>	0,278	0,215	0,729	1,66	1,86	2,46
I-TEQ (NATO/CCMS) avec LQ <sup>a</sup>	0,485	0,438	1,08	1,89	2,14	2,55
Matière sèche (%)	74,2	80,3	79,7	78,7	78,5	77,6

< : non détectée au seuil de quantification indiqué.

a : Calcul de la valeur TEQ à partir de la concentration des seuls congénères quantifiés.

c : Calcul de la valeur TEQ en tenant compte des congénères non quantifiés avec la totalité de la valeur de leur limite de détection respective.

Tableau 4 : Teneur en PCDD/PCDF des sols sous-jacents.

Les teneurs en PCDD/PCDF des sols sous-jacents sont de l'ordre de 0,49 ng I-TEQ/kg MS pour la tranchée I et de 0,44 ng I-TEQ/kg MS pour la tranchée 2 (Tableau 4). Ces teneurs sont plus faibles que la teneur déterminée dans le sol de référence prélevé dans le site I et que les teneurs déterminées dans une étude réalisée par l'Ineris (Badreddine et al., 2003). Dans le site II, les teneurs en PCDD/PCDF des échantillons de sols sous-jacents prélevés dans les deux tranchées du site II sont également faibles ; elles sont comprises entre 1,08 et 2,55 ng I-TEQ/kg MS. Dans la tranchée II, les teneurs des échantillons

de sols sous-jacents prélevés à une profondeur de 40-80 cm sont plus élevées (1,89 tranchée I et 2,55 ng I-TEQ/kg) que celles des sols prélevés à une profondeur moindre allant de 0 à 40 cm (1,08 et 2,14 ng I-TEQ/kg) (Tableau 4).

## DISCUSSION

### Composition en PCDD/PCDF et transfert vers les sols sous-jacents

La composition en PCDD/PCDF des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères valorisés en sous-couche routière est légèrement différente selon le site étudié. Dans le site I, les teneurs sont comprises entre 6,6 et 8,6 ng I-TEQ/kg. Ces teneurs sont inférieures aux teneurs des MIOM issus d'incinérateur de conception récente en France, en moyenne de 9 ng I-TEQ/kg MS avec une fourchette allant de 4 à 21 ng I-TEQ/kg de MS (Damien, 1997).

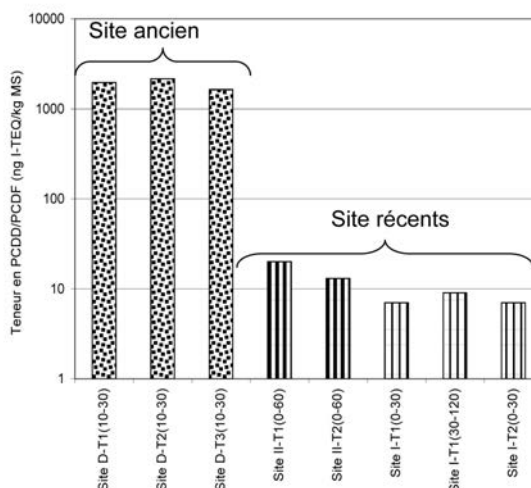


Figure 4 : Comparaison des teneurs en PCDD/PCDF des MIOM issus des ouvrages récents (I et II) et d'un ouvrage ancien (D).

Dans le site II, les teneurs en PCDD/PCDF des MIOM enregistrées sont plus élevées par rapport à celles du site I. Elles sont comprises entre 13 et 20 ng I-TEQ/kg dépassant ainsi légèrement les valeurs trouvées dans la littérature concernant les MIOM issus des incinérateurs de conception récente.

Une étude antérieure comparative a concerné les teneurs en PCDD/PCDF des ouvrages récents en collaboration avec Eurovia (sites I et II) et des ouvrages de construction ancienne réalisés en collaboration avec le Laboratoire des Ponts et des Chaussées de Nantes (LCPC). Cette étude a montré que les teneurs en PCDD/PCDF des sites récents sont très inférieures aux teneurs des PCDD/PCDF des MIOM provenant des ouvrages anciens. Ces dernières varient entre 235 et 2160 ng-I-TEQ/kg MS (Badreddine et al., 2005). La figure 4 compare les teneurs en PCDD/PCDF des sites récents (sites I et II) et d'un site ancien présentant la teneur en PCDD/PCDF la plus élevée. Ces différences de teneur résultent de la mise en conformité des incinérateurs par la stricte séparation des mâchefers et des résidus de traitement des fumées d'incinérations.

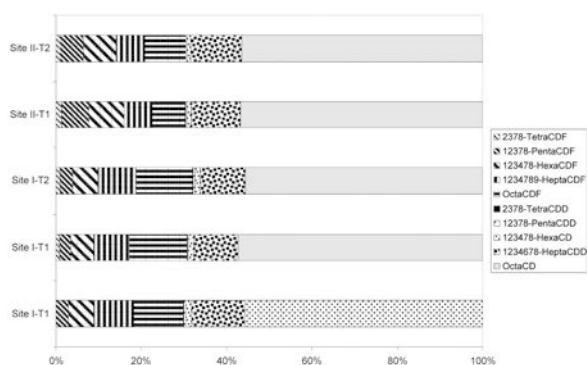


Figure 5 : Répartition des congénères dans les MIOM des deux sites.

L'examen des profils des congénères PCDD et PCDF des différents mâchefers étudiés révèle une répartition analogue des congénères pour les MIOM des deux sites auscultés (Figure 5). On peut noter que cette répartition fait ressortir une faible représentation du congénère le plus toxique, PCDD 2, 3, 7, 8. La teneur en PCDD/PCDF du sol de référence du site I est faible, de l'ordre de 0,72 ng I-TEQ/kg MS (Tableau 3). Cette valeur entre dans la gamme des teneurs des sols de références déterminées par l'Ineris sur différents sites, qui varie entre 0,30 et 9,50 ng-I-TEQ/kg MS (Badreddine et al., 2003). Dans les deux sites, les teneurs en PCDD/PCDF des sols sous-jacents sont faibles. Elles sont comprises entre 0,44 et 0,49 ng I-TEQ/kg MS dans le site I, et entre 1,08 et 2,55 ng I-TEQ/kg dans le site II. Dans le site I, ces teneurs sont faibles même par rapport à celles des échantillons de référence prélevés hors influence des MIOM. Pour les deux sites, les valeurs obtenues sont largement inférieures à celles trouvées lors d'une étude réalisée par l'Ineris : 13,4 ng I-TEQ/kg pour un sol urbain et 4,1 ng I-TEQ/kg pour un sol rural (Bartet, 2001).

## CONCLUSION

Des investigations réalisées à l'échelle du site ont été menées en vue de déterminer les teneurs et les profils des congénères PCDD/PCDF dans les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères utilisés en construction routière, et d'étudier la mobilité de ces composés vers le sol sous-jacent afin d'en évaluer l'impact sur l'environnement. Les auscultations ont été réalisées dans deux ouvrages contenant des MIOM produits en 2002 et 2003. Ces MIOM issus d'incinérateur de conception récente révèlent une composition en PCDD/PCDF généralement faible. Elle varie selon le site considéré de 6,6 à 20 ng-I-TEQ/kg MS.

Les teneurs en PCDD/PCDF des sols sous-jacents aux MIOM utilisés en sous-couche routière récents sont faibles. Elles varient entre 0,5 et 2,55 ng-I-TEQ/kg MS. Ces teneurs sont de l'ordre de grandeur des sols de références échantillonnés hors de l'influence des MIOM et des sols prélevés en zone urbaine. Selon les données de cette étude, l'utilisation des MIOM classés selon la circulaire du 9 mai 1994 comme «V» («valorisables»),

en scénario d'utilisation en remblai ou couche de fondation routière, ne génère pas de transfert des PCDD/PCDF vers les sols sous-jacent et par suite n'engendre pas d'impact sur ces sols.

## Note

Ce travail a été réalisé avec le support financier du ministère de l'Ecologie et du Développement durable.

## Références

AFNOR (1998), Standard XP-X 31-210 relatif aux déchets : Essai de lixiviation.

Badreddine R., Drouadaine I., François D. (2005), Evaluation de l'impact des PCDD/PCDF contenus dans des MIOM utilisés dans des structures routières. Techniques de l'industrie minérale, n° 28, décembre 2005.

Badreddine R., Bartet B., François D., Pepin G. (2003), Impact sur les sols des dioxines de MIOM utilisés en technique routière. Déchets, Sciences et Techniques, n° 29, 1<sup>er</sup> trimestre 2003 (également disponible sur [www.pro-environnement.com](http://www.pro-environnement.com)).

Bartet B. (2001), Caractérisation des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Possibilités de transfert de dioxines vers l'environnement. (Rapport intermédiaire MATE-DPPR-SDPD), 15 p.

Circulaire (9 mai 1994) relative à la valorisation des mâchefers d'incinération de résidus urbains en techniques routières, DPPR/SEI/BPSIED/FC/FC n°94-IV-1, MEDD.

Drouadaine I. et Badreddine R. (2003), Valorisation des MIOM en technique routière. Evaluation de leur impact sur l'environnement par la réalisation d'une chaussée expérimentale. Déchets, Sciences et Techniques, numéro spécial MIOM, 4<sup>e</sup> trimestre 2003, pp. 32-38.

Damien A. (1997), Etude des caractéristiques intrinsèques de certains déchets des usines d'incinération d'ordures ménagères et de déchets industriels spéciaux, ministère de l'Environnement / DPPR – TIRU.

Freyssinet P., Piantone P., Azaroual M., Itard Y., Clozel B., Baubron J.C., Hau J.M., Guyonnet D., Guillou-Frottier L., Pillard F., Jezequel P. (1998), Evolution chimique et minéralogique des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères au cours de la maturation, Documents du BRGM, 280 p.

Gwénaëlle Bröns-Laot (2002), Evaluation environnementale de la valorisation de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères en remplissage de carrière, thèse de doctorat, INSA de Lyon.