



INFORMER POUR MIEUX VALORISER

Matériaux alternatifs
en infrastructures

GRAVE DE MÂCHEFER

MANUEL 2



**CONSULTATION
SIMPLE & RAPIDE**

En un clic, accédez
à la page souhaitée

► MANUELS À DESTINATION
DES ACTEURS DES TRAVAUX PUBLICS



Pour aller plus loin :
www.myfrtp-normandie.fr



SOMMAIRE

▶ INTRODUCTION	3
<i>L'utilisation des mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux dans le domaine des travaux publics</i>	
▶ GISEMENT	4
▶ ÉLABORATION DES MATÉRIAUX	5
Les Installations de Maturation et d'Élaboration	5
Processus de transformation des MIDND en grave de mâchefer dans les IME :	6
<i>Caractérisations des lots bruts de production</i>	6
<i>La maturation</i>	6
<i>Traitement mécanique des mâchefers</i>	7
Stockage des graves de mâchefer en vue de leur commercialisation	8
Traitement complémentaire selon l'usage souhaité	9
Traçabilité	9
▶ CARACTÉRISATIONS & CLASSIFICATIONS	10
Caractérisations environnementales	10
Caractérisations géotechniques	11
▶ DOMAINES & CONDITIONS D'EMPLOIS	13
Cadre environnemental	13
Cadre géotechnique	15
<i>Terrassements et couches de forme</i>	15
<i>Couche de forme non traitée</i>	16
<i>Couche de forme traitée</i>	16
<i>Remblais de tranchées</i>	18
<i>Remblais contigus aux Ouvrages d'Art</i>	18
<i>Couches de fondation des voiries</i>	18
▶ LE COIN DU PRESCRIPTEUR	19
Prescriptions utilisables pour les appels d'offre	19
<i>Critères environnementaux</i>	19
<i>Critères géotechniques</i>	19
Plan de contrôle	21
<i>Contrôle de la grave de mâchefer</i>	21
<i>Contrôles sur chantier</i>	22
▶ RÉFÉRENCES CHANTIERS	23
▶ BIBLIOGRAPHIE	24
▶ ANNEXES	25
Annexe 1 Critères à respecter pour l'utilisation en technique routière de la grave de mâchefer d'incinération d'ordures ménagères selon l'Arrêté du 18 novembre 2011	25
Annexe 2 Exemple d'une fiche technique d'une grave de mâchefer	26
Annexe 3 Préconisations de compactage de grave de mâchefer selon rapport d'étude du CER de ROUEN	27



INTRODUCTION

L'utilisation des *mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux (MIDND)* dans le domaine des travaux publics n'est pas nouvelle.

Elle a fait l'objet dès 1994, d'une réglementation d'emploi sous la forme de la circulaire du ministère de l'environnement du 9 mai 1994. Circulaire remplacée plus récemment par l'arrêté du 18 novembre 2011 [1] qui redéfinit les règles environnementales de valorisation des mâchefers en technique routière.

Ces nouvelles dispositions sont entrées en vigueur le 1^{er} juillet 2012 et sont complétées par un guide national d'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs en technique routière pour les MIDND d'octobre 2012, publié par le SETRA [2].

Ce guide décline les prescriptions et exigences opérationnelles pour une utilisation en technique routière dans le but de favoriser le recyclage des MIDND.

Les MIDND nommés précédemment MIOM (*Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères*) font aussi l'objet de guides régionaux, dont le plus ancien est celui d'Ile de France, édité en 1998. Dans le respect des règles techniques d'élaboration et de mise en œuvre, les MIDND ont prouvé leur fiabilité de comportement à long terme.

Le cadre juridique et technique permettant la valorisation des mâchefers est parfaitement défini et d'élaboration récente.

Les conditions sont donc réunies aujourd'hui pour une utilisation maîtrisée des mâchefers dans le domaine du BTP.

Fort d'un potentiel significatif de MIDND, les acteurs de la construction en Normandie se doivent d'en être les premiers applicateurs.

GISEMENT

► **Les mâchefers sont issus des usines d'incinération de déchets non dangereux (UIDND), aussi désignées « Installation de traitement thermique de déchets non dangereux » (ITTDND). Ces mâchefers sont les scories ou résidus solides de la combustion des déchets non dangereux, dont les déchets ménagers, extraits en partie basse des fours d'incinération après extinction à l'eau.**

LES CHIFFRES

PRODUCTION DE MATÉRIAUX BRUTS EN SORTIE D'INCINÉRATEUR

Seine Maritime (76)

220 000
TONNES/AN

Eure (27)

38 000
TONNES/AN

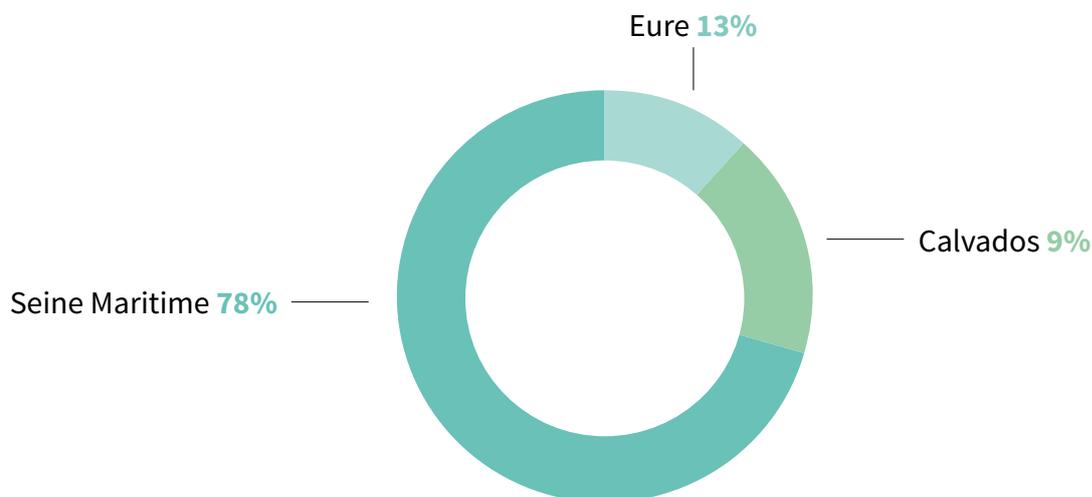
Calvados (14)

25 000
TONNES/AN

4 |

La Région Normandie ne compte pas moins de quatre Installations de traitement thermique de déchets non dangereux. Elles sont inégalement réparties, puisque toutes situées du côté Nord-Est de la région, les départements de l'Orne (61) et de la Manche (50) ne disposant d'aucune installation de ce type. **La région normande dispose d'un gisement considérable avec une production annuelle moyenne de plus de 280 000 tonnes de Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux.**

Le Département de la Seine Maritime (76) est à la fois le plus gros producteur régional de MIDND mais aussi le plus gros consommateur de granulats pour le VRD, contribuant ainsi à des conditions favorables d'emploi des graves produites à partir de MIDND.



RÉPARTITION RÉGIONALE DE LA PRODUCTION DE MIDND

Source : 2018 ©F RTP

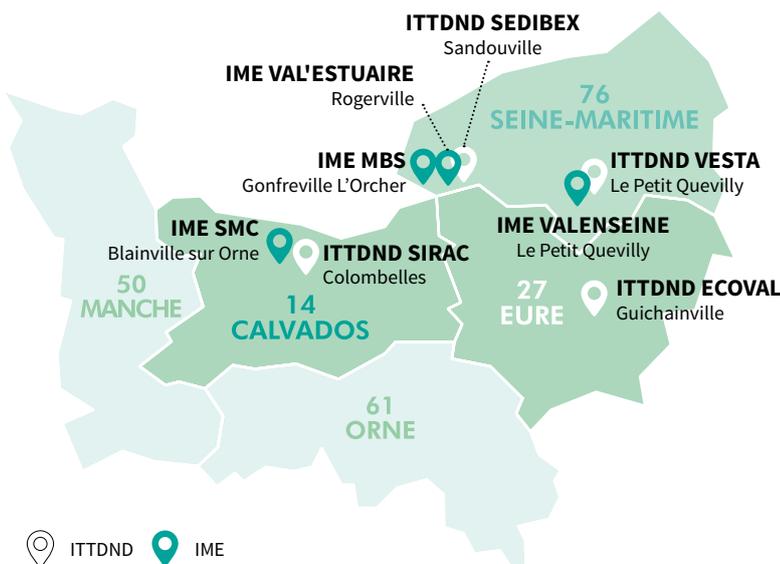
ÉLABORATION DES MATÉRIAUX

LES INSTALLATIONS DE MATURATION & D'ÉLABORATION

Dans la majorité des usines d'incinération, le mâchefer brut sorti du four a été refroidi par un apport d'eau. Ce MIDND doit ensuite faire l'objet d'une transformation mécanique et chimique, dans une **Installation de Maturation et d'Elaboration (IME)**. Il y en avait quatre en Normandie en début d'année 2018.



L'expérience montre que 70 à 85% de la quantité de mâchefers bruts entrant en IME y est transformée en grave de mâchefers utilisable dans les travaux routiers. Le reste correspond à la perte d'eau, à la séparation des métaux ferreux et non ferreux revalorisables dans l'industrie et à l'élimination des imbrulés.



RÉPARTITION DES IME & DES ITTDND EN NORMANDIE

Source : 2018 ©FRTP

CARNET ADRESSES

4

IME EN NORMANDIE

SEINE-MARITIME
Matériaux Baie de Seine (MBS)
 Secteur 1387 - Route des Gabions
 76 700 GONFREVILLE L'ORCHER

VALENSEINE
 Boulevard de Stalingrad
 76120 LE GRAND QUEVILLY

VAL'ESTUAIRE
 Port 1284 - Route des Gabions
 76 700 ROGERVILLE

CALVADOS
Société Des Matériaux Caennais (SMC)
 ZI CAEN CANAL - Zone Portuaire
 14550 BLAINVILLE-SUR-ORNE

5



©Eurovia - Installation de traitement des mâchefers

PROCESSUS DE TRANSFORMATION DES MIDND EN GRAVE DE MÂCHEFER DANS LES IME

► **Après réception des entrants, la fabrication des graves de mâchefer peut être décomposée en 2 phases de traitement largement développées dans les guides nationaux et dans les guides d'autres régions :**

- **La maturation**

- **Le traitement mécanique et calibrage**

Caractérisations des lots bruts de production

Conformément à la réglementation, le producteur de MIDND constitue des lots périodiques de production qui font l'objet d'une première caractérisation environnementale permettant d'envisager leur valorisation en IME.

UN LOT PÉRIODIQUE EST DE :

- **1 mois de production** si la capacité de l'installation de traitement thermique est supérieure ou égale à 50 000 t de déchets incinérés par an.
- **3 mois** si cette capacité est inférieure à 50 000 t/an (voire 6 mois dans le cas d'une conformité avérée sur 12 lots consécutifs).

Le mâchefer bénéficie d'une homogénéité prouvée pour un même site de production. Avant transformation, le mâchefer brut se présente comme un matériau majoritairement granulaire de couleur grisâtre, dans lequel on trouve des résidus ferreux (boîtes de conserves, ferrailles diverses...) et non ferreux (fil de cuivre, papier aluminium...), des débris de vaisselle (faïence...), des bouteilles de verre, ainsi que des éléments imbrûlés légers (papiers, chiffons, plastiques...).

Le taux d'imbrûlés est contrôlé par la mesure du Carbone Organique Total (COT) ou de la perte au feu conformément à l'arrêté ministériel du 20 septembre 2002 modifié [3].

Les installations d'incinération sont exploitées de manière à atteindre un niveau d'incinération tel que la teneur en carbone organique total (COT) des cendres et mâchefers soit inférieure à 3 % du poids sec de ces matériaux ou que leur perte au feu soit inférieure à 3 à 5 % de ce poids sec en fonction de l'origine des déchets.

Maturation

Un stockage d'un mois minimum permet la maturation des MIDND. Cette maturation se traduit par un ensemble de réactions physico-chimiques « *naturelles* » reposant principalement sur une carbonatation de la chaux par le dioxyde de carbone atmosphérique, une minéralisation des composés chimiques, instables en sortie d'incinération ainsi qu'une oxydation des ferrailles.

La teneur en eau diminue à la fois par essorage du matériau et évaporation d'une partie de l'eau interne (réaction chimique exothermique).

Ces mécanismes de maturation permettent de baisser également le potentiel d'hydrogène (pH) du matériau et, par voie de conséquence, de réduire son potentiel polluant en rendant insolubles les hydroxydes de la plus grande partie des métaux lourds. Ils permettent également au matériau d'acquérir en fin de maturation des caractéristiques géotechniques et environnementales stables.

Traitement mécanique des mâchefers

Le traitement consiste à transformer les mâchefers en grave calibrée par une succession d'opérations généralement mécaniques :

- **L'extraction des métaux ferreux et non ferreux** qui font ensuite l'objet d'une valorisation en filières sidérurgiques ;
- **L'extraction des imbrûlés** ;
- **Le criblage**, éventuellement associé à du concassage, pour obtenir des graves de mâchefer calibrées suivant les demandes routières.

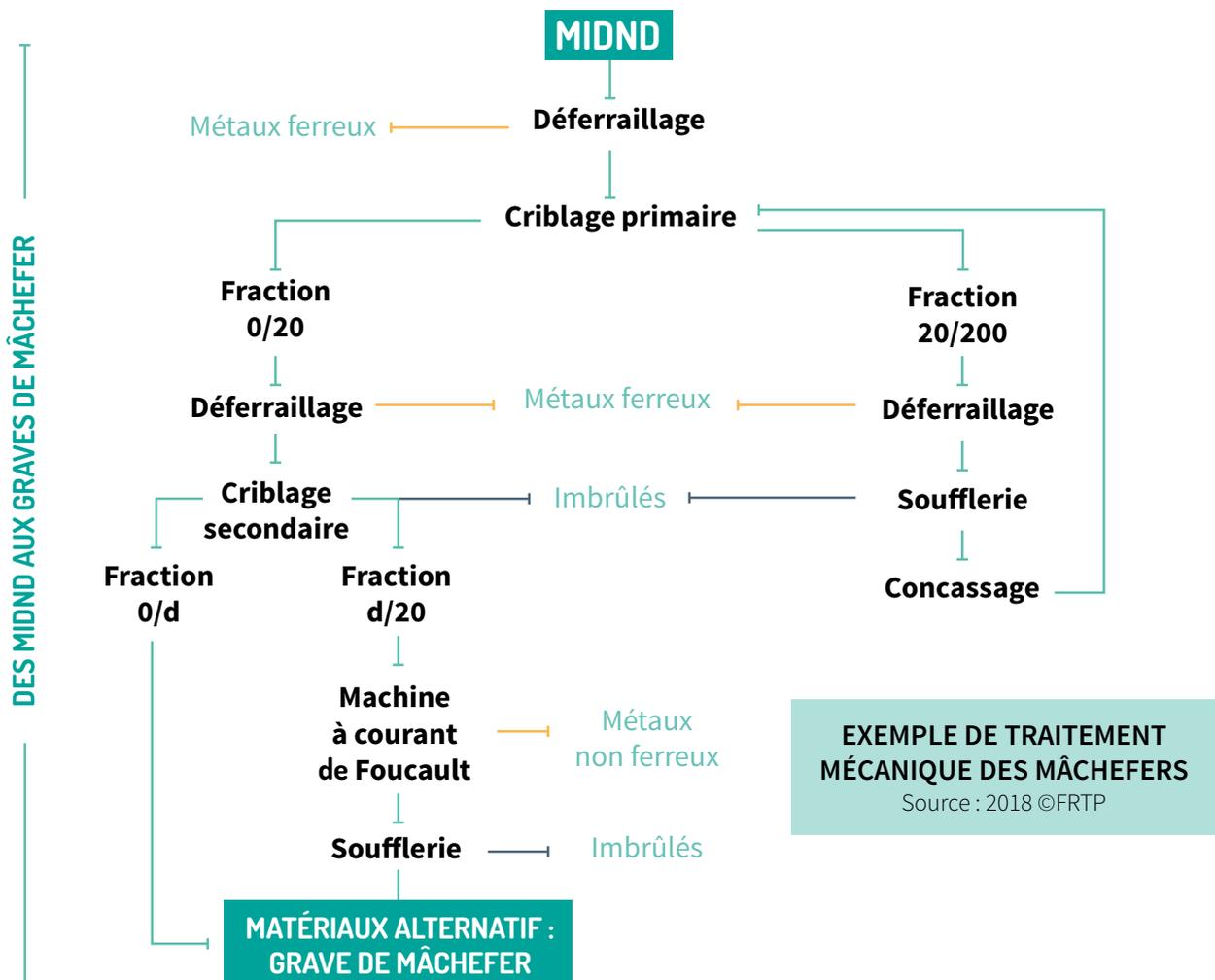
L'ordre de ces opérations peut différer d'une installation à l'autre. Certaines de ces opérations peuvent même être réalisées avant ou en cours de maturation. A l'issue de ces opérations, les graves de mâchefer respectent les critères géotechniques pour une utilisation en technique routière.

Avant d'être employée, la grave de mâchefer est vérifiée sous deux aspects :

- **Une caractérisation environnementale** qui permettra de juger l'acceptabilité environnementale du matériau,
 - **Une caractérisation géotechnique** qui définira les aptitudes techniques du matériau.
- L'interprétation des résultats des caractérisations permettra de valider les usages sous des conditions qui sont aussi liées à l'environnement des chantiers.

(Voir détails en pages 10 et 11).

A l'issue de la transformation précédemment décrite, la grave de mâchefer est un matériau à caractère industriel dont les propriétés spécifiques sont aujourd'hui bien reconnues, tel qu'indiqué dans **la plaquette éditée par la DGPR en juillet 2016 : « Les graves de mâchefer en technique routière : un matériau à valoriser ! » [4]**



STOCKAGE DES GRAVES DE MÂCHEFER EN VUE DE LEUR COMMERCIALISATION

Les stocks de graves de mâchefer sont identifiés (plan de stockage et panneauutage) afin de distinguer les lots de production. Toutes les dispositions visant à éviter toute pollution et tout mélange lors du stockage et du déstockage doivent être prises.

Les graves de mâchefer sont éventuellement ré-humidifiées avant le départ sur chantier.



©FRTP

► Stockage de la grave de mâchefer. Source : Valenseine



©FRTP

► Grave de mâchefer prête à l'emploi pour une utilisation en technique routière.

QUELQUES CHIFFRES

PROCESSUS DE MATURATION DU MÂCHEFER

1 à 12 mois

Stockage maximum selon l'autorisation préfectorale correspondante à l'IME

ENVIRON

250 000 t

de graves de mâchefer

produites en NORMANDIE sur l'année 2016

TRAITEMENT COMPLÉMENTAIRE SELON L'USAGE SOUHAITÉ

► Le plus couramment, la grave de mâchefer constitue un matériau routier directement utilisable sur le chantier.

Toutefois, la préparation de la grave de mâchefer peut être complétée pour fabriquer des matériaux composés de caractéristiques mécaniques supérieures, en adéquation avec l'usage souhaité.

ON PARLE DE :

- **Grave de mâchefer formulée** quand la grave de mâchefer initiale est mélangée avec des granulats d'origine naturelle,
- **Grave de mâchefer traitée** quand la grave de mâchefer initiale, en mélange ou pas avec des granulats naturels, est traitée avec un liant hydraulique ou avec un liant hydrocarboné. Il s'agit toujours d'un traitement à froid (mélange avec la grave à température ambiante).

Il n'est pas exclu de mélanger la grave de mâchefer avec d'autres matériaux tels que des granulats naturels et/ou les liants précédemment cités. Toutefois de tels mélanges devraient faire l'objet d'une nouvelle évaluation environnementale conformément au guide méthodologique «*Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Evaluation environnementale*» (SETRA, mars 2011). [5]

Tous les mélanges dont il est question dans ce chapitre ne peuvent être réalisés que dans des IME ou sur le chantier de destination finale.

TRAÇABILITÉ

► Les lots de production de mâchefer font l'objet d'une traçabilité continue jusqu'au chantier.

Cette procédure s'inscrit dans le cadre du Plan de l'Assurance de la Qualité de l'exploitant de l'IME et donne lieu à la rédaction d'une fiche de données environnementales visant à garantir et encadrer, pour chaque lot de MIDND valorisé :

1. **Les usages routiers autorisés** conformément à la classe environnementale des MIDND ;
2. **Les limitations d'usages liés à l'environnement** de l'ouvrage et à la mise en œuvre de la grave de mâchefer. (cf. page 13)

En parallèle, l'exploitant de l'IME tient à jour **un registre de sortie** dans lequel il consigne pour chaque chantier :

- Les coordonnées du client final ;
- Les coordonnées du transporteur et de l'entreprise chargée d'exécuter les travaux ;
- La référence des lots périodiques de mâchefers commercialisés ;
- la quantité de matériau sortant ;
- La date de sortie de l'IME ;
- L'usage du matériau.

CARACTERISATIONS & CLASSIFICATIONS

CARACTÉRISATIONS ENVIRONNEMENTALES

Le contrôle environnemental est imposé par l'arrêté ministériel du 18 novembre 2011 [1] relatif au recyclage en technique routière des Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux. Il précise au chapitre II la fréquence de contrôles (notions de lots), les paramètres à analyser et les critères à respecter pour le recyclage en technique routière.

Conformément à cet arrêté, dont beaucoup des éléments sont rappelés par le guide SETRA «*Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière/ Mâchefer d'Incinération de Déchets Non Dangereux*» [2], l'exploitant de l'installation de Maturation et d'Elaboration (IME) fait procéder systématiquement à la caractérisation physico-chimique de la grave de mâchefer.

Cette caractérisation est réalisée sur chaque lot de production (au sens de l'arrêté du 18 novembre 2011) par un laboratoire indépendant. La méthode de prélèvement et de préparation des échantillons est décrite dans l'annexe 6 du guide précédemment cité. En fonction des paramètres listés en **annexe 1** du présent manuel et des résultats correspondants, une classe environnementale est attribuée au lot de grave de mâchefers. De cette classe dépendent les types d'usage autorisés :

10 |

- Usages routiers « type 1 » dit revêtus
- Usages routiers « type 2 » dit recouverts

Ces «types d'usages» sont précisés au chapitre Domaine et conditions d'emploi.

GUIDE



Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière. Sêtra

Le classement environnemental et les types d'usages autorisés correspondants sont présentés au **tableau I**.

TABLEAU I : CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE & TYPES D'USAGES

> Comportement à la lixiviation	Au moins un paramètre est non conforme aux valeurs limites de type 1	Au moins un paramètre est non conforme aux valeurs limites de type 2 et tous les paramètres sont conformes aux valeurs limites de type 1	Tous les paramètres sont conformes aux valeurs limites de type 2
> Classement environnemental du MIDND	S	V1	V2
> Destination	ISDND	Usages routiers types 1	Usages routiers type 1 et de type 2

CARACTÉRISATIONS GÉOTECHNIQUES

Les essais de caractérisation géotechnique des graves de mâchefer en Laboratoire sont réalisés sur chaque lot de production ou selon un plan de contrôle préalablement défini.

Les résultats d'essais conduisent à l'élaboration d'une **Fiche Technique Produit** visant à présenter :

- **Les caractéristiques intrinsèques et de fabrication** des composants de la grave de mâchefer (fuseau granulométrique, dureté et résistance à l'usure des granulats, propreté des éléments fins).
- **Les performances mécaniques** du matériau en relation avec l'état hydrique (références de compactage à l'Optimum Proctor, teneur en eau optimale, Indice Portant Immédiat).

⊕ Un exemple de fiche de contrôle de la production des graves de mâchefer est joint en **annexe 2**.

Les graves de mâchefer valorisées appartiennent la classe F61 (sous-produits industriels) du Guide Technique LCPC/SETRA relatif à la Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR édition 2000) [6] et de la norme **NF P11-300** [N1] (Voir le **tableau II**).

Le rapport d'étude du CER de ROUEN [7] « *Caractérisation, mise en œuvre et contrôle du compactage des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) dans le domaine des terrassements* » publié en 2009 au Bulletin de Liaison des Ponts et chaussées, apporte des compléments. En particulier ce rapport préconise des nouvelles frontières pour les états hydriques et il indique qu'une faible valeur VBS n'est pas un indicateur d'insensibilité à l'eau pour les mâchefers. Les matériaux classés F61 selon le GTR sont généralement assimilés à la classe B4 pour le compactage.

TABLEAU II : CARACTÉRISATIONS & CLASSIFICATION SELON NORME NF & GTR

CARACTÉRISATION SELON LA NATURE	FAMILLE SELON LA NORME NF P 11-300	DESCRIPTION	CLASSEMENT SELON LE GTR	SOUS-CLASSE D'ÉTAT HYDRIQUE	
D_{max} < 50mm Passant à 2 mm < 50 % Passant à 0,08 mm ≤ 12 % ES > 30 LA ≤ 45 MDE ≤ 40	F6 Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères	Il s'agit de graves de mâchefer : - bien incinérées - criblées - déferrallées au sens de l'arrêté du 18 novembre 2011 - stockées plusieurs mois avec une limitation à un an	F61	IPI < 10 (W _n > 1,3 WOPN)	F61 th
				1,1 WOPN ≤ W_n ≤ 1,2 WOPN (10 ≤ IPI ≤ 20)	F61 h
				0,8 WOPN ≤ W_n ≤ 1,1 WOPN (20 ≤ IPI ≤ 50)	F61 m
				0,6 WOPN ≤ W_n ≤ 0,8 WOPN	F61 s
				(W_n < 0,6 WOPN)	F61 ts
		Même description que F61 mais de fraîche production (pour mémoire)	F62	IPI < 10 (W _n > 1,3 WOPN)	F62 th

Les courbes granulométriques des gravas de mâchefer obtenues après transformation des matériaux (recomposés ou non) s'inscrivent généralement dans les fuseaux des GNT 0/20 (GNT3) ou GNT 0/31.5 (GNT2) définis dans la norme **NF EN 13 285 [N2]**.

Les caractéristiques mécaniques et intrinsèques généralement attendues ou mesurées sur les gravas de mâchefer prêtes à être utilisées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU III : CARACTÉRISATIQUES MÉCANIQUES

CARACTÉRISATION			VALEUR COURANTE
PARAMÈTRE	ESSAI	NORME D'ESSAIS	
Dureté des granulats	LOS ANGELES (LA)	NF EN 1097-2	≤ 45
Résistance à l'usure des granulats	Micro Deval en Présence d'eau (MDE)	NF EN 1097-1	≤ 40
Densité sèche à l'Optimum Proctor Normal	Essai Proctor Normal	NF P94-093	1,500 t/m ³ ≤ ρ_d OPN ≤ 1,700 t/m ³
Teneur en eau à l'Optimum Proctor Normal	Séchage en étuve ventilée	NF P94-050	15% ≤ WOPN ≤ 20%
Portance	Indice Portant Immédiat	NF P94-078	IPI à l'état hydrique « m » ≥ 40*

12 |

*Cette valeur est communément mesurée sur les contrôles périodiques en Normandie.



©Eurovia - Plateforme de Blainville sur Orne

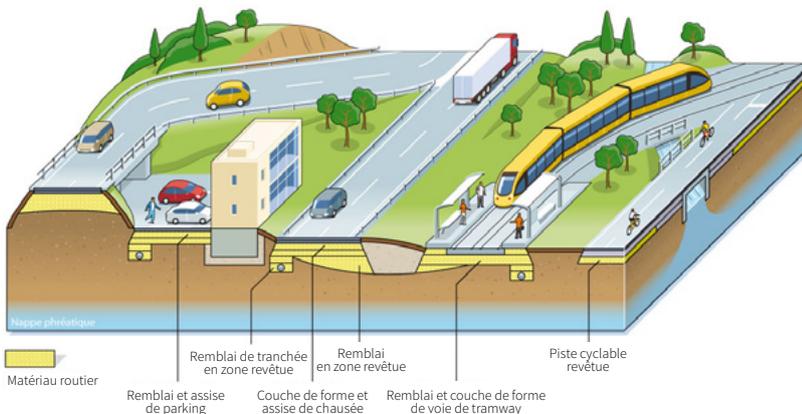
DOMAINES & CONDITIONS D'EMPLOIS

CADRE ENVIRONNEMENTAL

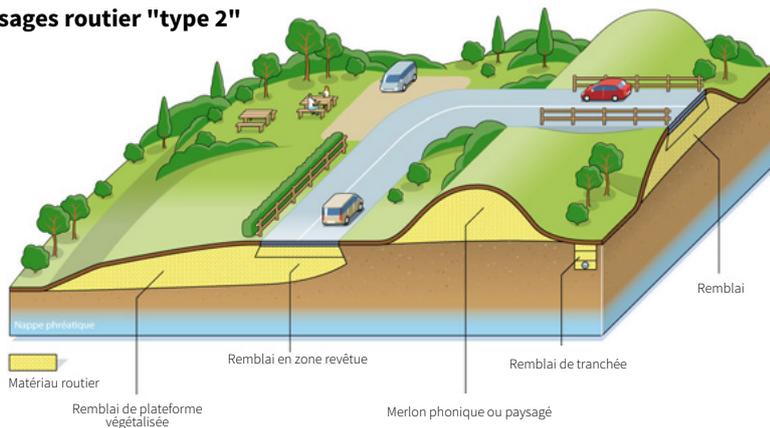
► **L'utilisation n'est possible que si la classification environnementale de la grave de mâchefer est compatible avec l'usage envisagé (voir tableau I).**

La définition des usages routiers de type 1 et de type 2 est illustrée ci-dessous :

Usages routier "type 1"



Usages routier "type 2"



⊕ **Rappel :** Toute grave de mâchefer autorisée en usages routiers de type 2 l'est aussi en usages routiers de type 1.

MÉMO

USAGES ROUTIERS DE TYPE 1

(Ouvrages routiers revêtus)

Ouvrages

Remblais ≤ 3 m de hauteur
Couche de forme
Couche de fondation
Accotement de chaussée

Revêtements

Asphalte
Enrobé Bitumineux
Enduit superficiel d'usure
Pente minimale 1%

USAGES ROUTIERS DE TYPE 2

(Ouvrages routiers recouverts)

Ouvrages

Remblais ≤ 6 m de hauteur
Couche de forme
Couche de fondation
Accotement de chaussée

Couverture

Matériaux naturels ≥ 30 cm
Pente minimale 5%

À SAVOIR

Les limitations d'usages liées à l'environnement immédiat du chantier sont les suivantes :

- En dehors des zones inondables et à une distance minimale de 50 cm des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues.
- A une distance minimale de 30 mètres de tout cours d'eau y compris les étangs et les lacs. Cette distance est portée à 60 mètres si l'altitude du lit du cours d'eau est inférieure de plus de 20 mètres à celle de la base de l'ouvrage et dans les zones désignées comme zone de protection des habitats, des espèces, de la faune et de la

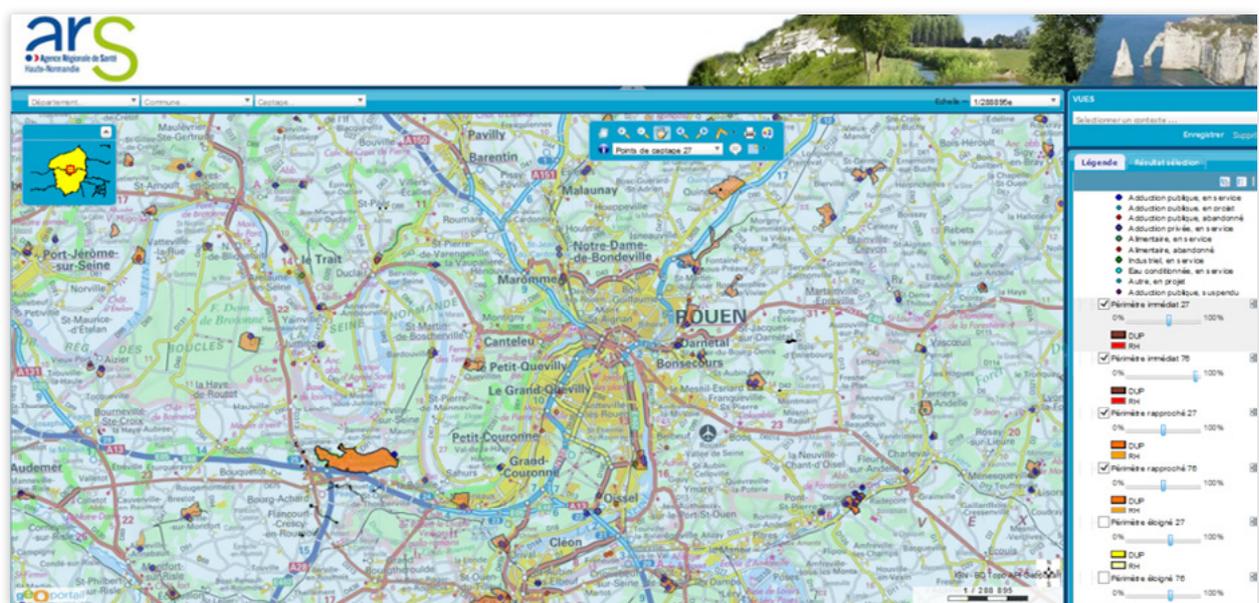
flore sauvages en application de l'article L.414-1 du code de l'environnement.

- En dehors des périmètres de protection rapprochés des captages d'alimentation en eau potable.
- En dehors des zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, en application de l'article L.211-12 de code de l'environnement, au titre de la protection de la ressource en eau.
- En dehors des parcs nationaux.
- En dehors des zones de karsts affleurant.

Il existe des systèmes d'information géographique (SIG) permettant de localiser sur un fond de plan topographique l'ensemble de ces contraintes environnementales obligatoires relatives à l'utilisation des graves de mâchefer.

14 |

Ces outils peuvent également être utilisés à des fins de traçabilité/archivage des chantiers valorisant les graves de mâchefer.



EXEMPLE DE VISUALISATION PERMETTANT D'IDENTIFIER LES PERIMETRES DE PROTECTION RAPPROCHEE DES CAPTAGES D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE VIA L'AGENCE REGIONALE DE SANTE (ARS)

CADRE GÉOTECHNIQUE

► **L'emploi et le dimensionnement des graves de mâchefer dans le domaine du BTP ont fait l'objet de plusieurs guides techniques régionaux et nationaux. Ce manuel en reprend les éléments principaux.**

L'importance du gisement normand justifie de rappeler les nombreux domaines d'applications reconnus. Parmi ceux-ci on peut citer :

Terrassements & couches de forme

Documents de références :

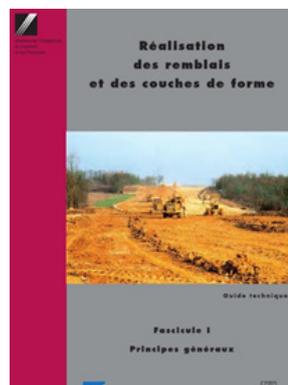
- **Le guide Technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme** (GTR 2000) [6].

Ce guide précise les dispositions constructives et les moyens matériels pour la réalisation de ces ouvrages. Il est complété par le rapport d'étude du CER de ROUEN [7] qui fournit aussi des indications sur les modalités de compactage.

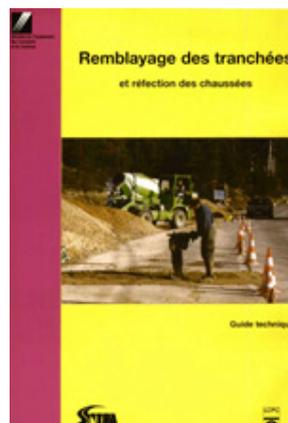
(Voir le tableau en **annexe 3** du présent manuel)

Les classes de plateformes support de chaussées recherchées par la mise en œuvre de la grave de mâchefer sont limitées aux PF2 (module $EV2 \geq 50$ MPa) et PF2qs (module $EV2 \geq 80$ MPa).

GUIDES



Le guide Technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme (GTR 2000) [6]



Le guide de remblayage des tranchées (1994) édités par le LCPC et le SETRA [8]

Couche de forme non traitée

TABLEAU IV : EXEMPLES DE DIMENSIONNEMENTS DES COUCHES DE FORME ÉLABORÉES EN GRAVE DE MÂCHEFER NON TRAITÉE

DIMENSIONNEMENT D'UNE PLATEFORME EN GRAVE DE MÂCHEFER (NON TRAITÉE AVEC UN LIANT)			
CLASSE DE PF VISÉE	CLASSE D'ARASE DE TERRASSEMENTS		
	AR1 PST1*	AR1 PST2**	AR2
	20 MPa	20 MPa	50 MPa
PF2 (50 MPa)	75 cm***	50 cm	-
PF2qs (80 MPa)	-	75 cm***	30 cm

* PST1 : Matériaux d'arase en état hydrique h ** PST2 : Matériaux d'arase en état hydrique m *** Mise en œuvre dissociée en deux couches.

► Il est généralement observé une augmentation de la portance des plateformes support de chaussées lors de la première semaine suivant la mise en œuvre.

Couche de forme traitée

Les plateformes de classe PF3 (module EV2 \geq 120 MPa) pourront être atteintes par le traitement aux liants hydrauliques de la grave de mâchefer en place ou en centrale.

Le guide technique de traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques, appliqué aux remblais et aux couches de forme de janvier 2000 (LCPC/SETRA) [8] et la note d'information CEREMA n°02 de mars 2017 [9] proposent un dimensionnement des couches de forme traitées.

16 |

TABLEAU V : EXEMPLES DE DIMENSIONNEMENTS DES COUCHES DE FORME ÉLABORÉES EN GRAVE DE MÂCHEFER TRAITÉE AUX LIANTS HYDRAULIQUES

DIMENSIONNEMENT D'UNE PLATEFORME EN GRAVE DE MÂCHEFER (TRAITÉE AVEC UN LIANT HYDRAULIQUE)			
CLASSE DE PF VISÉE	CLASSE MÉCANIQUE de la grave de mâchefer traitée	CLASSE D'ARASE DE TERRASSEMENTS	
		AR1*	AR2
		20 MPa	50 MPa
PF2qs (80 MPa)	Classe 4	35 cm	25 cm
	Classe 5	45 cm**	30 cm
PF3 (120 MPa)	Classe 4	35 cm	30 cm
	Classe 5	50 cm**	35 cm

*Le module de déformabilité minimal de l'arase pour permettre la réalisation d'une couche de forme en Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques (MTLH) est de 35 MPa.

** Mise en œuvre dissociée en deux couches.

Une étude de traitement préalable conformément au Guide de Traitement des Sols (GTS) [8] est alors nécessaire dans le but de valider la classe mécanique du mélange traité (Zone 4 généralement obtenue à 90 jours).



► Réalisation d'une plateforme en grave de mâchefer sur geotextile.



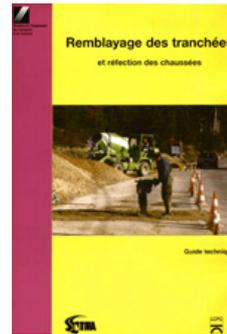
► Mise en œuvre d'enrobés à module élevé sur couche de forme en grave de mâchefer traitée aux liants hydrauliques.

Remblais de tranchées

► Les graves de mâchefer sont autorisées en enrobage, partie inférieure et supérieure de remblai.

Domaine d'emploi des MIDND			Roulement
			Base
	q2	Fondation	Assise de chaussée
	q3	Partie supérieure de remblai (PSR)	Remblai
	q4	Partie inférieure de remblai (PIR)	
q5 ou q4 	Assise et remblai latéral	Zone d'enrobage	
	Lit de pose		

COUPE TYPE DE TRANCHEE SOUS CHAUSSEE SELON NF P98-331



GUIDE

Documents de référence

- Guide de remblayage de tranchée édité en 1994 par le SETRA [10]
- Rapport d'étude du CER de ROUEN précédemment cité dans le cadre des terrassements
- Note d'information n°117 - Chaussées - Dépendances « Remblayage des tranchées et réfection des chaussées », SETRA, juin 2007 [11]

► Pour l'enrobage de la canalisation s'assurer de la compatibilité chimique du contact entre le matériau routier et le matériau de la canalisation.

18 |

Remblais contigus aux Ouvrages d'Art

En référence à la note d'information SETRA N°34 de janvier 2012 [12] relative aux remblais contigus, l'utilisation de la grave de mâchefer ne peut être envisagée qu'avec certaines dispositions constructives permettant de s'affranchir des soucis d'agressivité chimique pouvant conduire à la ruine de l'ouvrage par corrosion des armatures.

Couches de fondation des voiries

Comme indiqué précédemment, la grave de mâchefer peut être assimilée par son fuseau granulométriques à une GNT de types 2 ou 3. Toutefois leurs caractéristiques intrinsèques (LA et MDE) limitent leur emploi strictement aux couches de fondation de chaussées dont le trafic est inférieur ou égal à T4.

À SAVOIR

L'utilisation de grave de mâchefer sous dallage bâtiment est formellement déconseillée.

Pour écarter le risque potentiel de déformations géométriques de la surface des enrobés, provoquées par la formation de gels gonflants hydroxyde d'aluminium, métal contenu dans la grave de mâchefer, il est nécessaire de prévoir au-dessus de celle-ci une couverture minimale de 12 cm à 15 cm. Selon les trafics, cette couverture pourra être réalisée avec une GNT naturelle et/ou en enrobés.

COIN DU PRESCRIPTEUR

PRESCRIPTIONS UTILISABLES POUR LES APPELS D'OFFRE

► **Les éléments proposés ci-après peuvent être repris intégralement dans le cadre de l'élaboration d'un dossier de consultation des entreprises.**

Le prescripteur aura aussi avantage à se référer aux fiches d'emploi de la grave de mâchefer présentées en annexe du guide d'acceptabilité environnementale relatif aux MIDND [11] :

- **Fiche n°1 : Les remblais**
- **Fiche n°2 : Les remblais de tranchées**
- **Fiche n°3 : Les couches de forme**
- **Fiche n°4 : Les couches d'assise**

Critères environnementaux

Lors de la phase de conception, le prescripteur doit s'assurer de la conformité des conditions environnementales de l'utilisation de la grave de mâchefer au regard des limitations d'usages définies dans l'encadré de la **page 14**.

Il définit la classe environnementale retenue de la grave de mâchefer pour le projet, selon le type d'usage routier visé (1) ou (2) et au cadre environnemental de **page 13**, en référence au **tableau I** de la **page 10**.

| 19

La hauteur de remblais ne doit pas excéder plus de trois mètres en usage de type 1 et six mètres en usage de type 2.

Il doit par ailleurs exiger dans la remise des offres, la fourniture de la fiche de données environnementales qui justifie le respect de la classe retenue pour le ou les lots proposés.

Critères géotechniques

► **Points communs à tous les usages**

Les exigences produit sont celles d'un matériau de classe géotechnique F61, assimilé B4 pour le compactage, au sens de la norme **NF P11-300 [N1]**.

La teneur en eau doit se situer dans l'intervalle hydrique « *Moyen* » conformément au Guide Technique de réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) [6].

► **Usage en remblai et couche de forme**

Le dimensionnement des arases et des couches de forme de la grave de mâchefer doit respecter les spécifications des tableaux de dimensionnement **page 16**. Les performances mécaniques retenues pour la grave de mâchefer traitée aux liants hydrauliques sont celles des classes 4 ou 5 en référence au tableau C1 XI du Guide Traitement des Sols de 2000 (GTS) [8].



©Eurovia - Plate-forme de Blainville sur Orne

À SAVOIR

► Usage en remblayage de tranchées

La grave de mâchefer est autorisée en enrobage, Partie Inférieure et Supérieure de Remblais aux conditions d'études spécifiques par rapport à la nocivité des réseaux.

Le référentiel technique est celui de la norme **NF P98-331 [N3]**.

► Usage en assise de chaussée souple

La grave de mâchefer prescrite dans ce cadre doit satisfaire aux fuseaux granulométriques de type GNT2 ou GNT3, et à des caractéristiques intrinsèques définies par les essais LA et MDE dont les valeurs ne doivent pas excéder respectivement 40 et 35.

► Usage en assise de chaussée semi-rigide

La grave de mâchefer doit être traitée aux liants hydrauliques en centrale de malaxage qui doit être de classe 2 au sens de la norme **NF P98-732-1 [N5]**. L'indice Portant Immédiat à la teneur en eau de mise en œuvre doit être supérieur à 50.

Les performances mécaniques minimales définies selon le couple R_t et E sont de classe minimale T2, en référence à la norme **NF EN 14227-5 [N6]**.

Les conditions d'exécution et de contrôle de la norme **NF P98-115 [N4]** s'appliquent pour cet emploi.

COIN DU PRESCRIPTEUR

PLAN DE CONTRÔLE

Contrôle de la grave de mâchefer

ÉLÉMENTS À CONTRÔLER	CRITÈRE DE RÉCEPTION	FRÉQUENCE
Lot de grave de mâchefer	Identification du lot en IME	1u/lot/chantier
Caractéristiques environnementales du lot	Critères fonction des usages V1 (revêtus) ou V2 (recouverts) cf. valeurs limites précisées en annexe 1	1u/lot/chantier
Caractéristiques géotechniques du lot	Suivant usage (Voir tableau III)	1u/lot/chantier

Les essais de caractérisations environnementale et géotechnique en laboratoire de la grave de mâchefer sont réalisés par le producteur sur chaque lot ou selon un plan de contrôle préalablement défini.

Les résultats d'essais conduisent à l'élaboration d'une Fiche Technique Produit visant à présenter :

- **Les caractéristiques intrinsèques et de fabrication des composants** de la grave de mâchefer (fuseau granulométrique, dureté et résistance à l'usure des granulats, propreté des éléments fins).
- **Les performances mécaniques du matériau** (références de compactage à l'Optimum Proctor, teneur en eau optimale, Indice Portant Immédiat).
- **La conformité du produit** vis-à-vis de son usage en technique routière.

+ Un exemple de fiche de contrôle de la production du lot de grave de mâchefer est joint en **annexe 2**.

Contrôles sur chantier

► Le plan de contrôle général présenté dans le tableau ci-dessous est donné à titre indicatif pour un usage classique qui couvre le remblayage de tranchées à la couche de forme.

Éléments à contrôler	Moyens	Fréquence des contrôles	Critère de réception
Réception du support			
Portance sur arase de terrassement	Essai à la plaque/ Dynaplaque	1 / profil / sens de circulation	AR1 (EV2 ≥ 20 MPa) ou AR2 (EV2 ≥ 50 MPa)
Altimétrie arase	Géomètre	1/profil	Plan projet
Mise en œuvre			
Définition de l'échelon de compactage et du nombre de passes	GTR 2000	Au démarrage	Tableaux de compactage pour matériau B4 du GTR 2000
Teneur en eau	NF P94-050	3/jour	W% OPN (état hydrique « m »)
Protection de surface	Dosage surfacique à la mousse et boîte à granulats	1/jour	Enduit gravillonné
Réception de la couche de grave de mâchefer			
Altimétrie	Géomètre	1 / profil	CCTP (+/-3cm)
Portance	Essais à la plaque/ Dynaplaque	1 / profil	PF2 (EV2 ≥ 50 MPa) ou PF2qs (EV2 ≥ 80 MPa)
Qualité de compactage des remblais généraux et remblais de tranchées	Pénétromètre dynamique	1 / profil	MIDND assimilé B4 pour le compactage. Qualité de compactage selon l'usage

Pour l'utilisation en couche de fondation, on se réfèrera à la norme **NF P98-115** « Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées - Constituants - Composition des mélanges et formulation - Exécution et contrôle » [N4].

RÉFÉRENCES CHANTIERS

Nature de l'ouvrage	Département/ Maître d'Ouvrage	Chantier	Année	Nature des matériaux	Quantité
Remblais de masse – couche de forme/PF3	CD76	Giratoire RD6015/RD263 Mesnil Panneville	2014	Grave de mâchefer traitée aux liants hydrauliques	1 800 t
Couche de forme/PF2	Lotisseur privé 14	Parking résidence neuve	2014	Grave de mâchefer non traitée	4 500 t
Couche de forme/PF2	CD27	RD 830	2014	Grave de mâchefer non traitée	5 500 t
Couche de forme/PF2	CD76	RD921 Saint Pierre Les Elbeuf	2015	Grave de mâchefer non traitée	1 000 t
Couche de forme/PF2qs	ALBEA/CD76	Rétablissement de l'A150 aux Routes Départementales	2015	Grave de mâchefer traitée aux liants hydrauliques	10 000 t
Couche de forme/PF3	SAPN	A13 Diffuseur n°24 de La Maison Brûlée	2016	Grave de mâchefer traitée aux liants hydrauliques	600 t
Couche de forme/PF2	Lotisseur privé 14	Quartier résidence de l'église à Blainville sur Orne	2016	Grave de mâchefer non traitée	4 500 t
Couche de forme/PF2	Ville du havre	Piste cyclable	2017	Grave de mâchefer non traitée	4 000 t
Remblai de tranchées d'assainissement	CODAH	Montivilliers	2017	Grave de mâchefer non traitée	4 800 t



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Arrêté ministériel du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux
- [2] Guide « *Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière : Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux* », SETRA, octobre 2012
- [3] Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux
- [4] Plaquette d'information « *Les graves de mâchefer en technique routière : un matériau à valoriser !* », DGPR, juillet 2016
- [5] Guide « *Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière : évaluation environnementale* », SETRA, mars 2011
- [6] Guide Technique « *Réalisation des remblais et des couches de forme* » (GTR), LCPC-SETRA, réédition 2000
- [7] Rapport du CER de ROUEN 2009 : « *Caractérisation, mise en œuvre et contrôle du compactage des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) dans le domaine des terrassements* »
- [8] Guide technique « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques–Application à la réalisation des remblais et des couches de forme* » (GTS), LCPC/SETRA, janvier 2000
- [9] Note d'information n°2 « *Chaussées - Plateformes - Assainissement* », « *Dimensionnement des épaisseurs de couche de forme pour PF2qs* », et complément au GTR et au GTS CEREMA, mars 2017
- [10] Guide Technique « *Remblayage des tranchées et réfection des chaussées* », LCPC-SETRA, mai 1994
- [11] Note d'information n°117 - Chaussées - Dépendances « *Remblayage des tranchées et réfection des chaussées* », SETRA, juin 2007
- [12] Note d'information « *Ouvrages d'Art* » n°34 « *Construire les remblais contigus aux ouvrages d'art, murs de soutènement et culées de pont* », SETRA, janvier 2012
- [N1] **NF P11-300** « *Exécution des terrassements, classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières* »
- [N2] **NF EN 13285** « *Graves non traitées – Spécifications* »
- [N3] **NF P98-331** « *Chaussées et dépendances–Tranchées : ouverture, remblayage, réfection* »
- [N4] **NF P98-115** « *Assises de chaussées–Exécution des corps de chaussées–Constituants–Composition des mélanges et formulation–Exécution et contrôle* »
- [N5] **NF P98-732-1** « *Matériels de construction et d'entretien des routes–Fabrication des mélanges–Partie 1 : centrales de malaxage pour matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités* »
- [N6] **NF EN 14227-5** « *Mélanges traités aux liants hydrauliques–Spécifications–Partie 5 : mélanges granulaires traités aux liants hydrauliques routiers* »

ANNEXES

ANNEXE 1

► Critères à respecter pour l'utilisation en technique routière de la grave de mâchefer d'incinération d'ordures ménagères selon l'Arrêté du 18 novembre 2011

PARAMÈTRE DE COMPORTEMENT À LA LIXIVIATION Comportement à la lixiviation (**)	VALEURS LIMITEES À RESPECTER sur les quantités relarguées (en dessous)	
	MÂCHEFER V1 pour les usages de type 1 exprimée en mg/kg de matière sèche	MÂCHEFER V2 pour les usages de type 2 (ou de type 1) exprimée en mg/kg de matière sèche
As	0,6	0,6
Ba	56	28
Cd	0,05	0,05
Cr total	2	1
Cu	50	50
Hg	0,01	0,01
Mo	5,6	2,8
Ni	0,5	0,5
Pb	1,6	1
Sb	0,7	0,6
Se	0,1	0,1
Zn	50	50
Fluorure	60	30
Chlorure (*)	10 000	5 000
Sulfate (*)	10 000	5 000
Fraction soluble (*)	20 000	10 000

(*) Concernant les chlorures, les sulfates et la fraction soluble, il convient, pour être jugé conforme, de respecter soit les valeurs associées aux chlorures et aux sulfates, soit de respecter les valeurs associées à la fraction soluble.

(**) Selon NF EN 12457-2.

I 25

PARAMÈTRE INTRINSEQUE	VALEUR LIMITE À RESPECTER en contenu total
COT (carbone organique total)	30 g/kg de matière sèche
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6 mg/kg de matière sèche
PCB (polychlorobiphényles 7 congénères)	1 mg/kg de matière sèche
Hydrocarbures (C10 à C40)	500 mg/kg de matière sèche
HAP (Hydrocarbures aromatiques polycycliques)	50 mg/kg de matière sèche
Dioxines et furannes	10 ng I-TEQ _{OMS, 2005} /kg de matière sèche

ANNEXE 2

Exemple de fiche technique d'une grave de mâchefer

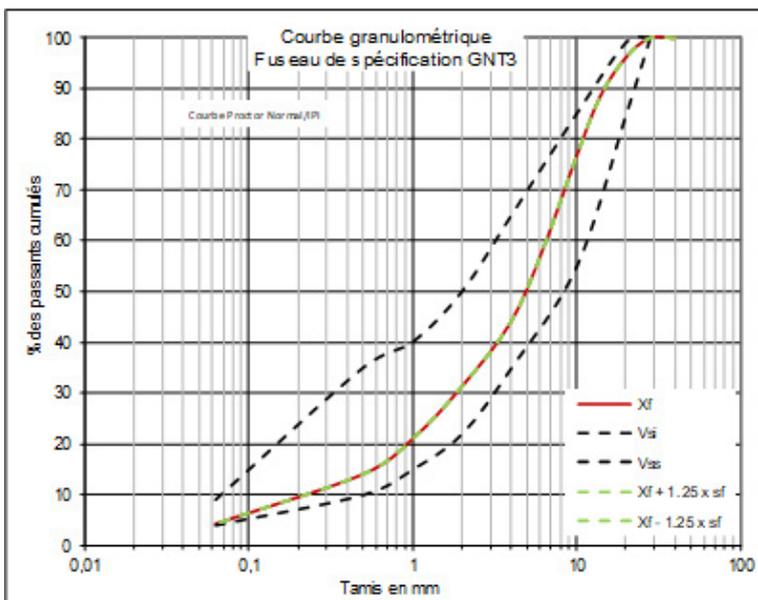
SITE DE PRODUCTION XXXX	FICHE TECHNIQUE PRODUIT
	Engagement du XXX

Produit : Grave Non Traitée 0/20mm	Stockage : N.C
Granulats : MIDND (Mâchefer d'Incinérations de Déchets Non Dangereux)	Commercialisation : Mars 2017

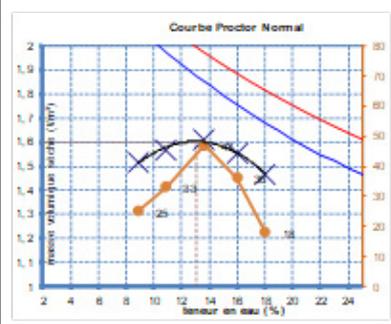
PARTIE CONTRACTUELLE		<i>Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage</i>												
Fuseaux granulométrique : 0/20mm (GNT3 NF EN 13 285)		Code granulats : E (Norme NF P 18-545 Article 7)												
Essais	Analyse granulométrique (tamis en mm)											LA	MDE	LA-M DE
	40	28	20	14	10	6,3	4	2	1	0,5	0,083 (f)	NF EN 1097-2	NF EN 1097-1	
Norme d'essais	NF EN 933-1											NF EN 1097-2 NF EN 1097-1		
V _{ss}		100	99		85		65	50	40	35	9	45	40	
V _{si}		100	85		55		35	22	15	10	4			
V _{ss+u}		100	100		88		69	54	44	37	10	48	43	
V _{si-u}		100	83		52		31	18	11	8	3			

PARTIE INFORMATIVE		<i>Résultats de production pour la période du XXX au XXX</i>												
Essais	Analyse granulométrique (tamis en mm)											LA	MDE	LA-M DE
	40	28	20	14	10	6,3	4	2	1	0,5	0,083	NF EN 1097-2	NF EN 1097-1	
Norme d'essais	NF EN 933-1											NF EN 1097-2 NF EN 1097-1		
Maximum	100	100	96	89	77	59	44	31	21	14	4,3			
Xf + 1.25 x sf	100	100	96	89	77	59	44	31	21	14	4,3			
Moyenne Xf	100	100	96	89	77	59	44	31	21	14	4,3	32	23	55
Xf - 1.25 x sf	100	100	96	89	77	59	44	31	21	14	4,3			
Minimum	40	100	96	89	77	59	44	31	21	14	4,3			
Ecart type sf														
Nb. résultats	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

26 |



<i>Autres caractéristiques</i>		
W% net moyenne	16,3	NF P 94 054
DS OPN	1,600	NF P 94 093
W% OPN	13,0	NF P 94 054
IPI	47	NF P 98 231-1
GTR 1992	F61	NF P 11-300



		Domaines d'emploi : conformément à l'arrêté ministériel du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en technique routière des mâchefer d'incinérations de déchets non dangereux MIDND. Usage routier type 1 (revêtu) et type 2 (recouvert).
--	--	--

ANNEXE 3

▶ Préconisations de compactage de mâchefer selon rapport d'étude du CER de ROUEN

État	paramètres	P1	P2	V1	V2	V3		V4		V5		VP/SP	PQ3	PQ4
h	Q/S	0,030	0,045	0,020	0,035	0,055		0,075		0,100				0,030
	e(m)	0,20	0,25	0,20	0,25	0,30	0,40	0,30	0,50	0,30	0,60			0,20
	V	5,0	5,0	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	4,0	2,0			1,0
	N	7	6	10	7	6	8	4	7	3	6			7
	Q/L	150	225	40	70	165	110	225	150	400	200			30
m	Q/S	0,030	0,040	0,020	0,035	0,050		0,075		0,090				0,025
	e(m)	0,20	0,25	0,20	0,25	0,30	0,35	0,30	0,45	0,30	0,55			0,20
	V	5	5	2,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,0	3,5	2,0			1
	N	7	7	10	7	6	7	5	6	3	6			8
	Q/L	150	200	40	70	125	100	210	140	315	180			25
s	Q/S						0,020		0,030		0,035			
	e(m)						0,20		0,30		0,35			
	V						2,0		2,0		2,0			
	N						10		10		10			
	Q/L						40		60		70			

Couche de forme 3

État	paramètres													
m	Q/S		0,020		0,015	0,025		0,035		0,045				0,015
	e(m)		0,20		0,20		0,25	0,30	0,35	0,30	0,45			0,15
	V		5,0		2,0		2,0	2,5	2,0	3,0	2,0			1,0
	N		10		14		10	9	10	7	10			10
	Q/L		100		30		50	85	70	135	90			15

TABLEAU 13 DU RAPPORT D'ETUDE DU CER [7]



REMERCIEMENTS

▶ Ces manuels ont été élaborés dans le cadre de l'Appel à Manifestation d'Intérêt du Contrat de Plan Inter-Régions (CPIER) 2015-2020 sur l'axe « *Transition vers une économie circulaire plus vertueuse en gestion des ressources naturelles* ».

Financement :

- Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME Normandie)
- Région Normandie
- Fédération Régionale des Travaux Publics de Normandie (FRTP Normandie)
- Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction (UNICEM Normandie)

Pilotage et coordination :

- Cécilia GODIN, *Fédération Régionale des Travaux Publics de Normandie*

Groupe de travail technique :

- Etienne FROMENTIN, *UNICEM Normandie*
- Vincent LABBE, *entreprise Eurovia*
- Patrice PAUMELLE, *entreprise Gagneraud Construction*
- Eric VOLLEMAERE, *entreprise Lhotellier*
- Membres du groupe de travail Laboratoires, *APAQ Normandie*

28 |

Réalisation :

- Pascal OGER, *Rincent BTP*
- Gaëtan CHAMBAT, *Rincent BTP*



**LES TRAVAUX
PUBLICS** FÉDÉRATION
NORMANDIE



Pour aller plus loin :
www.myfrtp-normandie.fr



SITE DE ROUEN : 420 avenue des Canadiens | 76 650 Petit-Couronne
SITE DE CAEN : 12 rue Ferdinand Buisson | Bâtiment PASEO | Parc Athéna | 14 280 Saint-Contest
Tél. : 02 35 61 02 71 - normandie@fnftp.fr