



NOTE D'INFORMATION

CHAUSSEES
DEPENDANCES

103

Auteur : SETRA - CSTR

Editeur :



UTILISATION DES MACHEFERS D'INCINERATION D'ORDURES MENAGERES EN TECHNIQUE ROUTIERE

Août 1997

La présente note d'information a pour objectif de présenter les conditions et les domaines d'emploi, en technique routière, des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) non traités avec un liant. Ils sont alors utilisables dans les remblais et les couches de forme ainsi que les couches de fondation de chaussées faiblement circulées .

Il faut cependant noter que la qualité des mâchefers est variable, même pour une usine donnée et qu'il est donc important que les fournisseurs s'engagent sur la conformité de leur produit dans le cadre d'une procédure qualité.

DEFINITION

Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) sont les scories résultant de l'incinération des ordures ménagères en four à grille dans des usines spécialisées (les mâchefers de fours à pyrolyse ou à lits fluidisés ne font pas l'objet de cette note d'information).

Ils sont à distinguer des cendres volantes et autres résidus de l'épuration des fumées qui sont recueillis dans les dépoussiéreurs ou sous forme de boues de lavage des gaz. Ces résidus et ces cendres ne doivent jamais être incorporés aux mâchefers ainsi que l'impose l'arrêté du 21 janvier 1991 du ministre de l'Environnement.

La plupart des usines importantes séparent aujourd'hui les cendres volantes des mâchefers ; les utilisateurs doivent cependant être très vigilants pour ne jamais utiliser ces mélanges mâchefers cendres volantes qui peuvent encore être faits dans certaines usines (environ 10 % de la production de mâchefers). Outre les dommages à l'environnement cette utilis-

tion pourrait conduire à des dégradations des ouvrages par gonflement.

ENJEUX

1. Production, répartition sur le territoire

La France produit une quantité importante d'ordures ménagères de l'ordre de 22 millions de tonnes par an. Actuellement une partie de ces ordures est mise en décharge, le reste, soit environ 10 millions de tonnes, est transformé, principalement par incinération. A moyen terme la réglementation imposera une transformation pour l'ensemble des ordures ménagères.

La France comporte environ 300 installations d'incinération d'ordures ménagères.

La production actuelle de mâchefers est estimée à 3 millions de tonnes par les unités de type industriel (celles produisant plus de 10 000 tonnes par an).

Une enquête du ministère de l'Environnement de 1995 donne la répartition suivante :

Usines d'incinération	Nombre	Tonnage annuel de MIOM par usine
très importantes (>50 t/h)	3 (Paris)	> 150 000
importantes (>35t/h)	6	60 000
moyennes (>20t/h)	8	40 000
courantes (>5 t/h)	48	10 à 20 000
petites (5t/h)	environ 230	< 3 000

2. Protection vis-à-vis de l'environnement

Les mâchefers contiennent en faible proportion des constituants qui peuvent avoir des potentiels de pollution. La circulaire du ministre de l'Environnement datée du 9 mai 1994 « Elimination des mâchefers d'incinération des résidus urbains » précise, vis-à-vis de l'environnement, les possibilités et les conditions de réutilisation des mâchefers en technique routière ; elle rappelle notamment :

- l'interdiction du mélange des mâchefers et des cendres d'O.M. ;
- la limitation à 5 % de la teneur en imbrûlés. Elle classe les mâchefers en trois catégories :
 - catégorie V (à faible fraction lixiviable-valorisation) ;
 - catégorie M (intermédiaires-maturation) ;
 - catégorie S (à forte fraction lixiviable-stockage en décharge) ;

en fonction des résultats au test de lixiviation décrit dans le même document (ces tests consistent à faire percoler de l'eau au travers d'un échantillon de matériau préalablement broyé et à mesurer la teneur en éléments polluants entraînés).

Les mâchefers de catégorie V, à faible fraction lixiviable, seuls utilisables, doivent répondre aux conditions suivantes :

Taux d'imbrûlés		< 5 %
Fraction soluble		< 5 %
Potentiel polluant par paramètre :		
mercure	Hg	< 0,2 mg/kg
plomb	Pb	< 10 mg/kg
cadmium	Cd	< 1 mg/kg
arsenic	As	< 2 mg/kg
chrome 6	Cr ⁶⁺	< 1,5 mg/kg
sulfate	SO ₄ ²⁻	< 10 000 mg/kg
carbone organique total	COT	< 1 500 mg/kg

La circulaire du ministère de l'Environnement limite également la localisation possible des zones d'utilisation : « **l'utilisation des mâchefers doit se faire en dehors des zones inondables et des périmètres de protection rapprochés des captages d'alimentation en eau potable, ainsi qu'à une distance minimale de 30 m de tout cours d'eau. Il convient de veiller à la mise en œuvre de tels matériaux à une hauteur suffisante du niveau des plus hautes eaux connues. Enfin, ils ne doivent pas servir pour le remblaiement de tranchées comportant des canalisations métalliques ou pour la réalisation de systèmes drainants** ».

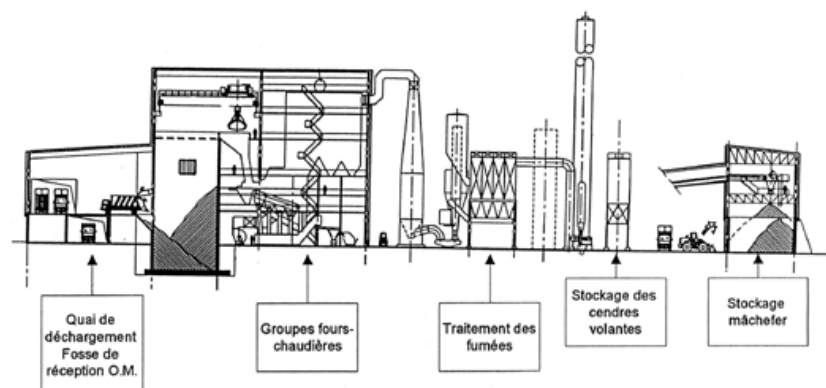
FABRICATION

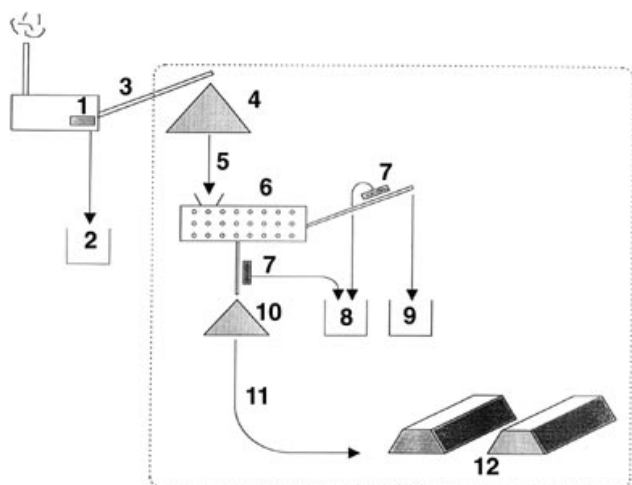
Le principe de fonctionnement d'une usine d'incinération d'ordures ménagères en four à grille est décrit par la figure 1.

Le dispositif d'introduction des ordures dans le four comporte une trémie d'alimentation, une goulotte de stockage et un distributeur à grille ou à poussoir.

La combustion des ordures est effectuée à haute température (800 à 1 000 °C). Elle est obtenue par le mélange de l'air comburant et des éléments combustibles.

▼ Figure 1 : Principe de fonctionnement d'une usine d'incinération.





▲ Figure 2 : Plate-forme de traitement de mâchefer.
Schéma de principe

LEGENDE :

- 1 GRILLE VIBRANTE
- 2 MONSTRES
- 3 TAPIS TRANSPORTEUR
- 4 STOCKAGE TAMPON DU MACHEFER BRUT
- 5 REPRISE AU CHARGEUR
- 6 CRIBLEUR
- 7 DEFERRAILLEURS
- 8 FERRAILLES
- 9 REFUS DE CRIBLAGE
- 10 MACHEFER PREPARE
- 11 REPRISE AU CHARGEUR
- 12 MISE EN ANDAIN

A l'extrémité de la grille, le mâchefer est refroidi brutalement dans de l'eau puis extrait et dirigé vers le lieu de stockage. Les fumées sont épurées des cendres volantes ; les cendres volantes doivent être éliminées en décharge spécialisée car elles sont très polluantes ; il en est de même des mâchefers mélangés aux cendres.

Une préparation (criblage, stockage, déferrailage, maturation sur stock) peut être ensuite effectuée par le producteur ou une entreprise spécifique.

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET GEOTECHNIQUES

La composition des mâchefers dépend notamment :

- de la composition des déchets incinérés, très variable dans le temps et selon la localisation ;
- du mode de combustion (type de four utilisé, température...) ;
- de la préparation ultérieure.

1. Propriétés physiques courantes

- les mâchefers bruts se présentent sous forme d'un granulat 0/80 mm avec des ferrailles plus ou moins volumineuses. Déferrillés et criblés, ils peuvent être assimilés à une grave artificielle 0/20 ou 0/31,5 mm.
- leur densité sèche apparente (non compactée) est

voisine de 1 en sortie de l'usine d'incinération alors que le matériau est encore très humide ; elle passe à 1,1 ou 1,2 pour du mâchefer après égouttage, déferrailage, concassage éventuel et criblage.

- leur densité sèche compactée varie entre 1,6 et 1,7.

2. Propriétés chimiques courantes

- à la sortie du four le mâchefer courant est un produit de pH compris entre 10 et 12,5 ;
- le taux d'imbrûlés doit être limité à 5 % selon l'arrêté du 21 janvier 1991 pour toutes les installations ;
- la composition chimique est variable selon les productions ; on constate que le mâchefer courant peut contenir principalement de la silice (30 à 65 %), de l'alumine (6 à 35 %), de la chaux (1 à 25 %) et de l'oxyde de fer (1 à 25 %).

Ces caractéristiques peuvent conférer aux mâchefers des possibilités de prise de type hydraulique ou pouzzolanique ; on constate ainsi à plus ou moins long terme sur certains chantiers anciens des prises en masse spontanées de mâchefers. Ce risque de prise doit conduire à une attention particulière lors du stockage du mâchefer (notamment ne pas compacter en le circulant sinon la reprise du matériau peut être difficile).

3. Caractéristiques géotechniques courantes des mâchefers

Au niveau de la fragilité et de l'attrition on a pu relever les valeurs suivantes sur certains mâchefers :

$$15 < MDE < 45$$

$$35 < LA < 50$$

Caractéristiques de compactage et de portance de quelques mâchefers (à titre indicatif) :

	Compactage PROCTOR	
	Normal	Modifié
Teneur en eau à l'optimum*	15 à 21 %	9 à 17 %
Densité sèche à l'optimum*	1,41 à 1,71	1,69 à 1,90
CBR immédiat à l'optimum*	19 à 30	30 à 120
CBR après 4 jours d'imbibition à l'optimum*	22 à 30	30 à 110
CBR à la teneur en eau à l'optimum* + 2 %	10 à 18	10 à 28

* PROCTOR

Compactés à des teneurs en eau supérieures de 2 points à la teneur en eau à l'optimum Proctor, les mâchefers peuvent devenir instables au compactage.

Il faut également noter que les mâchefers ne sont généralement pas gélifs ; cependant, si l'emploi l'exige, la gélivité de chaque mâchefer doit être vérifiée. Les mâchefers ont une faible perméabilité.

Leurs équivalents de sable varient selon le degré de maturation et sont souvent supérieurs à 35 et peuvent atteindre 75. La valeur au bleu VBS est souvent inférieure à 0,1.

Les mâchefers extraits des bacs de refroidissement présentent des teneurs en eau très élevées ; un égouttage d'une période généralement comprise entre 1 et 3 mois sur une aire de stockage drainée est nécessaire pour permettre de réduire cette teneur en eau à des niveaux permettant une mise en œuvre satisfaisante.

Ce stockage de quelques mois après leur élaboration dans des conditions permettant le développement de réactions exothermiques (hauteur suffisante des tas) permet outre cette diminution de teneur en eau, d'assurer une certaine stabilisation des caractéristiques chimiques limitant ainsi les risques de gonflement.

PRESCRIPTIONS POUR L'UTILISATION EN TECHNIQUE ROUTIERE

Quel que soit le type d'utilisation envisagée, l'utilisateur routier doit connaître les caractéristiques géotechniques du mâchefer proposé : cela impose de disposer d'une démarche qualité du producteur s'inspirant des normes de la série 9000 ou 14000, assurant à l'utilisateur les garanties que les spécifications demandées au mâchefer sont respectées malgré les variations inéluctables de ses caractéristiques.

Il est également important d'effectuer avant les chantiers, avec chaque mâchefer, toutes les analyses et études préalables nécessaires pour une bonne réalisation des ouvrages.

Les recommandations qui suivent tiennent compte d'une part des constatations effectuées sur des chantiers et d'autre part des résultats d'études de laboratoire.

Elles s'appuient sur les documents techniques généraux applicables aux matériaux routiers classiques :

- pour ce qui concerne les terrassements et les couches de forme : Guide technique « réalisations des remblais et des couches de forme (SETRA - LCPC) » et la norme NF P 11 300 ;
- pour ce qui concerne les chaussées : « Manuel pour la conception des chaussées neuves à faible trafic (SETRA - LCPC) ». (Les caractéristiques des mâchefers ne permettent à ce jour leur utilisation que pour les chaussées à faible trafic),
- norme P 18 101, fascicule 25 du CCTG et norme NF P 98-115.

A ce jour, nos connaissances ne permettent pas de tirer des conclusions sur l'éventuelle possibilité d'utiliser des mâchefers traités par un liant, compte tenu notamment des risques de gonflement. Des études sont en cours sur ce point.

1. Couches de forme et terrassements routiers

1.1. Domaine d'emploi

La circulaire du ministère de l'Environnement limite l'utilisation à des remblais compactés d'au plus 3 mètres de hauteur, sans aucun dispositif d'infiltration et à condition qu'il y ait en surface :

- soit une structure routière ou de parking ;
- soit un recouvrement végétal sur un substrat d'au moins 0,5 m.

Pour être ainsi utilisés, les mâchefers (non traités par un liant) doivent être exempts des éléments les plus volumineux, supérieurs à 150 mm en remblai et supérieurs à 40 mm pour la partie supérieure des terrassements et la couche de forme. On applique alors le « guide technique - réalisation des remblais et des couches de forme » (SETRA - LCPC ; 1992) et la norme P 11 300.

Chaque mâchefer, classé dans la catégorie F6 est répertorié selon les catégories des matériaux naturels auxquels il se rattache par ses caractéristiques identifiées par analyse. Les mâchefers se situent généralement en catégorie D2 B3 B4 ou B5, avec cependant une certaine sensibilité à la teneur en eau (risque d'instabilité si excès, de difficultés de compactage si défaut). Une étude en cours dans le réseau technique de l'Équipement doit conduire à proposer ultérieurement une classification spécifique pour les mâchefers.

1.2. Conditions de mise en œuvre

Pour un mâchefer donné, dans tous les cas il est recommandé de valider sur chantier par une planche d'essai les conditions d'utilisation qui sont déterminées au préalable à l'aide des essais de laboratoire.

Lors de l'utilisation, compte tenu de l'hétérogénéité du matériau et de sa densité, la seule méthode envisageable de contrôle du compactage est celle du Q/S.

2. Utilisation comme matériaux de chaussée

Les mâchefers non traités par un liant sont utilisables en couche de fondation de chaussées faiblement circulées en appliquant les prescriptions du manuel pour la conception des chaussées neuves à faible trafic (SETRA - LCPC), si leurs caractéristiques géotechniques permettent de les classer dans les catégories de graves selon le tableau ci-après.

Les mâchefers doivent être déferrailés et avoir subi une maturation suffisante (au moins trois mois après leur production).

Caractéristiques des mâchefers pour appliquer le manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic (ce tableau peut être intégré dans les CCTP).

Spécifications pour utilisation	En catégorie 2 du manuel	En catégorie 3 du manuel	
Couche de chaussée	fondation (trafic t4 et t5)		
Courbe	0/20 ou 31,5 mm et selon la norme NF P 98-129	0/20, 31,5 mm, 40 ou 60 mm et selon norme NF P 98-129	
Résistance mécanique des gravillons (norme P 18-101)	trafic t4 E	trafic t5 F avec LA < 45 et MDE < 45	
Caractéristiques de fabrication	gravillons (norme P 18-101) IV	Indice de plasticité :	
	sables (norme P 18-101) c	trafic t4 Ip < 6	trafic t5 Ip < 15
Angularité des gravillons et des sables (norme P 18-101)	ne pas mesurer		
Les mâchefers ne doivent pas être mélangés avec des cendres volantes. La teneur en imbrûlés est inférieure à 5 %.			
Ils doivent se classer dans la catégorie V de la circulaire du ministère de l'Environnement.			
Toute utilisation de mâchefers présentant d'autres caractéristiques doit être précédée de résultats positifs en laboratoire et sur sites expérimentaux.			

Les opérations de mise en œuvre sont celles décrites dans le fascicule 25 du CCTG (exécution des corps de chaussées) et la norme NF P 98-115 pour les graves non traitées.

Il est conseillé de limiter le D des mâchefers à 31,5 mm pour éviter la ségrégation.

3. Dispositions constructives pour la protection de l'environnement

Le bas de la couche de mâchefers doit être 50 cm au-dessus des plus hautes eaux connues.

La partie supérieure du remblai de la couche de forme ou de fondation doit être imperméabilisée dès la fin de la mise en œuvre des mâchefers (enduit hydrocarboné ou procédé conduisant à un niveau équivalent d'imperméabilisation).

Lors de la réalisation des ouvrages, toutes les précautions doivent être prises pour limiter le lessivage des mâchefers, par des dispositions conservatoires (faire suivre les couches suivantes, couvrir la couche par un enduit ...). En cas de risque de pluie, un assainissement spécifique doit permettre, pendant le chantier, l'évacuation des eaux de percolation en limitant la pollution de l'environnement à ce qui est tolérable (cf. *L'eau et la route - SETRA*).

Les flancs du remblai doivent être recouverts d'une couche de matériau limitant la circulation d'eau

(terre végétale, ...) sur une épaisseur d'au moins 30 cm pour une pente faible (jusqu'à 2 pour 1) et 15 cm pour une pente plus forte - dès la fin de la mise en œuvre des mâchefers.

DEMARCHE QUALITE

La démarche d'assurance qualité, devenue classique pour la réalisation des terrassements et des chaussées, doit être appliquée par l'entreprise et le maître d'œuvre.

Elle est décrite dans la circulaire du Directeur des Routes du 22 Décembre 1992 « La qualité de la route » et dans les CCTG notamment dans le fascicule 25 « Corps de chaussées ».

Elle doit être appliquée dès l'élaboration du document de consultation des entreprises jusqu'à la réception des travaux.

Cette démarche suppose de respecter les étapes suivantes :

- fourniture au maître d'œuvre par l'entreprise d'un Plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.) incluant les P.A.Q. des fournisseurs. Ce document sera fourni après une préparation suffisante du chantier ;
- par le maître d'œuvre : examen et comparaison du contenu du document avec les objectifs fixés

par le maître d'ouvrage dans le marché et visa du maître d'œuvre ;

- vérification de son application tout au long de la durée du chantier.

Pour ce qui concerne les fournitures de mâchefers :

- le fournisseur (ou l'entrepreneur) doit présenter à l'appui de son offre une fiche technique caractérisant le mâchefer qu'il s'engage à fournir :
 - classement en catégorie V de la circulaire du ministère de l'Environnement ;
 - caractéristiques géotechniques (voir emplois en terrassements ou emplois en chaussées).
- le fournisseur doit mettre en place une démarche qualité assurant au maître d'œuvre que son organisation permet de fournir un mâchefer conforme à la fiche technique ; il remet au maître d'œuvre le plan d'assurance qualité correspondant .
- le maître d'œuvre s'assure, avant d'accepter le mâchefer, que le plan d'assurance qualité lui donne l'assurance suffisante : à noter que pour ce type de produit et compte tenu de la grande variabilité de la production d'une usine, la démarche qualité doit porter sur l'ensemble de la chaîne depuis les ordures ménagères jusqu'à la livraison du mâchefer sur le chantier.

Pour cette analyse, le maître d'œuvre doit s'entourer des compétences nécessaires.

Il s'assurera également de la bonne application du P.A.Q. et vérifiera, notamment par l'examen des bons de livraison explicites, que le produit livré est conforme aux spécifications.

PROSPECTIVES

Des études et expérimentations sont en cours sur l'utilisation de mâchefers traités avec des liants.

Elles ont notamment pour but :

- de déterminer les caractéristiques de mâchefers pouvant être traités ;
- de préciser les liants utilisables selon les caractéristiques de chaque mâchefer, les performances des matériaux traités et les dispersions de ces performances y compris l'aspect variation dimensionnelle ;
- les domaines d'emploi de chaque mâchefer traité. Leurs conclusions feront l'objet ultérieurement d'un document spécifique.

Références

- Couches de forme :
 - antenne Sud de ROUBAIX (59) ;
 - rocade Nord-Ouest de Lille (59) ;
 - RD 216 (77).
- Remblai :
 - contournement Sud de STRASBOURG (67).

Cette note a été rédigée par :

J.C. VAUTRIN - SETRA/CSTR ☎ 01 46 11 34 03

en collaboration avec :

M. ANDRIEUX - LRPC Lille ☎ 03 20 48 49 49 ; M. DEVAUX - LRPC Nice ☎ 04 92 00 81 81 ;

M. JOUBERT - SETRA ☎ 01 46 11 34 12 ; M. GIROUY - LCPC Nantes ☎ 02 40 84 59 30 ;

M. KERGOET - LREP ☎ 01 60 56 64 00 ; MM. ROGER et URSAT - LRPC Strasbourg ☎ 03 88 77 46 00 ;

M. SILVESTRE - LRPC Lyon ☎ 04 78 41 81 25

S.E.T.R.A. 46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92223 BAGNEUX Cedex - France

☎ 01 46 11 31 31 - Télécopie 01 46 11 31 69 - 01 46 11 34 00

Renseignements techniques : J.C. VAUTRIN - SETRA/CSTR ☎ 01 46 11 34 03

Bureau de vente : ☎ 01 46 11 31 55 - 01 46 11 31 53 - référence du document : **D 9750**

Ce document a été édité par le SETRA, il ne pourra être utilisé ou reproduit même partiellement sans son autorisation.

AVERTISSEMENT

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son auteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.

ISSN en cours