

Impact sur les sols des dioxines de MIOM utilisés en technique routière

Rabia Badreddine, Bernard Bartet, Guillaume Pepin, D. Francois

▶ **To cite this version:**

Rabia Badreddine, Bernard Bartet, Guillaume Pepin, D. Francois. Impact sur les sols des dioxines de MIOM utilisés en technique routière. Déchets Sciences et Techniques, 2003, 29, pp.16-21. 10.4267/dechets-sciences-techniques.2222 . ineris-00961874v1

HAL Id: ineris-00961874

https://ineris.hal.science/ineris-00961874v1

Submitted on 20 Mar 2014 (v1), last revised 6 May 2021 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

IMPACT SUR LES SOLS DES DIOXINES DE MIOM UTILISES EN TECHNIQUE ROUTIERE

[1]R. BADREDDINE, [1]B. BARTET, [2]D. FRANÇOIS, [1]G. PEPIN
[1]INERIS DRC/DESP Parc Technologique Alata B.P.n°2 60550 Verneuil-en-Halatte
[2]Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées, centre de Nantes, Route de Bouaye BP 4129
44341 BOUGUENAIS cedex

Correspondant : R. BADREDDINE
DESP/DRC INERIS
Parc Technologique Alata
B.P. 2 60550 Verneuil-en-Halatte
E-mail. rabia.badreddine@ineris.fr

RESUME

La réutilisation des Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères (MIOM) en construction routière se pratique en France depuis plus de dix ans. Cette pratique, encadrée par la circulaire du 9 mai 1994 relative aux MIOM, soulève épisodiquement des discussions sur les teneurs de ces matériaux en PolyChloroDibenzo-para-Dioxines (PCDD) et PolyChloroDibenzoFuranes (PCDF) appelés communément "dioxines" et sur leur risque de transfert vers l'environnement. Une étude de cette question s'est donc révélée nécessaire. Dans ce cadre, des campagnes de prélèvements et d'analyses ont été réalisées sur différentes structures routières dont la couche de fondation est constituée de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Les campagnes ont porté sur des chaussées d'âges différents afin de détecter un éventuel transfert des dioxines à travers les sols sous-jacents.

Les investigations menées ont révélé qu'une relation est clairement établie entre la date de la réalisation des chaussées et la teneur en dioxines des MIOM utilisés en couche de fondation. Par ailleurs, plusieurs facteurs témoignent du transfert des dioxines sous forme de particules contaminées dont le diamètre est supérieur à 0,45µm : l'analyse granulométrique par diffraction laser, la fixation des dioxines par un géotextile sous-jacent au MIOM et la filtration des eaux de percolation des MIOM. La nature du sol sous-jacent semble également jouer un rôle important dans le transfert ou l'immobilisation des dioxines

Mots clés : Chaussée, Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères (MIOM), PCDD/PCDF (dioxines), Sol sous-jacent, Transfert.

ABSTRACT

Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash (MSWIBA) has been used, in France, in road construction for more than ten years. This practice regulated by the French authority induces episodically various discussion concerning particularly the content of PolyChlorinated Dibenzo-p-Dioxins and PolyChlorinated DibenzoFurans PCDD/F (commonly named dioxins) in this materials and their release through the environment. In order to study the potential transfer of dioxins towards the underlying soil, the collection of the MSWIBA samples used in different roadways manufactured in different periods has been performed. At the same time, percolated water and underlying soils have been investigated.

Investigations have shown that the relationship is established between the age of the road conception and the dioxins content in the MSWIBA used. The grain size distribution by laser diffraction, the fixation of the dioxins by the geotextile underlying the MSWIBA layer and the filtration of the percolation water of the MSWIBA showed that dioxins transfer is performed through the particles forms having a minimum size of 0,45µm. In addition, the nature of the underlying soil seems to take an important part in the transfer or immobilization of dioxins.

INTRODUCTION

La circulaire n° 94-IV-1 du 9 mai 1994 classe les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères en fonction de leurs caractéristiques physiques et chimiques, et de leur potentiel polluant en trois catégories :

- mâchefers à faible fraction lixiviable, ou de catégorie 'V' par analogie au terme 'valorisation' ;
- mâchefers intermédiaires, ou de catégorie 'M' par analogie au terme de 'maturation' ;
- mâchefers à forte fraction lixiviable, ou de catégorie 'S' par analogie au terme 'stockage permanent'.

Le potentiel polluant est déterminé par l'application de l'essai de lixiviation suivant la norme NF X31-210. De nombreux travaux ont été réalisés pour caractériser ce potentiel polluant des mâchefers par les métaux lourds (Amokrane & al., 1998 ; Attili & al., 1999 et Bruder-Hubscher & al., 2000). A l'exception de la détermination du taux d'imbrûlés sur le produit brut et de la détermination du carbone organique total dans l'éluat, les critères réglementaires ne prennent pas en compte les composés organiques spécifiques comme les dioxines. Cependant, les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères présentent des teneurs résiduelles variables en composés organiques et particulièrement en dioxines.

Les teneurs en dioxines des MIOM issus d'incinérateurs de conception récente en France sont globalement faibles (Damien, 1997). Elles sont en moyenne de 9 ng I-TEQ par kg de matière sèche (M.S.) avec une fourchette allant de 4 à 21 ng I-TEQ/kg de M.S. Dans une autre étude, l'analyse de cinq échantillons de MIOM d'origines différentes et utilisés en technique routière a révélé des teneurs de 5 à 11 ng I-TEQ/kg de M.S. (Bartet, 2001 ; Bartet et al. 2001). Pour examiner l'éventuelle contamination des sols sous-jacents en dioxines et déterminer le mécanisme de transfert, une étude expérimentale reposant sur des prélèvements effectués dans les structures de différentes chaussées dont la couche de fondation[1] est constituée de MIOM a été menée. (Fig. 1)

ETUDE EXPERIMENTALE

Les caractéristiques des chaussées

Les chaussées comportant des MIOM dans leurs structures retenues pour la présente étude ont été choisies en fonction de critères qui peuvent influencer le transfert des dioxines des MIOM aux sols sous-jacents. Les critères retenus sont l'âge de la chaussée, la nature des MIOM utilisés (granulométrie, traitement), la nature du sol sous-jacent (composition minéralogique, perméabilité, granulométrie) et l'existence ou l'absence d'une géomembrane ou d'un géotextile entre la couche de mâchefers et le sol sous-jacent (Tableau 1).

L'âge des chaussées

Si l'utilisation des MIOM comme sous-couche routière n'a été encadrée au plan national qu'à partir de 1994, leur utilisation est bien plus ancienne (Ademe, 1993). Pour déceler d'éventuelles différences entre les teneurs en dioxines des MIOM utilisés dans des chaussées réalisées à différentes périodes, des chaussées anciennes A et B (24 et 26 ans) et récentes C, D (5 ans) ont été étudiées.

[1] Elément de la couche d'assisse situé entre la couche de surface et le sol (Figure 1)

Nature des MIOM utilisés

La description des MIOM porte essentiellement sur leur granulométrie et leur traitement, ainsi que sur l'épaisseur des couches utilisées.

Il y a 20 ans, les mâchefers ne subissaient pratiquement aucune préparation avant leur utilisation, hormis un criblage (à 31,5 ou 20 mm) pour éliminer les éléments grossiers, et éventuellement un déferaillage sommaire (François et al., 2000).

Quel que soit leur ancienneté, la distribution granulométrique de la majorité des MIOM utilisés correspond à celle d'une grave non traitée (GNT) de 0-20 mm à 0-31,5 mm. C'est le cas dans les chaussées anciennes A et B où les MIOM n'ont pas été traités de façon poussée. Au contraire, les MIOM utilisés dans les chaussées C, D et le site expérimental E, de conceptions récentes, ont subi une préparation poussée et éventuellement un traitement qui comporte un criblage, un retrait des métaux et des imbrûlés et une maturation sur une plate-forme (IME, Installation Maturation Elaboration). Les MIOM de la chaussée C n'ont pas été traités aux liants hydrauliques. Ceux utilisés dans la chaussée D ont subi une préparation suivie d'un traitement, ils ont été soumis à une maturation en IME pendant une période de trois à six mois. Ensuite ils ont été utilisés sous forme de MIOM traités aux liants hydrauliques.

En vue de l'évaluation de l'impact environnemental des différents produits routiers à base de MIOM, le site expérimental E a été constitué de cinq lysimètres. Les couches de fondation de différents plots ont été réalisées avec des MIOM non traités, des MIOM traités aux liants hydrauliques ou des MIOM traités aux liants organiques. De plus, dans un des cinq lysimètres, la couche de MIOM était remplacée par une couche de grave naturelle en tant que référence sans MIOM (Drouadaine et Osvald, 2001).

L'épaisseur des couches de MIOM mises en œuvre est variable selon les chaussées inspectées. Elle est comprise entre 17 et 50 cm.

Nature des sols sous-jacents

Pour examiner le rôle que peut jouer la nature du sol sous-jacent lors d'un éventuel transfert des dioxines dans l'environnement, la sélection s'est portée sur des sols de composition minéralogique et de granulométrie différentes. Les sols étudiés sont des sables (Chaussée A), des limons (Chaussée C et D) et du limon-argile (Chaussée B) (Tableau 1).

Sols de référence

Pour déterminer les teneurs en dioxines dans des sols hors d'influence des MIOM, des échantillons de référence ont été prélevés à quelques dizaines de mètres des trois chaussées A, B et C. Pour chacune des chaussées, 2 à 4 échantillons ont été prélevés à différentes profondeurs s'échelonnant de 0 à 106 cm.

Présence ou non d'une géomembrane ou d'un géotextile

La chaussée C a été construite en plaçant un géotextile perméable à la base de la couche de MIOM. Il s'agit d'un géotextile non tissé fabriqué à base de polypropylène. Dans le site expérimental E, les différents plots expérimentaux sont équipés d'une géomembrane imperméable entourant les MIOM jusqu'à leur limite supérieure, en vue de recueillir les percolats de la structure routière sans interaction avec le sol sous-jacent.

Echantillonnage sur sites

L'échantillonnage a été réalisé en collaboration d'une part avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes (LCPC) pour les chaussées A, B et C et d'autre part, avec la société JEAN LEFEBVRE pour la chaussée D, le site expérimental E et le site industriel F.

L'échantillonnage a été réalisé sur deux tranchées pour la chaussée A (la tranchée II comporte deux couches de MIOM séparées par une couche de sable) et une tranchée pour chacune des chaussées B et C. Il a consisté, pour les trois chaussées, en prélèvements d'échantillons de la ou des couches de MIOM et du sol sous-jacent à différentes profondeurs. Les sols de références ont été prélevés à distance des chaussées et à différentes profondeurs (tableau 2). Dans la chaussée C, l'échantillonnage a concerné aussi le géotextile placé sous la couche de MIOM. Dans la chaussée D, le prélèvement a concerné uniquement la couche de MIOM et le sol sous-jacent.

Sur le site expérimental E, un échantillon de MIOM traités au liant hydraulique et deux échantillons de sol pris de part et d'autre des lysimètres ont été prélevés pour examiner un éventuel transfert latéral de dioxines en provenance des sols encaissants.
Des échantillons d'eaux de percolation des mâchefers en place ont également été récoltés à partir de lysimètres implantés sur le site expérimental E et le site industriel F. A partir du site expérimental E, les percolats ont été récoltés à partir des plots 2 et 3 comprenant respectivement des MIOM traités aux liants hydrauliques et des MIOM non traités aux liants hydrauliques.

Matériels et méthodes

Préparation des échantillons solides

Un traitement préalable est appliqué à l'ensemble des échantillons. Chaque échantillon est séché à température ambiante, concassé puis tamisé pour avoir la fraction inférieure à 10 mm . Cette fraction est homogénéisée et ensuite partagée à l'aide d'un diviseur à lame.

Filtration des eaux de percolation

La filtration a été réalisée sur un dispositif de filtration sous pression sur des filtres membrane en acétate de cellulose dont le diamètre moyen des pores est de 0,45µm. Les filtrats et les membranes filtrantes ont été conditionnés pour analyse.

Analyse par Chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

Les analyses ont porté sur la détermination des teneurs en PolyChloroDibenzo-para-Dioxines (PCDD) et en PolyChloroDibenzoFurannes (PCDF). La préparation des échantillons a été réalisée par une minéralisation acide. La méthode consiste en une extraction par solvants organiques des composés à doser, suivie de plusieurs étapes de purification par chromatographie sur colonnes remplies d'absorbants associés à des systèmes de solvant à force éluante variable. Le dosage des dioxines dans les percolats nécessite après filtration et en plus de l'extraction solide/liquide, une extraction liquide/liquide. Les extraits purifiés sont concentrés jusqu'à un volume minimum et repris par une solution d'étalons internes dans quelques dizaines de microlitres d'un solvant compatible avec l'analyse par chromatographie en phase gazeuse. L'analyse de PCDD/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. Pour cela, les interférences provenant des congénères non toxiques (193) ainsi que d'autres composés

susceptibles d'être présents dans les échantillons (Polychlorobiphényles (PCBs), Polychloroterphényles (PCTs), Polychlorodiphényl éthers (PCDPEs), Polychlornaphtalènes (PCNs)) sont éliminés. La concentration d'un congénère PCDD ou PCDF peut être convertie en une valeur d'équivalent toxique international (I-TEQ, International Toxic Equivalent Quantity)[2] avec une limite de détection garantie de 1,22 ng I-TEQ/kg et une précision de 4,7% sur l'équivalent toxique.

Diffraction Laser

L'analyse granulométrique a été réalisée sur des eaux de percolation de mâchefers provenant des sites expérimentaux E et F pour déterminer la taille des particules en suspension ainsi que leur répartition dans une gamme comprise entre 1 et 600 µm. Les mesures granulométriques ont été effectuées sur un granulomètre Laser selon la norme NF ISO 13320.

RESULTATS

Teneurs en dioxines des sols de référence

Les échantillons de surface révèlent des teneurs en dioxines légèrement supérieures à celles des échantillons plus profonds : 9,50 ng I-TEQ/kg M.S dans la chaussée A et 5,40 à 6,50 dans la chaussée C. Les échantillons les plus profonds ne dépassent pas une teneur en dioxines de 0,5 ng I-TEQ/kg M.S. (Tableau 2). Pour le site E, les échantillons de sol témoin entre 0 et 10 cm ont des teneurs moyennes de 1,8 et 2,3 ng I-TEQ/kg M.S.

Teneur en dioxines des MIOM

La détermination des teneurs en dioxines des MIOM des différentes chaussées prospectées révèle de grandes différences allant de 9 à 721 ng I-TEQ/kg M.S. Dans la chaussée D et le site expérimental E, de construction récente et utilisant des MIOM traités aux liants hydrauliques, les teneurs en dioxines sont faibles, de l'ordre de 9 ng I-TEQ/kg M.S..
Par ailleurs les MIOM non traités des chaussées A et B affichent des teneurs élevées allant de 4 à 227 ng I-TEQ/kg pour le premier et de 721 ng I-TEQ/kg M.S. pour le second (Tableau 3). Enfin, bien que la chaussée C soit de réalisation récente, les mâchefers qui s'y trouvent ont une teneur élevée en dioxines (235 ng I-TEQ/kg M.S.).

Teneurs en dioxines des sols sous-jacents

La teneur en dioxines déterminée dans les sols sous-jacents révèle des concentrations comprises entre 0,60 et 7,20 ng I-TEQ/kg M.S. On observe une exception pour le prélèvement le plus profond de la tranchée I de la chaussée A (24,80 ng I-TEQ/kg M.S). Par contre, dans la deuxième tranchée, le sable prélevé entre deux couches de MIOM a une teneur de seulement 3 ng I-TEQ/kg M.S. (Tableau 3).

Dans les autres chaussées, de faibles différences sont également observées entre les sols situés juste en dessous des MIOM et les sols des niveaux plus profonds. Néanmoins, ces derniers présentent des teneurs moins élevées en dioxines (Tableau 3).

Par ailleurs, l'échantillon de géotextile prélevé en dessous de la couche de MIOM dans la chaussée C présente une teneur élevée en dioxines de l'ordre de 175 ng I-TEQ/kg M.S. Le géotextile a donc retenu des dioxines issues des MIOM de la couche de fondation.

---

[2] C'est la concentration mesurée en PCDD ou PCDF 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 dose mesurée.
TEF est défini comme suit :$TEF = \frac{\text{potentialité toxique d' un composé individuel}}{\text{potentialité toxique de la 2, 3, 7, 8 - TCDD}}$

Teneurs en dioxines des eaux de percolation

Trois échantillons des eaux de percolation, collectés dans les lysimètres à partir des mâchefers traités aux liants hydrauliques ou non traités révèlent des teneurs en dioxines variables. En vue d'examiner une éventuelle relation entre la taille des particules auxquelles sont associées les dioxines et leur transfert, une filtration des percolats a été pratiquée sur des membranes dont le diamètre des pores est de 0,45µm. L'analyse du gâteau de filtration et du filtrat obtenu a montré que les dioxines sont adsorbées en très large majorité sur des particules retenues sur le filtre (Tableau 4).

Par ailleurs, l'analyse granulométrique par diffraction laser réalisée sur deux percolats non filtrés récoltés sur le site expérimental E a révélé que la majorité des particules en suspension a une taille supérieure à 0,45µm (Figures 2 et 3). Cette répartition concerne uniquement les particules présentes dans les eaux de percolation et ne tient pas compte des particules immobilisées dans la matrice des mâchefers.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

La teneur en dioxines des sols de référence

Les différents sols de référence analysés révèlent des teneurs plus importantes en surface qu'en profondeur. Ces dernières sont faibles et ne dépassent pas 0,5 ng I-TEQ/kg M.S. A titre indicatif, ces valeurs sont de l'ordre de grandeur de celles de sols de référence (0,50 et 1,85 ng I-TEQ/kg) prélevés lors d'une étude, réalisée par l'INERIS en 1998, préliminaire à la construction d'une usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM).
L'existence de teneurs relativement plus élevées en surface qu'en profondeur pourrait être liée au fait que l'une des voies essentielles de contamination des sols par les dioxines est le dépôt atmosphérique.

La teneur en dioxines des MIOM

La teneur en dioxines s'est révélée variable entre les différentes chaussées utilisant des MIOM dans leur structure. Pour toutes les chaussées inspectées sauf une (la chaussée C), une relation est clairement établie entre la teneur en dioxines et la date de construction de la chaussée. Les MIOM des chaussées anciennes (24-26 ans) présentent des teneurs en dioxines variables (entre 14 et 721 ng I-TEQ/kg M.S) mais élevées par rapport à celles des MIOM de chaussées récentes (5 ans, 9 ng I-TEQ/kg M.S.).

Ce point est à mettre en perspective avec l'évolution des performances environnementales des incinérateurs et des équipements de traitement des fumées et celle des pratiques de gestion des MIOM. Depuis l'arrêté du 25 janvier 1991 relatif aux installations d'incinération de résidus complété par la circulaire de 1994 sur l'élimination des MIOM, des pratiques usuelles antérieurement, telles que le mélange des cendres volantes et des mâchefers sont proscrites et ont progressivement régressé. Ceci a permis d'abaisser de manière considérable la contamination en dioxine des mâchefers. L'essentiel des dioxines étant en effet formé par "synthèse de novo"[3] dans les circuits de traitement de fumées et préférentiellement concentrés dans les cendres et les résidus d'épuration de fumées (adsorption sur les particules fines).

[3] Différents mécanismes, regroupés et connus sous le terme de « synthèse de Novo » conduisent dans la phase de refroidissement d'un processus d'incinération à la reformation de dioxines et de furanes présents dans les gaz d'émissions (Luthardt & al., 2001)

Dans la chaussée A où des prélèvements ont été effectués à des profondeurs différentes, les MIOM révèlent des teneurs variables en dioxines. Cette variation pourrait être liée à l'hétérogénéité des sources des mâchefers employés.

La teneur en dioxines des sols sous-jacents

Les teneurs en dioxines du sol sous-jacent montrent des variations en fonction de la profondeur du prélèvement sous les MIOM et de la nature du sol sous-jacent. Globalement, les concentrations sont comprises entre 0,60 et 7,20 ng I-TEQ/kg M.S. Seule la chaussée A fait exception avec un pic de contamination à 24,8 ng I-TEQ/kg M.S à une profondeur de prélèvement de 42-52 cm.

Dans le cas de la Chaussée A, on constate des teneurs plus élevées en dioxines dans le sable le plus éloigné de la couche des mâchefers (24,8 ng I-TEQ/kg M.S.) par rapport au sable le plus proche (1,40 ng I-TEQ/kg M.S.). Au contraire, dans le cas du limon ou du limon-argile, c'est le sol le plus proche de la couche des MIOM qui présente la teneur la plus élevée. Cette constatation complète les observations de laboratoire sur le transfert des dioxines. En effet, elle permet de souligner l'influence de la perméabilité des sols sur le transfert.

Une voie de développement possible pourrait être l'étude d'un plus grand nombre d'échantillons de sols ayant des caractéristiques différentes de perméabilité, de porosité et de composition minéralogique, afin de conforter l'hypothèse du rôle joué par la nature des couches sous-jacentes dans le transfert des dioxines et de pouvoir la généraliser.

Le transfert des dioxines

Outre la faible solubilité des dioxines dans l'eau, cette étude présente les arguments suivants en faveur du transfert des dioxines par migration sous forme adsorbée sur des particules de taille supérieure à 0,45µm:

- Au niveau du laboratoire, les essais de filtration des eaux de percolation des mâchefers sur des filtres dont le diamètre des pores est de 0,45µm montrent que la majorité des dioxines se retrouve dans le résidu de filtration aux dépens du filtrat ;
- l'analyse granulométrique montre que la majorité des particules en suspension dans les percolats bruts des chaussées ont une taille supérieure à 0,45µm ;
- l'enrichissement en dioxines du géotextile placé en dessous de la couche de mâchefers dans la chaussée C est très probablement dû à un effet de filtre.

Les sols immédiatement sous-jacents aux couches de fondation constituées de mâchefers montrent des teneurs en dioxines relativement élevées par rapport aux sols de référence dans les niveaux les plus profonds. La nature du sol sous-jacent joue un rôle dans le transfert ou l'immobilisation des dioxines. Les couches de limon ou de limon-argile, en raison de leur faible porosité, limitent le transfert vers les couches sous-jacentes, contrairement au sable, plus perméable, qui limite moins le transfert des dioxines.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. DROUADAINE, Société Jean Lefèbvre et Mme BRAZILLET pour leur contribution à l'échantillonnage.

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Les caractéristiques des chaussées inspectées
Tableau 2 : Teneur en PCDD/PCDF des sols de référence
Tableau 3 : Teneur en PCDD/PCDF des MIOM et des couches sous-jacentes
Tableau 4 : Teneurs en PCDD/PCDF des eaux de percolation soumis à la filtration
Figure 1 : Les différentes couches routières constituant la chaussée A
Figure 2 : Distribution granulométrique du percolat issu du plot 2 du site expérimental E
Figure 3 : Distribution granulométrique du percolat issu du plot 3 du site expérimental E

REFERENCES

Arrêté (25 janvier 1991) relatif aux installations d'incinération de résidus urbains.

Amokrane A., Blanchard J.-M, Billard H., Chatelet-Snidaro L., Delineau T & Bourdier C. (1998) Le devenir des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Partie 1 caractérisation des mâchefers, Déchets-Science et Technique N° 10- 2ème trimestre. p. 15-27.

Ademe (1993) Valorisation des déchets dans le bâtiment et les travaux publics, dossier 2142-9-003, juin, 119 pages.

Attili S. Baillif P. & Touray J.C. (1999) Fractions fines et ultra-fines de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : caractérisation, lixiviation et analyses de surfaces, Déchets-Science et Technique, N° 13-1er trimestre, pp : 28-35.

Bruder-Hubscher V., Lagarde F., Leroy M., Midy M. & Enguehard F. (2000) Valorisation des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Partie1 Caractérisation des mâchefers, Déchets-Science et Technique, N° 18-2ème trimestre, pp : 3-26.

Bartet B., Pepin G. et Nominé M. (2001) Dioxine dans les MIOM. Teneurs observées et étude préliminaire de leur potentiel de transfert vers l'environnement. Congrès 'Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères' Orléans 2001 p.102-108.

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

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.

François D., Legret M., Demare D., Fraquet P. & Berga P. (2000) Comportement mécanique et environnemental de deux chaussées anciennes réalisées avec des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 227, Réf. 4307, pp : 15-30.

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.

Drouadaine I et Osvald S. (2001) Etude des percolats au travers d'une couche de chaussée réalisée en produits routiers élaborés a base de MIOM SCORMAT (Rapport interne, Société Paridu Letourneur, SPL) 25p.

Luthardt P., Schulte K., Perrin C., Vasse L. (2001) Suivi permanent et mesures ponctuelles de dioxines et furanes sur des effluents gazeux d'usines d'incinération d'ordures ménagères, Déchets N° 22, pp. 17-20.

Norme NF 31-210 relative aux Déchets (mai 1998): Essai de lixiviation, AFNOR.
NF ISO 13320-1 Analyse granulométrique-Méthodes par diffraction laser-Partie 1, AFNOR.

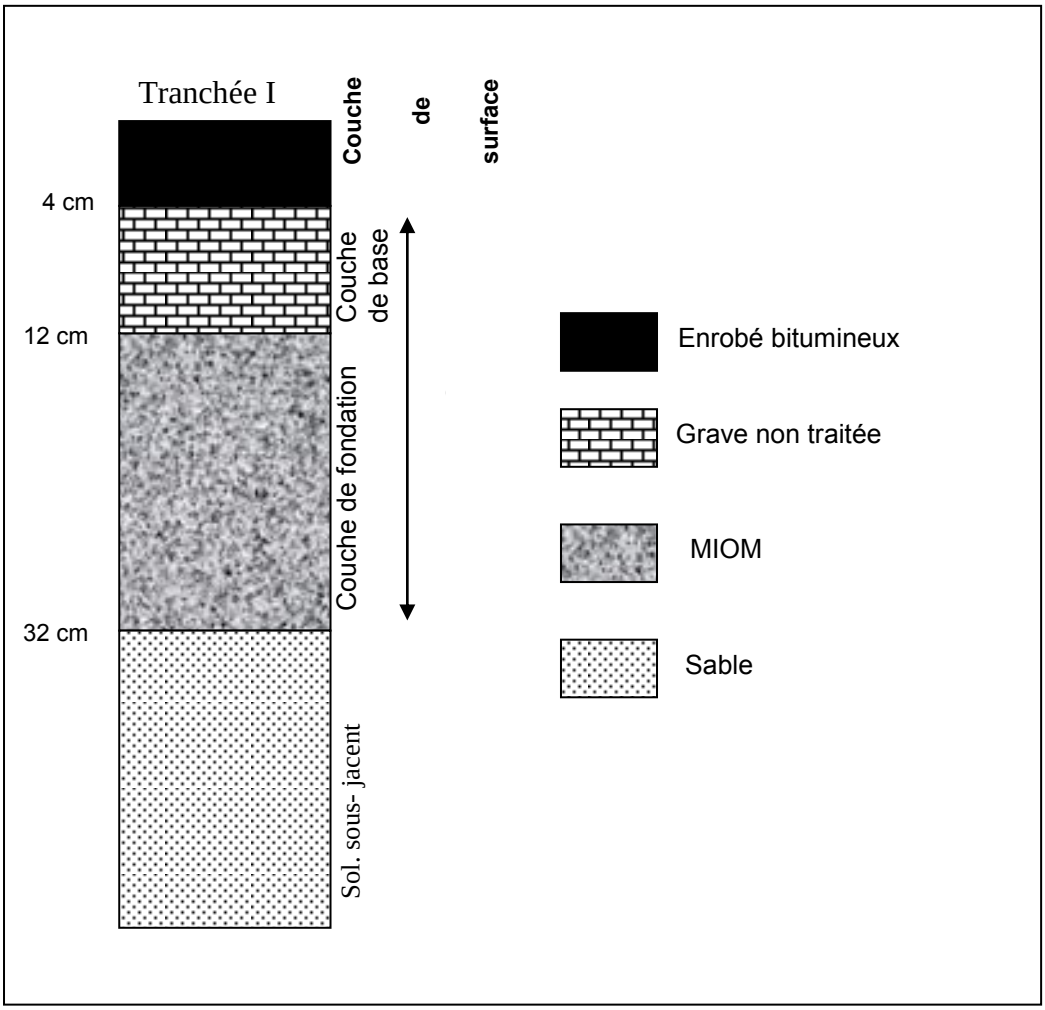
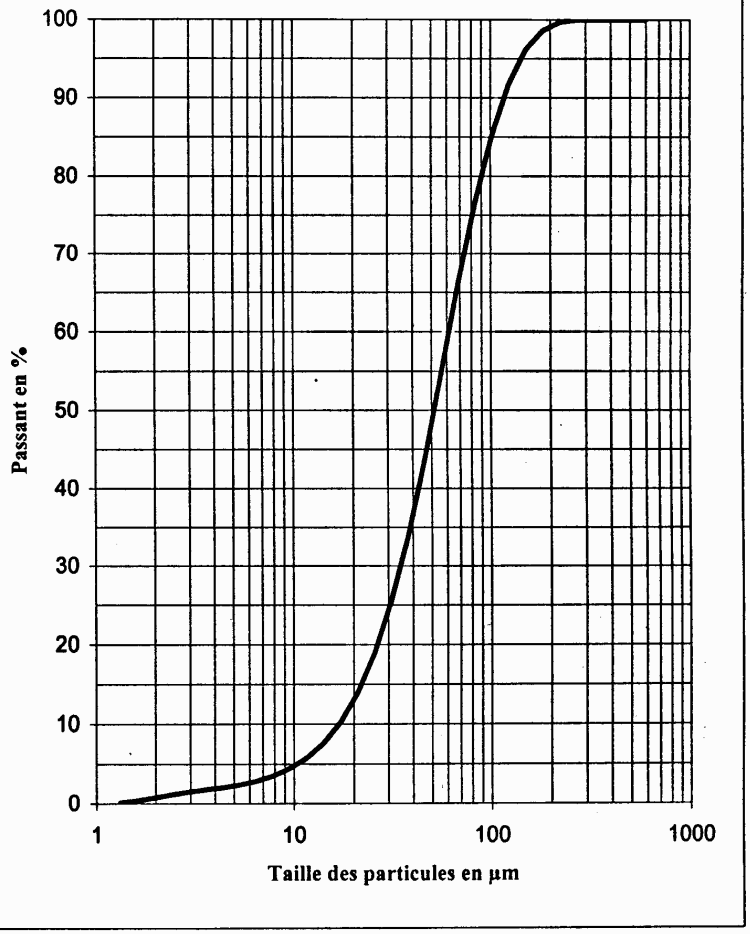

Tranchée I
Couche de surface
4 cm
12 cm
32 cm
Couche de base
Couche de fondation
Sol. sous- jacent
Enrobé bitumineux
Grave non traitée
MIOM
Sable

Figure 1

Taille (µm)	Passant (% volumique)
1,32	0,1
1,6	0,36
1,95	0,73
2,38	1,12
2,9	1,46
3,53	1,74
4,3	2
5,24	2,32
6,39	2,78
7,78	3,45
9,48	4,4
11,55	5,72
14,08	7,58
17,15	10,19
20,9	13,85
25,46	18,86
31,01	25,46
37,79	33,79
46,03	43,71
56,09	54,73
68,33	65,99
83,26	76,4
101,44	85,12
123,59	91,7
150,57	96,08
183,44	98,56
223,51	99,66
272,31	99,98
331,77	100
404,21	100
492,47	100
600	100



Diamètre à 90% : 116,64 µm
médian : 51,60 µm
à 10% : 16,94 µm

Figure 2

SITES ETUDIES	CARACTERISTIQUES			
	Année de conception	Géotextile (Gt) Géomembrane (Gm)	Sol sous-jacent	Nature des MIOM
Chaussée A	1976	Absente	Sable	Non traité
Chaussée B	1978	Absente	Limon-argile	Non traité
Chaussée C	1997	Présente (Gt)	Limon	Non traité
Chaussée D	1997	Absente	Limon	Traité par liant hydraulique
Site expérimental E	1997	Présente (Gm)	-	Traité par liant hydraulique

Tableau 1

Chaussées Etudiées	Profondeur de prélèvement (cm)	Nature du sol de référence	PCDD/PCDF du sol de référence (ng I-TEQ/kg)
Chaussée A	0-20 20-40 40-60 80-95	Sable Sable Sable Sable	9,50 0,70 0,40 0,30
Chaussée B	0-20 60-80	Limon-argile Limon-argile	1,10 0,80
Chaussée C	0-5 5-15 80-106	Limon Limon Limon	5,40 6,50 0,50

Tableau 2

Sites étudiés	Profondeur de prélèvement (cm)		PCDD/PCDF des MIOM (ng-I-TEQ/kg)	Sol sous-jacent (SSJ)	PCDD/PCDF du SSJ (ng-I-TEQ/kg)
Chaussée A	TRANCHEE I	12-24	14		
		32-37		Sable	1,40
		37-42		Sable	0,70
		42-52		Sable	24,80
	TRANCHEE II	14-29	35,70		
		29-35		Sable	3,00
		35-45	78,70		
		45-65	227		
		65-85	63,20		
		85-90		Sable	2,20
		95-105		Sable	1,30
Chaussée B	35-60		721		
	60-70			Limon-argile	7,20
	70-80			Limon-argile	0,60
Chaussée C	50-88		235		
				Géotextile	175
	88-93			Limon	2,90
	93-103			Limon	2,00
Chaussée D	0-25		9		
				Limon	4,40
Site expérimental E	10				2,30
	10				1,80
	15-40		9		

Tableau 3

Nature de l'échantillon (origine)	Teneurs en dioxines (pondérée LD exclues[1])	
	pg-I-TEQ/l	pg-I-TEQ/kg
Percolat de MIOM (F)	10,60	
Percolat filtré	1,10	
Résidus de filtration		15,80
Percolat de MIOM traités (plot 2, E)	31,40	
Percolat filtré	0,10	
Résidus de filtration		21,50
Percolat de MIOM non traités (plot 3, E)	14,90	
Percolat filtré	0,10	
Résidus de filtration		16,9

[1] les congénères non détectés ne sont pas inclus dans le calcul des sommes et valeurs ITE

Tableau 4