

GUIDE D'UTILISATION EN TRAVAUX PUBLICS

# GRAVES DE RECYCLAGE

graves recyclées de démolition et de mâchefer



version 2 - 2005

# SOMMAIRE

## INTRODUCTION 2

### I - LA QUALITÉ : UN APPORT NÉCESSAIRE

- 1 - Le matériau de recyclage de démolition 4
- 2 - Le mâchefer (MIOM) 5

### II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

- 1 - Installation d'élaboration 7
- 2 - Caractéristiques géotechniques 9
- 3 - Utilisations possibles et conditions d'emploi 12
- 4 - Spécifications de mise en œuvre 14

### III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

- 1 - Installation de maturation et d'élaboration du mâchefer 17
- 2 - Caractéristiques géotechniques et environnementales 18
- 3 - Utilisations possibles et conditions d'emploi 21
- 4 - Conditions particulières d'emploi liées à l'environnement 29
- 5 - Évolution de la technique 30

### IV - MATÉRIAUX RECYCLÉS ET MARCHÉS PUBLICS 32

### ANNEXE - EXEMPLE DE FICHE TECHNIQUE PRODUIT (FTP) 33



# INTRODUCTION



Dans une période où l'environnement prend une place de plus en plus grande, avec notamment la loi du 13 Juillet 1992 limitant à partir de Juillet 2002 le stockage des seuls déchets n'ayant pas fait d'objet de valorisation matière ou énergétique, la réglementation favorise l'emploi de matériaux recyclés, ce qui offre trois avantages :

- l'optimisation des carrières, gisements alluvionnaires et rocheux, qu'il convient de réserver aux usages adaptés à leur qualité,
- une économie de transport puisqu'il s'agit de matériaux locaux,
- la limitation des centres de stockage dont on cherche à réduire le nombre et l'usage.

Après quelques années d'usage (chantiers de mise au point et chantiers pilotes), il apparaît que les matériaux de recyclage offrent une véritable alternative technique et économique dans bon nombre d'utilisations en bâtiment et travaux publics.

Les caractéristiques de ces matériaux permettent maintenant de satisfaire à un large éventail d'exigences, depuis les simples remblais jusqu'aux assises de chaussées à trafic lourd.

L'ensemble des installations actuellement implantées en Rhône-Alpes constitue la trame d'une véritable filière industrielle qui produit chaque année :

- au moins 2,2 millions de tonnes de matériau de recyclage de démolition,
- 200 000 tonnes de Mâchefer d'incinération,

soit près de 5 à 10 % des matériaux utilisés en bâtiment et travaux publics selon les secteurs.

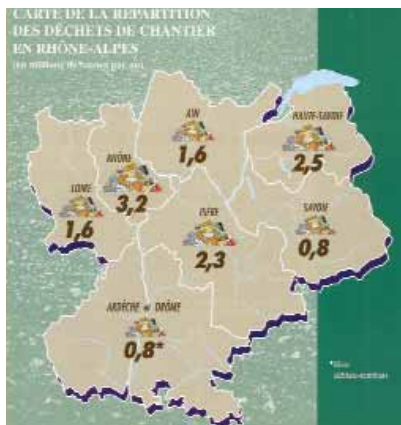
Le présent guide a pour objet d'aider les Maîtres d'Ouvrage, les Maîtres d'Œuvre et les Entreprises à tirer le meilleur parti possible de ces matériaux alternatifs sans pour autant faire concession à la qualité des ouvrages et de l'environnement.

Il répond également à la nécessité de favoriser l'emploi d'un langage commun pour l'ensemble des intervenants.

Le présent guide et un référentiel spécifique aux matériaux recyclés utilisés dans la zone géographique sont consultables et seront actualisés sur les sites Web suivants :

- |               |  |
|---------------|--|
| BTP Rhône :   | <a href="http://www.btp-rhone.ffbatiment.fr">www.btp-rhone.ffbatiment.fr</a>               |
| DRE :         | <a href="http://www.rhone-alpes.equipement.gouv.fr">www.rhone-alpes.equipement.gouv.fr</a> |
| DDE :         | <a href="http://www.rhone.equipement.gouv.fr">www.rhone.equipement.gouv.fr</a>             |
| UNICEM R. A : | <a href="http://www.unicem.fr">www.unicem.fr</a>   |

**Le présent guide a fait l'objet d'une validation auprès du CFTR - en octobre 2004**



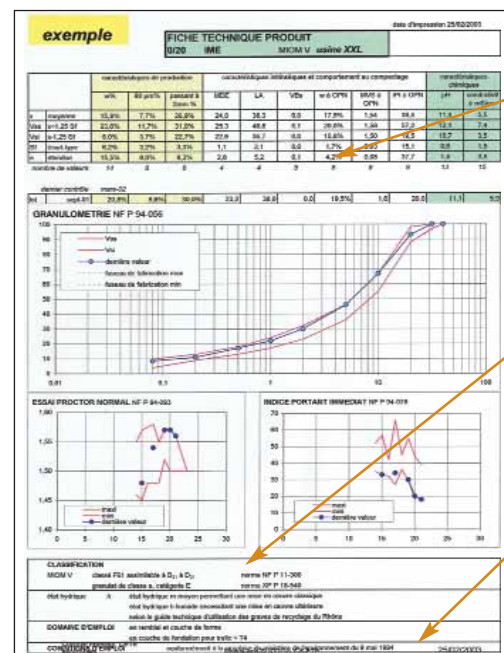
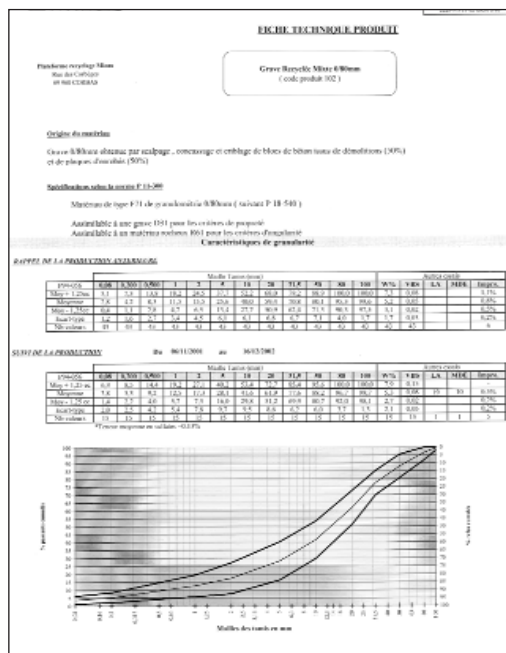
# INTRODUCTION

La mise en place de procédures d'assurance qualité est devenue une règle pour la fourniture des matériaux en travaux publics. Pour Les graves de recyclage et le mâchefer, cette procédure fait aussi partie de la base technique minimale. La fourniture de procédures d'assurance qualité et de fiches-produits associées est un gage de sécurité pour l'utilisateur de ces nouveaux matériaux.

L'exploitant établit un **Plan d'assurance qualité (PAQ)** qui définit les procédures mises en place pour assurer la qualité du produit fourni. En rapprochement des normes et guides géotechniques, l'objectif du PAQ est l'établissement d'une « **Fiche technique-produit** » caractérisant le matériau sur laquelle l'exploitant s'engage. La procédure inclut plusieurs étapes.

Cette démarche n'est pas spécifique aux matériaux de recyclage. Elle est préconisée pour les marchés publics et elle est conseillée pour les marchés privés. Elle est décrite dans la circulaire du Directeur des Routes du 22 décembre 1992 « La qualité de la route » dans le Guide technique pour l'organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassements, et le CCTG fascicule 25 - exécution des corps de chaussées.

Le domaine d'emploi des produits de recyclage est nouveau, et leur caractérisation se fait en partie par des essais existants, dont l'interprétation doit être faite avec discernement. De nouveaux essais seront mis au point dans les années à venir, qui remplaceront ou compléteront les essais d'ores et déjà utilisés, de façon à mieux prédire le comportement du matériau de recyclage dans l'ouvrage.



Caractéristiques contrôlées

Utilisation et modalité de mise en œuvre

Partie informative



# I - LA QUALITÉ : UN APPORT NÉCESSAIRE



## 1 - Le matériau de recyclage et de démolition

### Le plan d'assurance qualité de l'installation d'élaboration (PAQ)

Il doit comporter, en plus des dispositions générales du fascicule 23 « Fournitures de granulats employés à la construction des chaussées », les dispositions suivantes :

- contrôle des matériaux entrants
  - contrôle de chaque camion à l'arrivée pour vérifier la conformité de la matière brute,
  - détermination des matériaux acceptés pour recyclage (béton, brique, graves, éléments de démolition triés, parpaings de mâchefer de charbon...)
  - détection des impuretés prohibées (plâtre, amiante, plastiques, matières putrescibles, métaux...)
- élaboration
  - organisation de l'élaboration en fonction des familles de matériaux bruts (respect des différentes phases d'élaboration, sélection et stockage des produits bruts, scalpage...)
  - préparation avant élaboration, séquences de concassage, criblage, tri, recomposition, et mise en stock.
- caractérisation
  - caractérisation, contrôle et réalisation d'une fiche-produit incluant la classification spécifique du présent guide : GRO à GR4 indicé B (béton), M (mixte) ou E (enrobés)
  - pour les graves béton et mixtes, la détermination des sulfates solubles.

Pour les installations fixes, fabricant en général plusieurs produits, les fiches techniques-produits et les contrôles sont effectués conformément aux règles de contrôle des granulats.

La fiche, de moins de six mois, doit préciser l'appartenance, d'après la norme de référence choisie, à l'une des catégories définies dans le présent guide (GRO, GR1, GR2, GR3, GR4) et comprendre une partie contractuelle sur laquelle le producteur s'engage.

*Pour les installations mobiles et la fabrication sur chantier, la fiche technique produit correspond au contrôle du stock considéré comme un seul lot de fabrication.*



### Établissement du DCE et dévolution du marché

Cette phase est mise à profit par le maître d'œuvre pour définir dans le CCTP la qualité requise des ouvrages à réaliser et préciser dans le Règlement de la consultation (RC), les exigences du Schéma organisationnel du plan d'assurance qualité (SOPAQ).

### Préparation du chantier

la mise en œuvre de la démarche qualité doit se poursuivre au niveau du chantier, avec la mise en place :

- du plan d'assurance qualité du chantier,
- du plan de contrôle et son application pour que les caractéristiques des produits livrés soient conformes aux spécifications du marché,
- des conditions particulières de mise en œuvre (plan de compactage)

# I - LA QUALITÉ : UN APPORT NÉCESSAIRE

## 2 - Le mâchefer (MIOM)

### Contrôle des matériaux entrants

*pour le Mâchefer en Installation de Maturation et d'Élaboration (IME)*

Seul le mâchefer issu de fours d'incinération d'ordures ménagères, ayant fait l'objet d'une caractérisation réglementaire établissant son appartenance aux catégories « V » ou « M » peut être accepté dans une IME. L'exploitant de l'IME reçoit le mâchefer d'usine d'incinération identifiée auprès de laquelle les approvisionnements ont été contractualisés, garantissant des réceptions planifiées et un suivi qualité.

### Élaboration

Le Plan d'assurance qualité de l'IME décrit les conditions d'élaboration et de caractérisation du mâchefer. Pour cela, il présente les dispositions concernant :

- le processus d'élaboration décrivant les différentes opérations effectuées,
- l'organisation, la consistance, la fréquence du contrôle intérieur portant sur les essais nécessaires,
- Le stockage du mâchefer en lots indépendants distingués par usine et par période de production,
- l'organisation de la traçabilité.

### Caractérisation

La fiche technique produit comprend deux types de caractérisation :

- environnementale,  
L'exploitant de l'IME démontre la conformité réglementaire du matériau qu'il distribue (catégorie V)
- géotechnique.

Chaque lot de livraison est caractérisé par la granulométrie le comportement au compactage, l'état hydrique, et la référence du mois de production du mâchefer. D'autres paramètres peuvent être recherchés : T°, pH, conductivité.

Une annexe informative précise les caractéristiques complémentaires pour la mise en œuvre, le domaine d'utilisation et les règles spécifiques éventuelles.

### Établissement du Dossier de consultation des entreprises (DCE) et dévolution du marché

Cette phase est mise à profit par le maître d'œuvre pour définir dans le CCTP la qualité requise des ouvrages à réaliser et préciser dans le Règlement de la consultation (RC) les exigences du Schéma organisationnel du plan d'assurance qualité (SOPAQ).

#### le règlement de la consultation doit préciser :

- la géométrie des zones où le MIOM peut être utilisé sur le chantier ou interdit,
- les contraintes particulières de mise en œuvre et de protection des ouvrages pendant et après exécution,
- les éléments d'information à fournir par l'entreprise dans son SOPAQ :
  - origine et caractéristiques du matériau proposé,
  - dispositions de contrôle qualité prévues tant sur le plan environnemental que géotechnique,
  - indications sur les moyens matériels et les procédures d'exécution que l'entreprise compte mettre en œuvre pour satisfaire aux contraintes particulières citées dans le RC.



# I - LA QUALITÉ : UN APPORT NÉCESSAIRE



Le **Cahier des clauses techniques particulières (CCTP)** s'inspirera utilement du présent guide et stipulera que :

- le MIOM V doit être de catégorie F61,
  - les états très humide (th) ou très sec (ts) sont exclus quel que soit l'usage.
- Le **SOPAQ** est contractualisé à la notification du marché.

## Préparation du chantier

Cette phase permet à l'entrepreneur de rédiger son Plan d'assurance qualité (PAQ). Le Plan d'assurance qualité comportera au minimum :

- la Fiche technique produit (F.T.P.) caractérisant le matériau, définissant éventuellement le mélange s'il y a traitement,
- la description de la démarche qualité lors de l'élaboration pour assurer la qualité du matériau livré sur le chantier,
- les documents de suivi permettant d'assurer la traçabilité des qualités du mâchefer,
- le détail des procédures d'exécution et le descriptif des dispositifs particuliers prévus par l'entreprise pendant la mise en œuvre et après réalisation de l'ouvrage pour satisfaire aux contraintes imposées au DCE.

## Déroulement du chantier

Cette phase d'exécution et de contrôle est, pour l'essentiel, identique au cas général des chantiers routiers. Elle comporte en particulier les points suivants :

### Le maître d'œuvre :

- s'assure de l'efficacité des procédures et dispositifs mis en place par l'entreprise,
- demande, si nécessaire, à l'entreprise d'adapter son PAQ,
- s'assure des dispositions prises pour la protection de l'environnement, (notamment lors de conditions météorologiques défavorables, décalage de chantier...)

### L'entrepreneur :

- localise les zones réalisées en mâchefer en vue du dossier de récolement.

## À l'achèvement du chantier

le dossier de récolement doit comporter :

- un bilan de la qualité géotechnique et environnementale des fournitures,
- l'origine, et le lot du MIOM utilisé,
- la localisation, tonnage et position du MIOM dans l'ouvrage,
- les dispositifs de protection réalisés.

Ce dossier de récolement permettra aux maîtres d'ouvrage de prendre les dispositions nécessaires en cas de modification ou de démantèlement de l'ouvrage ou dans le cas de changement ultérieur de son environnement. Dans le cas de pose ultérieure de canalisations métalliques, les déblais de la tranchée ne devront pas être réemployés, mais seront évacués vers un centre de recyclage ou une I.M.E.

# II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

## 1 - Installation d'élaboration

Afin d'obtenir des niveaux de qualité comparables à ceux des matériaux naturels auxquels ils peuvent se substituer, les matériaux recyclés doivent être élaborés dans des centres de recyclages reconnus disposant de :

- d'une forte technicité ;
- d'une organisation rigoureuse ;
- de niveaux de concassage, de criblage et d'épuration performants.

L'organisation doit permettre :

- un contrôle d'entrée (refus des matériaux indésirables) ;
- organisation des stocks de matériaux entrants (stockage distinct) ;
- fonctionnement en continu (fabrication de GR mixte) ou par séquences.

Les installations d'élaboration peuvent être fixes ou mobiles et comporter selon les cas :

- une fonction de précriblage ;
- un ou plusieurs niveaux de concassage ;
- un ou plusieurs niveaux de criblage ;
- un ou plusieurs niveaux de défferage ;
- un poste de tri manuel ;
- un poste de tri mécanisé (aéroulique ou hydraulique).

Selon le gisement accepté en entrée et la qualité recherché, l'installation de recyclage devra être équipé de tout ou partie de ces fonctions. D'une manière générale, les installations fixes sont les plus abouties et peuvent produire plusieurs classes de granulats bien déterminés.

Les produits recyclés élaborés sont majoritairement des graves O/D et accessoirement des sables et gravillons (non pris en compte dans le présent guide)

Une procédure de contrôle qualité est impérative dans tous les cas :

- installation fixe : le processus de contrôle conduit à la fourniture d'une fiche technique produit (FTP) actualisée périodiquement ;
- installation mobile : la caractérisation correspond spécifiquement à chaque lot de fabrication.





## II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION



# II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

## 2 - Caractéristiques géotechniques

La caractérisation est établie en référence aux normes :

- sols pour les matériaux élaborés sommairement,
- granulats pour les matériaux élaborés par fractions déterminées.

Les Graves de Recyclage sont identifiées dans le présent guide selon six catégories (GR0-Sol, GR1-Sol, GR2, GR3 et GR4) et par un indice (B,E,M) en fonction de leur origine :

- **B** : Grave recyclée béton,
- **E** : Grave recyclée enrobés,
- **M** : Grave recyclée mixte.

	enrobés	bétons	autres
GR0 M GR1 M	≤ 40 %		
GR2 M GR3 M	≤ 30 %		
GR0 B GR1 B GR2 B GR3 B GR4 B	≤ 5 %	≥ 90 %	
GR0 E GR1 E	> 80 %		

Ces deux critères de classification, (catégorie et origine) influencent les modalités de mise en œuvre. Ils sont complétés par d'autres paramètres tels que : teneur en sulfates, impuretés prohibées...

Les tableaux de classification présentent l'ensemble des caractéristiques spécifiques aux graves recyclées. Le réemploi, avec ou sans traitement, de matériaux n'entrant pas dans ces classifications peut être envisagé. Leur usage devra être systématiquement accompagné d'études et de planches d'essais préalables.

- Tableau granulats : GR2 GR3 GR4
- Tableau matériaux : GR0-Sol et GR1-Sol

Une correspondance entre les normes européennes et les normes françaises antérieures est donnée en annexe.

### NOTA

La mesure des impuretés prohibées se fait sur la fraction > 8 mm à sec.

- Plastiques et putrescibles : sur le refus du tamis 8 mm, séparation manuelle des impuretés, pesage et calcul du taux d'impuretés rapporté à la masse totale de l'échantillon.
- Métaux : sur le refus du tamis 8 mm, séparation manuelle ou par aimantation, pesage et calcul du taux d'impuretés rapporté à la masse totale de l'échantillon. La séparation manuelle correspond en général à une valeur supérieure car l'opérateur ôte aussi les éléments non métalliques éventuels (aluminium, cuivre...)



Béton



Mixte



Enrobé

## II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

CLASSIFICATION COMME MATÉRIAU SELON NF P 11 300						
<b>Catégorie de graves recyclées</b>	GR0-sol			GR1-sol		
<b>Origine</b>	E : Enrobés	M : Mixte <sup>(1)</sup>	B : Béton	E : Enrobés	M : Mixte <sup>(1)</sup>	B : Béton
<b>Paramètres de nature</b>						
<b>Granularité</b>	0/D			0/D		
<b>NF P 94-056</b>	D max ≤ 150 mm			D max ≤ 80 mm		
<b>%fines (tamisat à 0,08 mm)</b>	max = 10%			max = 10%		
<b>NF P 94-056</b>						
<b>Propreté</b>	VBS < 0,20 g/100g matériau sec			VBS ≤ 0,10 g/100g matériau sec		
<b>NF P 94-068</b>						
<b>Paramètres de comportement mécanique</b>						
<b>Dureté</b>	#			LA ≤ 45 - MDE ≤ 45 <sup>(2)</sup>		
<b>LA : NF EN 1097-2 / P 18-650-2</b>						
<b>MDE : NF EN 1097-1 / P 18-650-1</b>						
<b>Caractéristique physico-chimique</b>						
<b>Teneur en sulfates solubles (plâtre)</b>	TSO <sub>4</sub> ≤ 1,3%			TSO <sub>4</sub> ≤ 0,8%		
<b>XP P 18-581</b>						
<b>Caractéristiques de fabrication</b>						
% contaminants déterminés selon la méthodologie définie par la norme : <b>NF EN 933-1</b>	Plastiques + Matières putrescibles	< 1%				
	Métaux	< 1%				
<b>indice de concassage</b>	Pas de spécification					
<b>Classement géotechnique et assimilation – Domaine d'utilisation</b>						
<b>Classement GTR (NF P 11-300)</b>	F 7			F 71		
<b>Pour le compactage : assimilation après analyses géotechniques</b>	Bi ou CjBi : Remblai			D <sub>31</sub> : Couche de forme [DC3] : Tranchée		
<p>(1) GR0M et GR1M : Pourcentage pondéral en enrobés bitumineux concassés sur la fraction 8/Dmax ≤ 40%. ( Rappel : Absence d'enrobés bitumineux fraisés)</p> <p>(2) les essais LA et MDE ne sont pas adaptés aux graves recyclées enrobés GR1E et sur la fraction enrobée des GR1 M. <b>GR0E et GR1E ( Enrobés) devront à court terme être recyclées dans la fabrication de matériaux bitumineux.</b></p>						

## II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

CLASSIFICATION SELON PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES EXTRAITES DES NF EN 13 242 & 13 285					
<b>Catégorie de graves recyclées</b>	GR2		GR3		GR4
<b>Classe granulaire</b>	D maxi = 63 mm		D maxi = 31,5 mm		D maxi = 20 mm
<b>Composition des granulats</b>	M : Mixte	B : Béton	M : Mixte	B : Béton	B : Béton
<b>Paramètres de nature</b>					
<b>Refus de tamisage</b>	OC 80		OC 85		OC 85
<b>Classe granulaire NF EN 933-1</b>	G <sub>B</sub>		G <sub>B</sub>		G <sub>A</sub>
<b>% fines (passant à 0,063 mm) NF EN 933-1</b>	LF <sub>2</sub> ≥ 2% - UF <sub>7</sub> ≤ 7%		LF <sub>2</sub> ≥ 2% - UF <sub>7</sub> ≤ 7%		LF <sub>2</sub> ≥ 2% - UF <sub>7</sub> ≤ 7%
<b>Propreté NF EN 933-9</b>	<sup>(1)</sup> VB 0/D ≤ 0,80 g/kg		<sup>(1)</sup> VB 0/D ≤ 0,80 g/kg		<sup>(1)</sup> VB 0/D ≤ 0,80 g/kg
<b>Paramètres de comportement mécanique</b>					
<b>LA : NF EN 1097- 2 / P 18-650-2</b>	LA ≤ 40 - MDE ≤ 40		LA ≤ 35 - MDE ≤ 30		LA ≤ 30 - MDE ≤ 25
<b>MDE : NF EN 1097-1 / P 18-650-1</b>	LA + MDE ≤ 70		LA + MDE ≤ 55		LA + MDE ≤ 45
<b>Caractéristique physico-chimique</b>					
<b>Teneur en sulfates solubles (plâtre) XP P 18-581</b>	TSO <sub>4</sub> ≤ 0,4%				
% contaminants déterminés selon la méthodologie définie par la norme : <b>EN 933-1</b>	Plastiques + Matières putrescibles	< 0,6%		< 0,3%	
	Métaux	< 0,5%		< 0,2%	
<b>Caractéristiques de fabrication</b>					
<b>Indice de concassage : IC NF EN 933-5 / P 18-622-5</b>	> 50%	> 90%	> 50%	> 90%	> 90%
<b>Assimilation à la classe géotechnique – Domaine d'utilisation</b>					
<b>Pour le compactage : assimilation à la classe géotechnique</b>	[DC3] : Couche de fondation et de base [DC3] : Tranchée				
GR2 M et GR3 M : Pourcentage pondéral en enrobés bitumineux concassés sur la fraction 8 / Dmaxi ≤ 30% GR2 B, GR3 B et GR4 B : Pourcentage pondéral en enrobés bitumineux concassés sur la fraction 8 / Dmaxi ≤ 5% (Rappel : Absence d'enrobés bitumineux fraisés) (1) VB : Valeur de Bleu sur le 0/2 mm, rapportée au 0/D mm si D ≤ 50 mm ou rapportée au 0/50 mm si D > 50 mm					



## II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

### 3- Utilisations possibles et conditions d'emploi



#### Graves GR0-Sol et GR1-Sol

La grave GR0-Sol est utilisable en remblai et la grave GR1-Sol en couche de forme et en tranchée.

Les conditions d'emploi sont déterminées par référence au G.T.R. pour la famille « matériaux de démolition -F7 » pour laquelle les dispositions applicables sont celles de la famille de sols « naturels » dont les paramètres d'identification géotechnique sont les mêmes.

Pour la GR0-Sol, la détermination des conditions d'emploi nécessite la connaissance de l'état hydrique du matériau.

#### Graves GR2, GR3 et GR4

Leur emploi en assise de chaussées est possible, sous forme GNT.

Les spécifications sont données en fonction de :

- la position de la couche dans l'assise (fondation ou base)
- du trafic selon l'échelle suivante.



Classe de trafic (une voie)	T5	T4	T3	T2	T1	T0	TS	TEX
	MJA*	0	25	50	150	300	750	2000

\* moyenne journalière annuelle de poids lourds par voie

**Remarque générale :** Toutes les graves recyclées de démolition sont utilisables en remblai sous bâtiment **après incorporation d'une couche interstitielle de 10 cm en GNT naturelle.**

#### Les tableaux :

**Le tableau des utilisations** indique les classes normatives (NF P 11-300), reprises dans le GTR, qui sont possibles en fonction des usages pour l'ensemble des graves recyclées.

**Le tableau**, spécifique à la GR1-Sol, donne les épaisseurs pour l'emploi en couche de forme.

# II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

## Utilisations des GR et leur assimilation à un comportement géotechnique pour leur mise en œuvre

Catégorie de graves recyclées		GR0-Sol			GR1-Sol			GR2		GR3		GR4
Origines		Enrobé	Mixte	Béton	Enrobé	Mixte	Béton	Mixte	Béton	Mixte	Béton	Béton
Terrassements	Remblai Objectif de densification : q4	Bi ou C1Bi	Bi ou CjBi	Bi ou CjBi	D2 ou D3	D2 ou D3	D2 ou D3					
	Couche de forme Objectif de densification : q3					D21 ou D31	D21 ou D31					
						D21 ou D31	D21 ou D31					
	Couche de fin réglage Objectif de densification : q3					D21 <sup>(1)</sup>	D21 <sup>(1)</sup>	[DC3] <sup>(1)</sup>	[DC3] <sup>(1)</sup>	[DC3]	[DC3]	[DC3]
Tranchées	PIR Objectif de densification : q4					[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]
	PSR Objectif de densification : q3					[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]
Assises	Couche de fondation Objectif de densification : q2							[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]
	Classe de trafic poids lourds							≤T4	≤T3	≤T3	≤T2	≤T2
	Couche de base Objectif de densification : q1							[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]	[DC3]
	Classe de trafic poids lourds							≤T4	≤T3	≤T3	≤T3	≤T2

(1) Si D ≤ 31,5 mm pour GR1-sol et Dmax = 31,5 pour GR2

**Classes de plate-forme**  
 50 MPa ≤ PF2\* < 80 MPa (Prescription Grand Lyon)  
 80 MPa ≤ PF2+ < 120 MPa (Prescription Grand Lyon)  
 120 MPa ≤ PF3 < 200 MPa  
**[DC3]** [Difficulté de Compactage] :  
 l'épaisseur de la couche sera fonction du Dmax de la GR2 ou 3

**Légende**

Usage traditionnel  
 Usage peu recommandé  
 Impossible

## Détermination des épaisseurs de graves recyclées 0/80 mm (GR1-Sol) en couche de forme

Nature de la PST en place	Classe d'ARase ARI	n° de la PST	Nature de la couche	Classement du matériau	Classe de la Plate-forme (PFj) immédiate	Épaisseur en m	Classe de la Plate-forme (PFj) immédiate	Épaisseur en m	Classe de la Plate-forme (PFj) immédiate	Épaisseur en m
Terrain naturel ou remblai	AR1 20 à 50 MPa	n°1	Couche de forme	GR1M	50 MPa ≤ EV2 < 80 MPa	0.70	80 MPa ≤ EV2 < 120 MPa	0.90	120 MPa ≤ EV2 < 200 MPa	
		n°2				0.50		0.70		
		n°3				0.40		0.50		
		n°4				0.30		0.40		
		n°5				0		0.30		
	AR2 50 à 120 MPa	n°1		0		0				
		n°2		0.65		0.85				
		n°3		0.45		0.65				
		n°4		0.35		0.45				
		n°5		0.25		0.35				
	AR1 20 à 50 MPa	n°3	GR1B		0	0.25	0.25		0.65	
	AR2 50 à 120 MPa	n°4			0	0.25	0.25		0.45	
		n°5			0	0	0		0.35	

Épaisseur de 0 m : hors couche de fin réglage

**NOTA :** Dans le but de garantir la compacité et la pérennité des enrobés constituant les couches d'assises, la classe de plate-forme PF 2 est divisée en deux sous classes telles que :  
 50 MPa ≤ PF2\* < 80 MPa : sous classe réservée uniquement aux graves bitumes (GB)  
 80 MPa ≤ PF2+ < 120 MPa : sous classe réservée aux enrobés à module élevé (EME)

## II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

### 4 - Spécifications de mise en œuvre



Le réglage et le réglage ne présentent pas de particularités. Dans chaque cas, l'atelier de compactage est choisi en fonction des données de chantier (épaisseur de la couche, débit).

La définition des moyens de compactage et l'application sur chantier doivent tenir compte de **deux caractéristiques spécifiques** :

- en tranchée, un classement en difficulté de compactage [DC3] du fait du frottement anguleux et de la texture « rêche »,
- une moindre résistance mécanique à la fragmentation et à l'attrition des « grains » issus du concassage du fait d'éléments bitumineux.

L'utilisation de cylindre trop lourd (type V5), pour le tout béton (GR-B) peut provoquer un farinage en surface de la couche, par création ou remontée d'éléments fins.

L'emploi de grave recyclée en assise de chaussée impose une attention particulière pour conserver un état de surface satisfaisant afin d'éviter la difficulté d'accrochage d'une couche en matériau bitumineux ou pour ne pas créer une interface fragile entre fondation et base.

Prescriptions de compactage en terrassements (assimilation à la classe D3*)														
Utilisation en remblai (objectif de densification : q4)														
Catégorie de l'engin de compactage		P1	P2	P3	V1	V2	V3		V4		V5		PQ3	PQ4
Énergie de compactage moyenne	Q/S	0.045	0.070	0.100	0.035	0.055	0.085		0.115		0.140		0.050	0.065
	e	0.25	0.35	0.50	0.20	0.35	0.30	0.50	0.30	0.70	0.35	0.85	0.30	0.40
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	3.5	2.0	4.5	2.0	5.0	2.0	1.0	1.0
	N	6	5	5	6	7	4	6	3	7	3	7	6	6
	Q/L	225	350	500	70	110	300	170	520	230	700	280	50	65
Utilisation en couche de forme (objectif de densification : q3)														
Q/S			0.025	0.035	0.020	0.025	0.040		0.055		0.070			0.025
e			0.25	0.35	0.20	0.25	0.30	0.40	0.30	0.55	0.30	0.70		0.25
V			5.0	5.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.5	2.0	5.0	2.0		1.0
N			10	10	10	10	8	10	6	10	5	10		10
Q/L			125	175	40	50	120	80	195	110	350	140		25
<p>* Ceci impose que le Dmax soit inférieur au 2/3 de l'épaisseur de la couche compactée.            Ce tableau est extrait du Guide technique : Réalisation des remblais et couches de forme (GTR) Fascicule II : Annexes techniques SETRA-CPC – Septembre 1992</p>														

Compacteurs de la classe correspondante inaptes à compacter le matériau considéré

## II - GRD - GRAVE RECYCLÉE DE DÉMOLITION

### Prescriptions de compactage en assises de chaussées (assimilation à la difficulté de compactage [DC3])

Objectifs de densification	Épaisseur compactée (en cm)	Paramètres d'utilisation	Q/l pour les compacteurs vibrants Mono cylindres VMi ou Tandems Vti en t/h.m			
			VM1 ou VT1	VM2 ou VT2	VM3 ou VT3	VM4 ou VT4
q1	30	Vitesse	1,5	2	3,5	5
		Q/l	8	22	56	102
	20	Vitesse	1,5	2,5	4	6
		Q/l	12	25	50	78
q2	30	Vitesse	1,5	2,5	4,5	6,5
		Q/l	24	63	150	267
	20	Vitesse	1,5	2,5	4,5	7,5
		Q/l	36	70	130	195

Pour les utilisateurs des compacteurs vibrants n'ayant pas de certificat d'aptitude technique du matériel (CATM) mais classés d'après la norme NF P 98-736

Rappel Q/l : Débit théorique sur la largeur du compacteur (l) (à retenir en cas d'absence de CATM)

Ce tableau est issu du Guide technique : Assises de chaussées (Annexes 3 p.77) SETRA-LCPC – Décembre 1998

### Prescriptions de compactage en tranchées (assimilation à la difficulté de compactage [DC3])

Objectifs de densification	Paramètres	PV1	PV2	PV3	PV4	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4	PN0	PN1	PN2	PN3	PP1	PP2
q4	e		15	20	25		20	30	40		20	30	40		30
	Q/L		40	50	75		25	50	65		35	55	70		30
	n		5	5	5		8	6	6		5	5	5		4
	V		1.3	1.3	1.5		1.0	1.0	1.0		0.9	0.9	0.9		0.4
q3	e			15	15			15	20		15	20	20		
	Q/L			20	30			15	25		15	20	25		
	n			10	8			10	8		10	10	7		
	V			1.3	1.5			1.0	1.0		0.9	0.9	0.9		
q2	e			15	20			15	20			15	20		
	Q/L			10	20			10	15			15	20		
	n			16	16			14	12			10	10		
	V			1.3	1.5			1.0	1.0			0.9	0.9		

Compacteurs de la classe correspondante inaptes à compacter le matériau considéré

15 Les cellules grisées contenant des données correspondent à des cas techniquement possibles mais économiquement peu réalistes

Ce tableau est issu du Guide technique : Remblayage des tranchées SETRA- LCPC – Mai 1994

#### Rappels :

e : Épaisseur maximale de la couche compactée [en cm]

Q/L : Débit théorique (Q) par unité de largeur de compactage (L) [en m<sup>3</sup>/h/m]

n : Valeur du nombre de passes à réaliser par couche [1 passe = 1 aller ou 1 retour]

V : Vitesse moyenne donnée V du matériel pour l'épaisseur maximale [en km/h]





# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

L'utilisation de grave de mâchefer est rendue possible par une circulaire du ministère de l'environnement du 9 mai 1994, qui en précise les conditions d'emploi. (voir pages 20 et 29)

## 1 - Installation de maturation et d'élaboration du Mâchefer

### Installations de maturation et d'élaboration

Le mâchefer produit en usine d'incinération de résidus urbains transite par une installation de maturation et d'élaboration (IME) permettant son stockage temporaire et sa préparation avant utilisation en technique routière. Les IME sont des installations classées pour la protection de l'environnement, soumises à autorisation préfectorale.

### Élaboration du mâchefer d'incinération des ordures ménagères

Le mâchefer fait l'objet d'une élaboration qui résulte de sa maturation naturelle durant le stockage et d'une préparation physique en installation permettant d'obtenir des caractéristiques géotechniques compatibles avec les exigences d'emploi en technique routière. Cette préparation comprend le scalpage, le concassage, le criblage, la démétallisation (ferreux et non-ferreux).



# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

## 2 - Caractéristiques géotechniques et environnementales

Le mâchefer constitue le principal résidu solide de l'incinération des ordures ménagères. Sa production atteint 200 000 t/an en Rhône-Alpes.

### Caractéristiques géotechniques

#### Aspect et caractéristiques

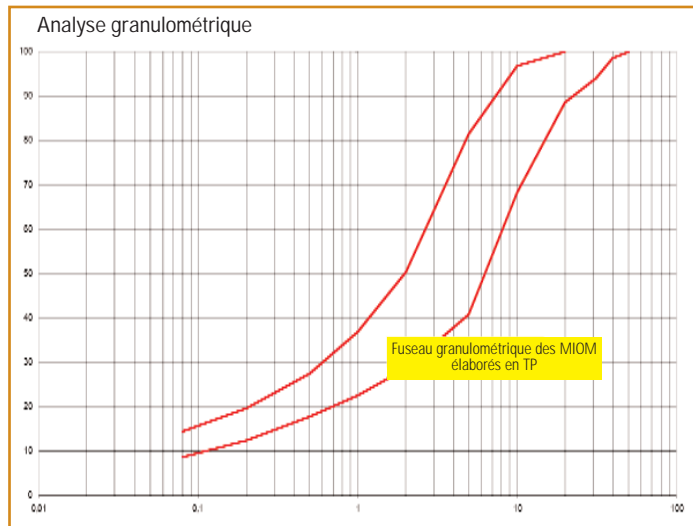
La grave de mâchefer élaboré se présente sous la forme d'une grave calibrée à granulométrie continue (tableau), d'aspect scoriacé et de couleur grisâtre. Les modalités d'incinération et de préparation conduisent à un mâchefer utilisable en T.P., c'est-à-dire :

- bien incinéré (taux d'imbrûlés < à 5%)
- criblé et éventuellement concassé pour être calibré,
- démétallisé,
- valorisable (appartenant à la catégorie « V »)

#### Classification

La classification fait référence à la norme NF P 11- 300 Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et couches de forme qui range le mâchefer dans la famille F6. Ce classement renvoie au guide technique pour la réalisation des terrassements (GTR), qui distingue trois sous-classes selon les définitions du tableau ci-contre.

Il a été constaté sur des mâchefers humides une chute de portance en cours de compactage qui se traduit par un « matelassage ». Cette susceptibilité à l'eau s'explique par une simple mise en saturation. Ce phénomène disparaît après dissipation rapide de la pression interstitielle, après quelques heures, à la différence d'une argile.



### Intervalles des caractéristiques géotechniques des graves de mâchefer en Rhône-Alpes

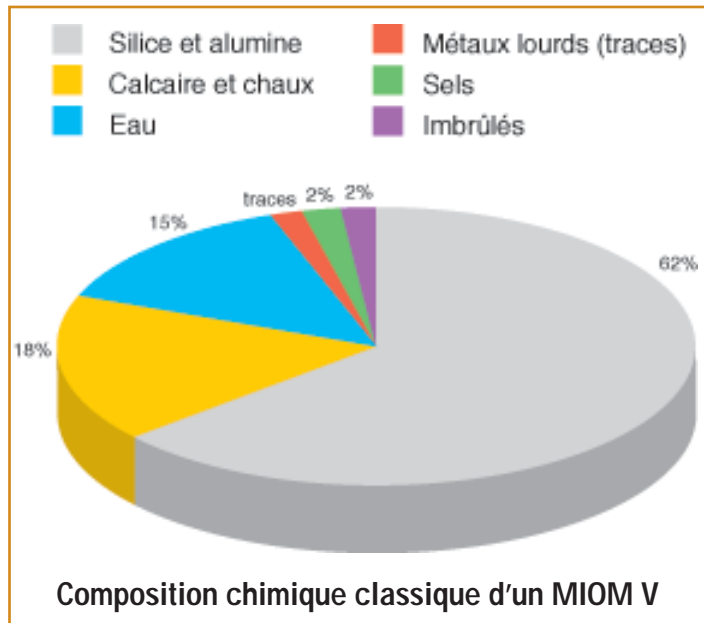
Granularité	0/31,5 mm
Teneur en fines	5 % ≤ Passant à 0,08 mm ≤ 12 %
Passant à 2 mm	20 % ≤ Passant à 2 mm ≤ 45 %
Propreté	0,01 ≤ VBS ≤ 0,04
Résistance mécanique sur la fraction 10/14 mm	35 ≤ LA ≤ 50 15 ≤ MDE ≤ 45
Teneur en eau	10 % ≤ W ≤ 20 %
Optimum Proctor normal (OPN)	Teneur en eau : 14 % ≤ W OPN ≤ 18 %
	1,6 ≤ MVAs OPN ≤ 1,8 Mg/m <sup>3</sup>
	30 ≤ IPI ≤ 60
Optimum Proctor modifié (OPM)	Teneur en eau : 12,5 % ≤ W OPM ≤ 15 %
	1,75 ≤ MVAs OPM ≤ 1,87 Mg/m <sup>3</sup>

### III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

EXTRAIT DU GTR				
Famille		Paramètres significatifs du point de vue du réemploi		
F6 Mâchefers d'incinération des ordures ménagères		Taux d'imbrûlés et éléments solubles, qualité du déferrage, du criblage et de l'homogénéisation, durée du stockage, présence ou non de cendres volantes de combustion		
F6 Mâchefers d'incinération des ordures ménagères	<p>Ces matériaux peuvent avoir des compositions assez variables dans le temps et suivant la technologie des usines de fabrication. En particulier, leur teneur en matières putrescibles peut varier de 2 à 25 % suivant le degré d'incinération, et leur teneur en éléments métalliques de 5 à 25 % suivant que le matériau a subi ou non, un traitement de démétallisation (trilage magnétique, le plus souvent).</p> <p>Il convient également de connaître leurs teneurs en éléments toxiques solubles. Les cendres volantes provenant du traitement de fumées de combustion ne doivent en aucun cas être mélangées aux mâchefers, sous peine de supprimer toute possibilité de les réutiliser en technique routière (risques élevés de pollution). Après stockage de plusieurs mois, il se développe une prise qui leur confère un comportement de matériau rocheux tendre (R43).</p> <p>D'une manière générale, il convient d'éviter l'utilisation de ces matériaux au contact des ouvrages d'art et dans les zones inondables.</p>	<p>Les paramètres déterminants pour ces matériaux sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• le degré d'incinération mesuré par la perte au feu à 500°C (PF),</li> <li>• le fait qu'ils aient subi ou non une élaboration (déferrage, criblage, homogénéisation) et un stockage de plusieurs mois,</li> <li>• leurs teneurs en éléments toxiques solubles.</li> </ul>	PF ≤ 5 % Teneurs en éléments toxiques solubles inférieures aux valeurs maximales autorisées par la réglementation en vigueur.	F61 Mâchefers bien incinérés, criblés, déferrés, peu chargés en éléments toxiques solubles et stockés durant plusieurs mois.
			F62 idem F61, mais de fraîche production.	F62 idem F61, mais de fraîche production.
			PF < 5 % Teneurs en éléments toxiques solubles supérieures aux valeurs maximales autorisées par la réglementation en vigueur.	F63 Mâchefers mal incinérés ou n'ayant subi aucune élaboration ou fortement chargés en éléments toxiques solubles.



# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER



## Caractéristiques environnementales

### Composition des mâchefers en sortie d'usine

Silice, alumine et calcium représentent la base de la structure minérale du mâchefer. Les métaux ferreux constituent environ 10% avant déferrage, l'eau de l'ordre de 25%. La composition du mâchefer est susceptible d'évoluer dans l'avenir, du fait du :

- développement des collectes sélectives,
- l'évolution des techniques et procédés de combustion.

Cette évolution sera progressive, et sera suivie grâce aux analyses périodiques de composition des mâchefers et aux contrôles environnementaux.

### Classification environnementale du mâchefer

Le ministère chargé de l'Environnement a défini des règles qui permettent de classer le MIOM en vue d'une utilisation en technique routière. La circulaire du 9 mai 1994 impose un contrôle des caractéristiques du mâchefer à l'aide d'un test de lixiviation normalisé (NF- EN 12457-2) et d'une mesure d'imbrûlés.

L'application de cet essai, conduit à classer le mâchefer dans l'une des trois catégories suivantes :

- « V » valorisable en travaux publics
- « M » maturable, valorisable après maturation et élaboration
- « S » stokable, non utilisable, destination centre de stockage de déchets (CSD)

*Pour être classable le MIOM doit présenter moins de 5% d'imbrûlés.*



### Catégories du mâchefer en fonction du potentiel polluant selon la circulaire du 9 mai 1994

Test de lixiviation NF-X 31 210	Mâchefer "V"	Mâchefer "M"	Mâchefer "S"
Fraction soluble	<5%	<10%	>
mercure lixiviable	<0,2mg/kg	<0,4mg/kg	>
Plomb lixiviable	<10mg/kg	<50mg/kg	>
Cadmium lixiviable	<1mg/kg	<2mg/kg	>
Arsenic lixiviable	<2mg/kg	<4mg/kg	>
Chrome lixiviable	<1,5mg/kg	<3mg/kg	>
Sulfate lixiviable	<10000mg/kg	<15000mg/kg	>
Carbone organique total lixiviable	<1500mg/kg	<2000mg/kg	>

# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

## 3 - Utilisations possibles et conditions d'emploi

### Avertissement

#### Référentiel technique et réglementaire

Le Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme (GTR 1992) complété par des dispositions figurant dans la note d'information N°103 du SETRA (août 1997), définit les conditions d'emploi du mâchefer.

La circulaire du ministère de l'Environnement du 9 mai 1994, et ses annexes, définissent les conditions environnementales d'emploi du mâchefer. Celles-ci sont développées au chapitre « Conditions particulières d'emploi liées à l'environnement ».

### Utilisation en remblai

#### Conditions générales d'emploi

La grave de mâchefer F61 est utilisable pour la réalisation de remblai routier (chaussées et parkings) auquel peuvent être assimilés :

- le remblai de tranchées d'assainissement (pour des chantiers mettant en œuvre plus de 500 tonnes ou 500 Mg)
- les plates-formes sous bâtiment, en intercalant entre la future dalle béton et la grave de mâchefer une couche de grave non traitée naturelle de 10cm au minimum.

Les conditions générales d'emploi en remblai sont détaillées dans les tableaux correspondants.

#### Situation météorologique

Il s'agit de la situation météorologique constatée durant l'approvisionnement et la mise en remblai du mâchefer. Celle-ci est codifiée par des symboles ++, +, = et -, qui expriment le sens dans lequel a tendance à varier la teneur en eau.

#### Conditions d'utilisation

Action sur la teneur en eau.

Il s'agit des différentes techniques proposées pour agir sur la teneur en eau du mâchefer approvisionné. On distingue :

- l'aération du mâchefer, solution qui a été retenue pour les mâchefers humides lorsque les conditions météorologiques sont évaporantes (-)
- l'arrosage simple durant la mise en œuvre. Cette opération qui ne nécessite pas l'apport de grandes quantités d'eau n'a pour objectif que de maintenir l'état hydrique du mâchefer lorsque les conditions météorologiques sont évaporantes (-)



## III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER



- l'humidification du mâchefer dans la masse. Cette opération qui est facilement réalisable en centrale de malaxage est délicate à exécuter sur chantier. Pour cette raison, elle n'a pas été retenue ici comme méthode opérationnelle pour le réemploi des mâchefers en état sec.

### Épaisseur de régalage, compactage

Dans le cas général, l'épaisseur de régalage n'est limitée que par la capacité de l'atelier de compactage. Un régalage en couches minces (épaisseur de 20 à 30 cm) est cependant recommandé lorsque l'on souhaite tirer un profit maximum de la situation météorologique pour aérer ou humidifier le mâchefer.

Pour le compactage, trois niveaux d'énergie sont distingués : faible, moyen et intense. Il s'agit d'une indication qualitative sur le niveau d'énergie de compactage requis.

Les données quantitatives répondant précisément au cas de chantier considéré (couple mâchefer - compacteur) figurent dans le tableau de compactage pour l'utilisation des mâchefers en remblais.

Dans le cas général, un compactage correspondant à un niveau d'énergie « moyen » est suffisant.

Pour le mâchefer humide, un compactage « faible » doit être appliqué pour éviter leur mise en saturation et éviter les phénomènes de « matelassage » et un compactage « intense » est nécessaire pour le mâchefer sec, plus difficile à compacter.

### Comportement au compactage

Le MIOM est un matériau dont le frottement interne est élevé du fait de sa composition : particules scoriacées à texture granuleuse, verre et éventuellement résidus d'éléments métalliques anguleux. Ce caractère « frottant » lui procure l'avantage, lorsque la teneur en eau n'est pas excessive, d'avoir une bonne portance et une excellente traficabilité.

### Prescriptions

L'objectif de densification est qualité q4, ce qui correspond par couche élémentaire à une densité moyenne  $\geq 95$  % de la densité de référence Proctor normale et à une densité fond de couche  $\geq 92$  % de cette même référence. Ces valeurs sont à considérer comme des repères et ne doivent pas être retenues comme prescriptions de compactage (non pertinence de la référence Proctor du fait de sa trop grande variabilité pour une même origine de mâchefer).

### III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

CLASSEMENT DU MÂCHEFER POUR UNE UTILISATION EN REMBLAI ET COUCHE DE FORME						
Famille selon la norme NF P 11-300	Classement selon le GTR	Caractérisation selon		Classement selon circulaire du 9 mai 1994	Sous classe	Description
		la nature	l'état hydrique			
F 6	F-61	Dmax < 31,5 mm	IPI < 10 (W > 1,3 WOPN)	Catégorie « V »	F61 th	Il s'agit de MIOM : - bien incinéré - criblé - déferré - démétallisé - maturé  classé V selon la circulaire du 9 mai 1994
		Passant à 2 mm < 45 %	1,1 WOPN ≤ W ≤ 1,3 WOPN (10 ≤ IPI ≤ 20)		F61 h	
		Passant à 0,08 mm ≤ 12 %	0,8 WOPN ≤ W ≤ 1,1 WOPN (IPI > 20)		F61 m	
		VBS < 0,2	0,6 WOPN ≤ W ≤ 0,8 WOPN (IPI > 20)		F61 s	
		LA ≤ 45* MDE ≤ 45*	W < 0,6 WOPN		F61 ts	
	F-62		<i>Non concerné</i>			

NOTA 1 : LA\* et MDE\* : les seuils fixés ne concernent que les MIOM utilisés en couche de forme non traitée.  
NOTA 2 : Pour définir l'état hydrique, les paramètres inscrits en gras sont ceux dont le choix est à privilégier.



### III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

CONDITION DE MISE EN ŒUVRE DE LA GRAVE DE MÂCHEFER EN REMBLAI				
Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblais
<b>F61 th</b>	<b><i>Mâchefer normalement inutilisable en l'état (résultat d'un mauvais stockage)</i></b>			
<b>F61h</b>	Ce mâchefer est sensible à la situation météorologique. Il a une faible portance et est sujet au « mate-lassage » ce qui conduit à déconseiller l'emploi en PST*	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisante
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Réemploi en l'état Compactage faible
		—	évaporation importante	Aération pour profiter de la réduction de teneur en eau Couches minces Compactage moyen
<b>F61m</b>	Ce mâchefer est sensible à la situation météorologique. La bonne caractéristique de portance à court terme (frottement interne élevé) permet d'envisager l'emploi en PST	+	pluie	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisante
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Réemploi en l'état Compactage moyen
		—	évaporation importante	Utilisation en l'état Compactage moyen
<b>F61s</b>	L'effet négatif de la faible teneur en eau de ce mâchefer nécessite une compensation par application d'un niveau d'énergie de compactage intense. L'humidification dans la masse pour changer l'état du mâchefer est possible mais difficile à réaliser. Elle n'a donc pas été retenue comme solution opérationnelle.	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisante
		+	pluie faible	Couches minces Compactage moyen
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Réemploi en l'état Compactage intense
		—	évaporation importante	Arrosage pour maintien de l'état Compactage intense
<b>F61ts</b>	<b><i>Mâchefer inutilisable en l'état</i></b>			
* La partie supérieure des terrassements (PST) correspond sensiblement au mètre supérieur du remblai. En complément des qualités requises pour le corps du remblai, un matériau utilisé en PST doit présenter de bonnes caractéristiques de portance après mise en œuvre. Au même titre que pour les matériaux naturels comparables, le mâchefer F61h ne répond pas à cette exigence, ce qui conduit à déconseiller son emploi en PST.				

# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

## TABLEAU DE COMPACTAGE POUR L'UTILISATION DU MÂCHEFER EN REMBLAI

Compacteur		à pneus			vibrant à cylindres lisses						VP1 à VP5	SP1 et SP2	Plaque vibrante	
		P1	P2	P3	V1	V2	V3		V4				V5	PQ3
Énergie de compactage faible	Q/S	0.090	0.130	0.200	0.060	0.095	0.145						0.065	0.100
	e	0.30	0.45	0.60	0.30	0.40	0.30	0.60					0.20	0.30
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.5	5.0	2.5					1.0	1.0
	N	4	4	3	5	5	3	5					3	3
Q/L	450	650	1000	120	240	725	365					65	100	
Énergie de compactage moyenne	Q/S	0.050	0.080	0.120	0.030	0.050	0.075		0.100					0.050
	e	0.25	0.35	0.45	0.20	0.30	0.30	0.45	0.30	0.60				0.20
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	3.0	2.0	4.0	2.0				1.0
	N	5	5	4	7	6	4	6	3	6				4
Q/L	250	400	600	60	100	225	150	400	200				50	
Énergie de compactage intense	Q/S		0.040	0.060		0.030	0.040		0.055		0.065			
	e		0.20	0.30		0.20		0.30	0.35	0.40	0.30	0.50		
	V		5.0	5.0		2.0		2.0	2.5	2.0	3.5	2.0		
	N		5	5		7		8	7	8	5	8		
Q/L		200	300		60		80	140	110	230	130			

Q/S (m)  
e (m) compactée  
V (km/h)  
N nombre de passes (1 passe = 1 aller ou 1 retour)  
Q/L (m³/h.m)

VP 1 à VP 5 : compacteurs vibrants à pieds dameurs  
SP 1 et SP 2 : compacteurs statiques à pieds dameurs

# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER



## Utilisation en couche de forme

### Conditions d'emploi

Les conditions particulières d'emploi en remblai sont applicables pour une utilisation en couche de forme. On entend par grave de mâchefer le matériau non traité défini comme F61 dans le chapitre précédent et qualifié « V » à la suite d'une élaboration dans une IME.

Au niveau du comportement au gel compte tenu des résultats des essais de gonflement réalisés sur mâchefers et de l'environnement hydrique favorable imposé par les contraintes environnementales, on pourra considérer le mâchefer non traité comme peu gélif pour la conception de projets.

### Protection

Comme toute couche de forme elle doit être protégée si la première couche d'assise n'est pas rapidement réalisée, de manière à éviter une modification de l'état hydrique du matériau et à le protéger des agressions du trafic de chantier. Un enduit gravillonné classique répond au besoin.

### Dimensionnement

On peut souligner les points suivants :

- le dimensionnement se fait en fonction de la rigidité voulue à court et long terme. Pour un matériau dans un bon état de teneur en eau (F61m), les modules statiques ou dynamiques constatés sont supérieurs à 50 MPa pour des couches de forme d'épaisseur moyenne (30 à 50 cm) avec une arase de bonne qualité.
- on observe généralement une augmentation sensible de la rigidité après plusieurs mois, une fois le matériau couvert (par carbonatation entre autres). Cette évolution est variable, selon des critères difficiles à déterminer.

### Compactage

L'objectif de compactage normalement visé est la qualité q3 (densité moyenne  $\geq 98,5$  % OPN et densité fond de couche  $\geq 96$  % OPN).

Comme pour l'emploi en remblai, la valeur de densité est à considérer comme un repère mais ne peut être retenue comme une prescription de compactage. Celle-ci doit porter sur l'adéquation matériau-matériel et sur les paramètres définissant les modalités de compactage ainsi que dans le résultat de l'OPN du mâchefer livré.

Pour la conduite du chantier de mise en œuvre, il convient de souligner deux points :

- l'importance de la teneur en eau pour une bonne mise en œuvre du matériau,
- la fragilité du matériau.

L'emploi de matériels trop lourds (V5) ou la multiplication excessive du nombre de passes peut entraîner, une évolution granulométrique en surface nuisible à la qualité de l'interface.

### III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

#### DÉTERMINATION DES ÉPAISSEURS DE GRAVE DE MÂCHEFER EN COUCHE DE FORME

Nature de la PST en place	Classe d'ARase AR i	n° de la PST	Nature de la couche	Classement du matériau	Classe de Plate Forme (PF) visée à long terme	Épaisseur en m	Classe de Plate Forme (PFj) visée à long terme	Épaisseur en m	Classe de Plate Forme (PFj) visée à long terme	Épaisseur en m
Terrain naturel ou remblai	AR 1 20 à 50 MPa	n°1	Couche de forme	F61 m ou F61 s	PF2* <sup>(1)</sup> 50 MPa ≤ EV2 < 80 MPa	0.85	PF2+ <sup>(1)</sup> 80 MPa ≤ EV2 < 120 MPa		PF 3 120 MPa ≤ EV2 < 200 MPa	
		n°2				0.65		0.85		
		n°3				0.55		0.65		
	AR 2 50 à 120 MPa	n°3				0.45		0.55		
		n°4				0		0.45		
		n°5				0		0		

Épaisseur 0 m : hors couche de fin réglage

(1) **Nota** : Dans le but de garantir la compacité et la pérennité des enrobés constituant les couches d'assises, la classe de plate-forme PF2 est divisée en deux sous-classes telles que :

PF2\* : 50 MPa ≤ PF2\* < 80 MPa : sous classe réservée uniquement aux graves bitumes (GB)

PF2+ : 80 MPa ≤ PF2+ < 120 MPa : sous classe réservée aux enrobés à module élevé (EME)

**Important** : tout état hydrique autre que **m (moyennement humide)** du MIOM V ne permet pas d'obtenir la classe de **Plate-Forme immédiate PF2** pour l'épaisseur indiquée.

#### COMPACTAGE POUR L'UTILISATION DE GRAVE DE MÂCHEFER EN COUCHE DE FORME

Matériau	Compacteur	P2	P3	V2	V3	V4		V5	
F61 m	Q/S	0.025	0.035	0.020	0.030	0.040		0.050	
	e	0.20	0.30	0.20	0.30	0.35	0.40	0.30	0.50
	V	5.0	5.0	2.0	2.0	2.5	2.0	3.5	2.0
	N	8	9	10	10	9	10	6	10
	Q/L	125	175	40	60	100	80	175	100

Q/S (m)  
e (m) compactée  
V (km/h)  
N nombre de passe (1 passe = 1 aller ou 1 retour)  
Q/L (m³/h.m)

les rouleaux vibrants à pieds dameurs (VPi), les compacteurs statiques à pieds dameurs (SPi), les plaques vibrantes (PQi) ne conviennent pas pour le compactage du matériau F61

# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER



## Emploi en assise de chaussée

### Modalités d'utilisation

Les conditions particulières d'emploi en remblai sont applicables pour une utilisation en assises de chaussée de faible trafic PL (T4, T5).

### Dimensionnement

Le présent guide préconise le rattachement à la classification de la norme granulats fondée sur les caractéristiques de fabrication (granularité, propreté, angularité...) et des caractéristiques intrinsèques (résistances mécaniques à la fragmentation et à l'usure) des grains constitutifs. Les valeurs observées régionalement pour ces caractéristiques conduisent à qualifier le mâchefer en tant que granulat, comme une grave O/D :

- calibrée généralement à 20 ou 31,5 mm,
- propre (VBS < 0,10),
- généralement de classe « a »,
- de catégorie « E » (résistances mécaniques: LA < 45 et MDE < 45 et (LA + MDE) < 80),
- présentant un frottement interne élevé du fait d'une morphologie scoriacée à texture granuleuse avec débris de verre et éventuellement résidus d'éléments métalliques anguleux,
- comportement peu gélif.

En tant que produit, la grave de mâchefer est assimilable à une grave non traitée.

Les caractéristiques géotechniques de la grave de mâchefer non traitée limitent son emploi strictement à la couche de fondation de chaussées dont le trafic est inférieur ou égal à T4 (rappel : 25 < T4 < 50 P.L./jour/sens). Dans cette application, une couverture suffisante sur la grave de mâchefer (de l'ordre de 5 cm) en GNT naturelle est préconisée.

### Compactage

En ce qui concerne le compactage des couches d'assise on visera un objectif de densification q2.

Comme pour les autres emplois, la valeur de densité est à considérer comme un repère mais ne peut être retenue comme une prescription de compactage. Celle-ci doit porter sur l'adéquation matériau-matériel et sur les paramètres définissant les modalités de compactage tels qu'ils sont fixés dans le tableau ainsi que dans le résultat de l'OPM de la grave de mâchefer livrée.



# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER

## 4 - Conditions particulières d'emploi liées à l'environnement

### Protection contre les venues d'eau

L'emploi des mâchefers « V » est possible en remblai compacté jusqu'à 3 mètres de hauteur, sans aucun dispositif d'infiltration et à condition qu'il y ait en surface :

- soit un revêtement étanche (revêtement routier, parking, dalle, ...)
- soit un recouvrement végétal avec un substrat d'au moins 0,5 mètre.

En utilisation routière, pour limiter l'infiltration d'eau dans le remblai, il est recommandé de réaliser l'assainissement du TPC avec des ouvrages revêtus et d'assurer au niveau des accotements une évacuation correcte des eaux pluviales (accotements revêtus ou dérasés). Les talus de remblai seront rapidement protégés par mise en place de terre végétale et engazonnement. Une pente de talus de 3/2 ( $h = 3$ ,  $v = 2$ ) peut être envisagée.

La procédure de chantier devra réduire autant que faire se peut l'exposition prolongée de ce matériau aux intempéries en saison hivernale. Pour limiter cette exposition, les modalités d'approvisionnement du chantier devront être prévues pour éviter tout stockage intermédiaire. En cas contraire, on adoptera des dispositions de protection vis-à-vis des intempéries en cas d'arrêt prolongé des travaux (bâchage).

### Protection du milieu

La mise en place du mâchefer doit être effectuée de façon à limiter le contact direct avec les eaux météoriques, superficielles et souterraines.

- L'utilisation du mâchefer doit se faire en dehors des périmètres de protection rapprochée des captages d'alimentation en eau potable,
- ainsi qu'à une distance minimale de 30 m de tout cours d'eau. À défaut, des précautions lors du chantier peuvent être envisagées,
- mis en œuvre à une distance minimale de 50 cm entre la base du mâchefer et le niveau des plus hautes eaux connues (PHEC), ou de la nappe phréatique.

Le mâchefer ne doit pas servir pour la réalisation de systèmes drainants. Les dispositifs de drainage doivent être conçus de manière à éviter tout risque de venue d'eau permanente dans le remblai.

# III - MIOM - GRAVE DE MÂCHEFER



## Traçabilité

Afin d'éviter l'éparpillement de ce matériau, on privilégiera son emploi dans des chantiers importants, afin d'en favoriser une bonne traçabilité. Dans le Rhône, il est vivement recommandé de proscrire l'emploi de mûchefer sur des chantiers mettant en œuvre des quantités ou lots inférieurs à 500 Mg (ou t).

## Corrosion

Pour se prémunir contre les risques de corrosion par contact :

- l'emploi de mûchefer ne doit pas servir pour le remblayage de tranchées comportant des éléments métalliques,
- l'emploi de mûchefer en remblai contigu aux ouvrages métalliques ou en béton armé nécessitera l'interposition de dispositifs ou matériaux pour assurer la protection des ouvrages,
- l'emploi de mûchefer pour réaliser des sols renforcés à armatures métalliques est déconseillé.

## 5 - Évolution de la technique



L'élargissement de l'emploi de la grave mûchefer traité avec la prise en compte de ses caractéristiques mécaniques est une orientation souhaitée par les différents partenaires socio-économiques. Les solutions qui se développent concernent des traitements particuliers aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés et sont du domaine de l'innovation et de l'expérimentation.

D'autre part, la recomposition consiste à incorporer au MIOM « V » un matériau complémentaire non lié dans le but de rectifier ses caractéristiques géotechniques et de donner une ossature au mélange, améliorant le compactage et la sensibilité à l'eau.

*Référence* : Un mélange MIOM-GRD a été utilisé avec succès dans le cadre du chantier de la rue du Bordelais à Saint-Priest (69).

Dans tous les cas, le mûchefer doit être classé « V » avant mélange et les conditions environnementales d'emploi du matériau recomposé sont celles du mûchefer.

Pour le traitement par liant, compte tenu des résultats obtenus en laboratoire et de la difficulté d'appréhender le comportement et les caractéristiques des mélanges, le développement de ces techniques nécessite des chantiers innovants.

Dans ce cadre l'entrepreneur doit fournir à l'appui de son offre une étude justifiant des performances mécaniques à court et long terme des mûchefers traités.

Elle doit être réalisée sur une grave de mûchefer de même origine et de même process d'élaboration que celui employé sur le chantier.

L'expérimentation doit faire l'objet d'une convention spécifique en vue de déboucher sur une validation.

# IV - MATÉRIAUX RECYCLÉS ET MARCHÉS PUBLICS

Le présent guide démontre que les matériaux recyclés sont propres à être employés pour de multiples usages. Simplement, dans certains cas, ils demandent quelques précautions, techniquement faciles à maîtriser.

Leur emploi s'inscrit dans une logique de développement durable (préservation des ressources, diminution des besoins en stockage définitif), sans pour autant présenter d'inconvénient, ce qui est l'objectif du présent guide.

En conséquence, les marchés publics ne doivent pas en entraver l'utilisation. Au contraire, les maîtres d'ouvrage publics peuvent encourager à y avoir recours, de façon volontariste, sous réserve que cette exigence ne se traduise pas dans les faits comme une clause discriminatoire en faveur d'un ou deux fournisseurs.

Il est rappelé que l'article 18 de la loi du 15 juillet 1975 (code de l'environnement L-541-33) interdit de refuser un produit de recyclage sur le seul fait de son origine. Ce sont donc les caractéristiques présentées dans la fiche technique produit (FTP) qui sont l'outil d'acceptation ou non d'un matériau dans un ouvrage de construction.

## Cas courant :

Les matériaux recyclés élaborés et caractérisés sont assimilables à des matériaux de carrière, et conduisent pour la plupart des usages à un dimensionnement comparable de la structure routière.

Le CCTP doit être rédigé de façon à permettre cette utilisation. Notamment il est recommandé d'exprimer le plus clairement possible le niveau de performances mécanique à atteindre à court et long terme, plutôt que d'indiquer des clauses de mise en œuvre des graves qui ne seraient pas applicables à tous les matériaux proposés.

Dans le cas général, la réponse d'une entreprise à un appel d'offre avec une grave de recyclage n'est pas une variante si cela ne change pas le dimensionnement de l'ouvrage et le quantitatif du bordereau estimatif. Le cas courant correspond donc à l'obligation de fourniture d'une FTP actualisée, ce qui peut être simplement précisé dans le CCTP.

## Cas des variantes :

Dans le cas où la proposition d'utilisation de grave de recyclage conduit à un changement de dimensionnement de la structure ou à des dispositions particulières de mise en œuvre, cela peut correspondre à une variante.

Il est rappelé que, par défaut de stipulations particulières, le code des marchés publics prévoit que les variantes sont autorisées.

Si, pour des raisons fondées, le maître d'ouvrage veut limiter les possibilités de variante, il est vivement recommandé de laisser ouverte la possibilité aux entreprises d'en proposer une avec l'emploi de matériaux recyclés, à charge pour elles d'en définir les conditions (dimensionnement, dispositions relatives à la mise en œuvre). Elles pourront utilement s'inspirer en ce sens du présent guide.



## IV - MATÉRIAUX RECYCLÉS ET MARCHÉS PUBLICS



### Cas d'un maître d'ouvrage volontariste

En application d'une stratégie environnementale, un maître d'ouvrage peut aider à promouvoir l'utilisation de graves de recyclage, par l'un ou l'autre des moyens suivants :

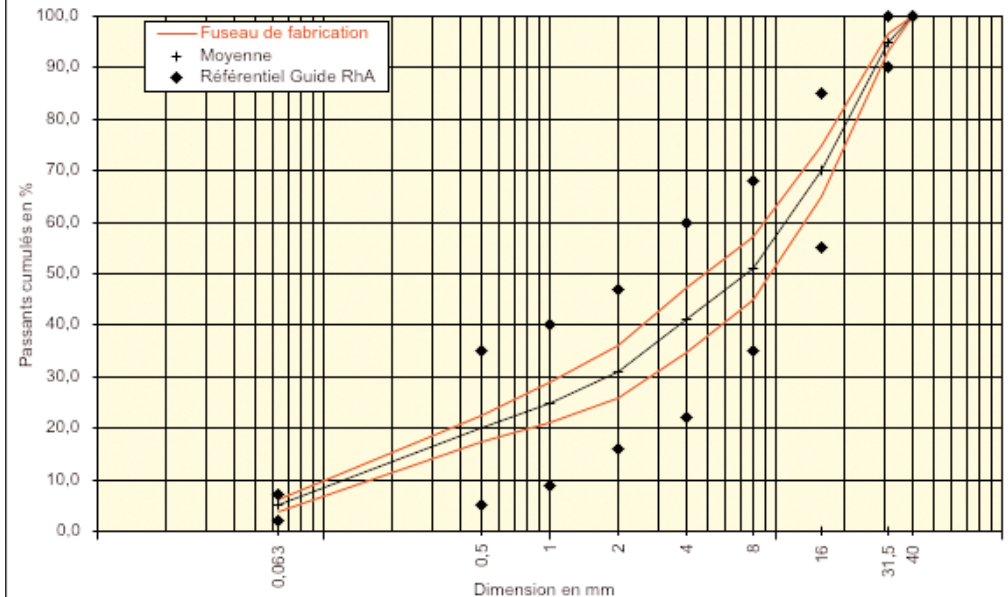
- baser le projet sur une solution de base en grave de recyclage,
- consulter sur deux options techniques, dont l'une en grave de recyclage,
- enfin, le code des marchés publics permet d'inscrire au règlement des consultations des objectifs environnementaux liés à l'objet de la construction. La minimisation des impacts globaux (économie de ressources...) ou locaux (minimisation des transports...) peut permettre cette promotion.

Dans ce cas, il convient de vérifier au préalable :

- que cela ne conduise pas à constituer un critère discriminatoire susceptible de fausser le jeu de la concurrence,
- que les volumes exigés soient compatibles, sur la période des travaux, avec les capacités de production des fournisseurs. Dans le cas contraire, il sera recommandé de limiter l'exigence de fourniture de matériaux issus du recyclage à une proportion du chantier.

# ANNEXE - exemple de fiche technique produit (FTP)

LOGO		Plate-forme de recyclage de X		Fiche Technique Produit													
ENTREPRISE		Arrêté préfectoral du jj/mm/aaaa		Date de création : jj/mm/aaaa													
Producteur :	Plate-forme de recyclage de X																
Granulats :	Grave recyclée mixte 0/31,5 mm GR3 M																
Composition :	Matériaux recyclables de démolition Mixte : Béton-Enrobés																
Assimilation :	GNT type A de Difficulté de Compactage [DC3]																
Utilisations :																	
Terrassement : Couche de fin réglage																	
Assises : Couches de fondation et de base																	
Tranchées : Partie Inférieure de Remblai(PIR) et Partie Supérieure de Remblai(PSR)																	
<b>Partie contractuelle</b>																	
Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteurs'engage																	
Classe granulaire	Référentiel				Catégorie												
0 / 31,5	Guide d'utilisation des graves de recyclage Rhône-Alpes				GR3 M												
	0,063	1	2	4	8	16	31,5	40	W%	VB 0/D	LA	MDE	LA+MDE	TSQ <sub>a</sub>	IP	IC	%enrobés
VSS	7	35	40	47	60	68	85	100	##	0,8	35	30	55	0,2	0	> 90	30
VSI	2	5	9	16	22	35	55	90	##								
<b>Partie informative</b>																	
Résultats de production																	
du jj/mm/aaaa au jj/mm/aaaa																	
	0,063	1	2	4	8	16	31,5	40	W%	VB 0/D	LA	MDE	LA+MDE	TSQ <sub>a</sub>	IP	IC	%enrobés
xf+1.25ec	6,3	23	29	36	47	57	75	96,8	##								
moy xf	5	20	25	31	41	51	70	95	##	2	0,5	22	16	38	0,1	0	> 90
xf-1.25ec	3,8	18	21	26	35	45	65	93,3	##								



Date d'édition : jj/mm/aaaa



