

L'expérience française dans l'utilisation des co-produits industriels

The French experience in the use of byproducts



PAVEMENT PRESERVATION & RECYCLING SUMMIT

PPRS PARIS 2015
FEBRUARY 22-25

Michel
GITZHOFFER
AFOCO



Un maillon fort de l'économie circulaire



Promouvoir l'utilisation des co-produits industriels dans tous les secteurs de l'industrie et plus particulièrement les travaux publics et la route, depuis 1995

Un co-produit industriel ?



Un co-produit industriel est un déchet qui apparaît au cours d'un process industriel pour la fabrication d'un produit fini

- Laitiers d'usines sidérurgiques, de fraîche production et de stock
- Résidus de bauxite
- Cendres de centrales thermiques
- Schistes de mines
- Mâchefers d'usines d'incinération
- Sables de fonderies
- Revêtements réfractaires

Un co-produit industriel ?

LAITIERS SIDERURGIQUES

› Fabrication 1 Tonne de fonte



0,3 Tonne de Laitier de Haut-Fourneau
LHF (Blast Furnace Slag)



› Fabrication 1 Tonne d'acier



0,12 Tonne de Laitier d'Acierie Electrique LAFE
(Electric Arc Furnace)



Un co-produit industriel ?



SCHISTES DE MINE

› Schistes miniers

› Résidus de bauxite



Un co-produit industriel ?

CENDRES DE CENTRALE THERMIQUE



› Cendres volantes



Un co-produit industriel ?

MACHEFERS D'USINES D'INCINERATION

Graves de mâchefers : données nationales



Chiffres nationaux	
Tonnage annuel de déchets non-dangereux incinérés	14 millions
Tonnage annuel de MIDND* produits	3 millions
Tonnage annuel de MIDND* valorisé	2 millions
Nombre d'IME (Installations de Maturation et d'Elaboration)	71
Législation en vigueur	Arrêté Ministériel du 18 Novembre 2011

*MIDND : Mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux

Source : Projet de plaquette CEREMA de sensibilisation des acteurs au recyclage des MIDND

Le gisement des co-produits industriels en France

Matériaux	Production annuelle	Stocks historiques
Laitiers de hauts fourneaux (cristallisés et granulés)	3 400 000 T/an	25 000 000 T
<i>Fraiche production laitiers cristallisés</i>	<i>400 000 T/an</i>	
<i>Fraiche production laitiers granulés</i>	<i>3 000 000 T/an</i>	
Laitiers d'aciérie filière électrique	750 000 T/an	1 000 000 T
Laitiers d'aciérie de conversion	1 250 000 T/an	16 000 000 T
Cendres volantes	700 000 T/an	8 000 000 T
Schistes		13 000 000 T
Mâchefers	3 000 000 T/an	
Résidus de Bauxite	300 000 T/an	10 000 000 T
Réfractaires usagés	50 000 T/an	?
Sables de fonderie	300 000 T/an	?
TOTAL	9 750 000 T/an	73 000 000 T

La valorisation des co-produits industriels



PRODUIRE DES MATERIAUX ALTERNATIFS DE QUALITE

- Des opérateurs spécialisés
- Des installations d'élaboration d'une haute technicité
- Des matériaux performants
- Procédures de contrôle dans le respect des normes techniques

Produire des matériaux alternatifs de qualité



Des opérateurs
spécialisés

18 entreprises
spécialisées
performantes



Produire des matériaux alternatifs de qualité



Des installations d'élaboration d'une haute technicité

Installées à proximité des sites de production

Production industrielle en flux continu



LAITIERS



CENDRES VOLANTES



BAUXALINE

Produire des matériaux alternatifs de qualité

Des installations d'élaboration d'une haute technicité

Installées à proximité des sites de production

Production industrielle en flux continu



1. Après maturation, les mâchefers sont calibrés par passage dans un **trommel 0-40 mm**.



2. Un système de **soufflerie** permet de séparer les éléments imbrûlés.



3. En tout, il y a 5 étapes de **défarraillage par overband** et 2 **systèmes à courants de Foucault** pour enlever les métaux non-ferreux.



4. Les graves de mâchefers sont enfin **stockés sous halle** afin d'être commercialisé à la juste teneur en eau.

Produire des matériaux alternatifs de qualité

Démarche de qualité
Contrôle des matériaux
dans le respect des
normes techniques

- Caractéristiques intrinsèques: masse volumique, résistances mécaniques (Los Angeles et Micro-Deval), résistance au gel
- Caractéristiques du produit: granulométrie, propreté, aplatissement, teneur en fines
- Caractéristiques spécifiques (laitiers): stabilité volumique, désintégration du silicate bicalcique, désintégration du fer, teneur en sulfates



Caractéristiques géotechniques des laitiers : des performances recherchées et reconnues!



- Respect des normes produits granulats et graves pour chaussées
- Résistances mécaniques élevées, constantes et homogènes
- Insensibilité à l'eau et au gel
- Densité élevée adaptée à certains usages
- Matériaux anguleux, frottants et drainants

Les laitiers sidérurgiques trouvent leurs applications dans tous les domaines de la construction routière.

Innover et faire évoluer les techniques

Schéma d'élaboration des laitiers

Extraction des laitiers en fusion



Phases de refroidissement



Déferisation, concassage-criblage



- Intervenir auprès du producteur industriel pour améliorer la qualité des coproduits
- Développer des process industriels innovants

Innover et faire évoluer les techniques

- Innovation soutenue et permanente pour élaborer de nouveaux matériaux
- Travaux de recherche en laboratoire
- Réalisation de chantiers expérimentaux
- Information et formation des utilisateurs



Protéger l'environnement

- Traçabilité totale du producteur jusqu'à l'utilisateur (démarche de transparence)
- Contrôle des matériaux dans le respect des normes environnementales

Guide méthodologique sur les matériaux alternatifs

Guide d'application sur les laitiers sidérurgiques

Guide d'application sur les mâchefers



Mars 2011



Octobre 2012



Octobre 2012

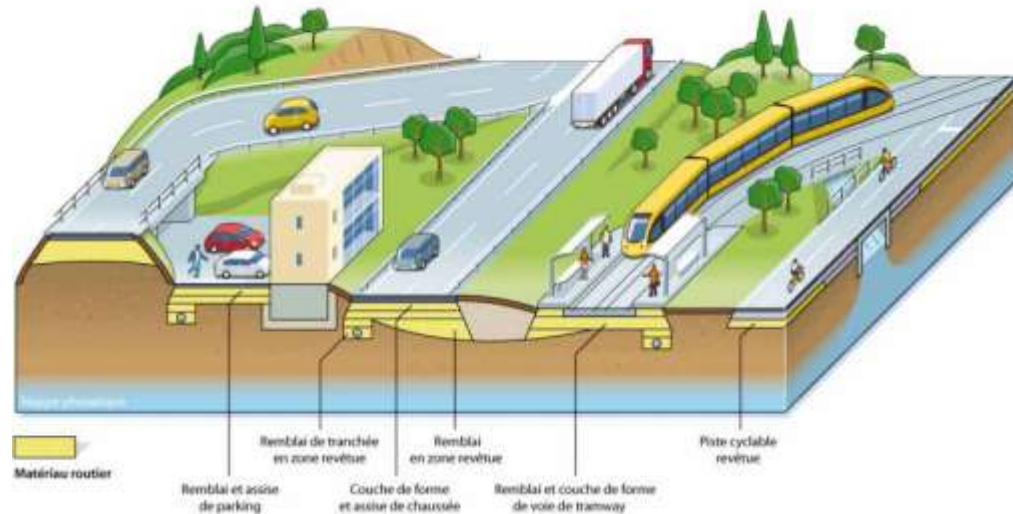
Protéger l'environnement

Guide d'application sur les laitiers sidérurgiques : 3 types d'utilisations

Essai de lixiviation norme NF EN 12457 - 4

Paramètre (lixiviation NF EN 12457-4)	Valeur limite à respecter (en mg/kg de matière sèche)		
	Usages routiers de « Type 1 »	Usages routiers de « Type 2 »	Usages routiers de « Type 3 »
As/Arsenic	0,6	0,6	0,6
Ba/Baryum	36	25	25
Cd/Cadmium	0,05	0,05	0,05
Cr total/Chrome total	4	2	0,6
Cr ^{VI} /Chrome hexavalent	1,2	0,6	-
Cu/Cuivre	3	3	3
Hg/Mercure	0,01	0,01	0,01
Mo/Molybdène	5,6	2,8	0,6
Ni/Nickel	0,5	0,5	0,5
Pb/Plomb	0,6	0,6	0,6
Sb/Antimoine	0,08	0,08	0,08
Se/Sélénium	0,5	0,4	0,1
Zn/Zinc	5	5	5
F/Florures	60	30	13
Cl/Chlorures	10000	5000	1000
SO ₄ ²⁻ /Sulfates	10000	5000	1300

Usages routiers "type 1"



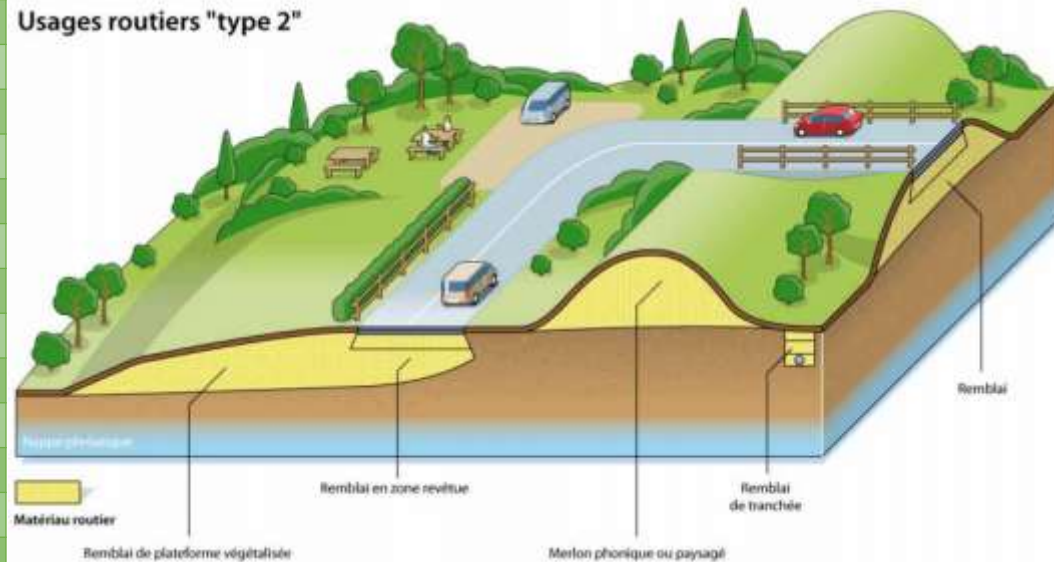
Protéger l'environnement

Guide d'application sur les laitiers sidérurgiques : 3 types d'utilisations

Essai de lixiviation norme NF EN 12457 - 4

Paramètre (lixiviation NF EN 12457-4)	Valeur limite à respecter (en mg/kg de matière sèche)		
	Usages routiers de « Type 1 »	Usages routiers de « Type 2 »	Usages routiers de « Type 3 »
As/Arsenic	0,6	0,6	0,6
Ba/Baryum	36	25	25
Cd/Cadmium	0,05	0,05	0,05
Cr total/Chrome total	4	2	0,6
Cr ^{VI} /Chrome hexavalent	1,2	0,6	-
Cu/Cuivre	3	3	3
Hg/Mercure	0,01	0,01	0,01
Mo/Molybdène	5,6	2,8	0,6
Ni/Nickel	0,5	0,5	0,5
Pb/Plomb	0,6	0,6	0,6
Sb/Antimoine	0,08	0,08	0,08
Se/Sélénium	0,5	0,4	0,1
Zn/Zinc	5	5	5
F/Florures	60	30	13
Cl/Chlorures	10000	5000	1000
SO ₄ ²⁻ /Sulfates	10000	5000	1300

Usages routiers "type 2"



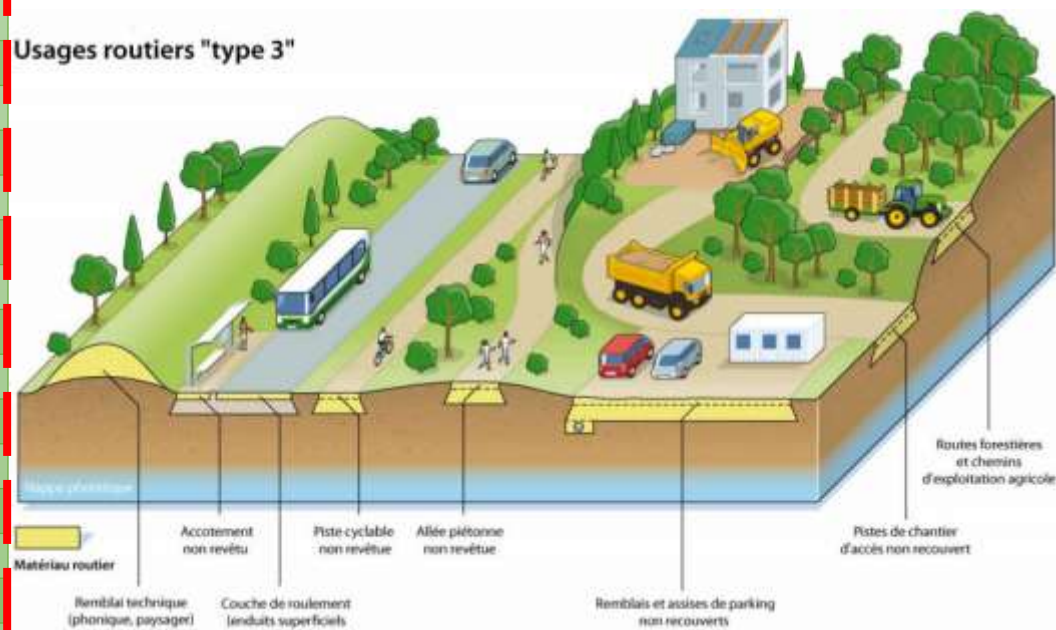
Protéger l'environnement

Guide d'application sur les laitiers sidérurgiques : 3 types d'utilisations

Essai de lixiviation norme NF EN 12457 - 4

Paramètre (lixiviation NF EN 12457-4)	Valeur limite à respecter (en mg/kg de matière sèche)		
	Usages routiers de « Type 1 »	Usages routiers de « Type 2 »	Usages routiers de « Type 3 »
As/Arsenic	0,6	0,6	0,6
Ba/Baryum	36	25	25
Cd/Cadmium	0,05	0,05	0,05
Cr total/Chrome total	4	2	0,6
Cr ^{VI} /Chrome hexavalent	1,2	0,6	-
Cu/Cuivre	3	3	3
Hg/Mercure	0,01	0,01	0,01
Mo/Molybdène	5,6	2,8	0,6
Ni/Nickel	0,5	0,5	0,5
Pb/Plomb	0,6	0,6	0,6
Sb/Antimoine	0,08	0,08	0,08
Se/Sélénium	0,5	0,4	0,1
Zn/Zinc	5	5	5
F/Florures	60	30	13
Cl/Chlorures	10000	5000	1000
SO ₄ ²⁻ /Sulfates	10000	5000	1300

Usages routiers "type 3"



Exemples d'utilisation en technique routière



Les laitiers sidérurgiques

Le liant routier SIDMIX



Les gravillons pour enrobés, enduits et ECF (enrobés coulés à froid)



Les cendres volantes

Le liant GARDALITHE



Les mâchefers d'incinération

Les graves de mâchefers



Exemples d'utilisation en technique routière



Laitiers sidérurgiques

Valorisation de laitiers LD et HF en techniques routières

Liant routier SIDMIX[®]
développé en 2005



Liant formulé à partir de
**95 % de co-produits
industriels (laitiers)**



LHF granulé et broyé : $50 \pm 5 \%$

Laitier LD broyé : $40 \pm 5 \%$

Gypse : $5 \pm 1 \%$

› Le SIDMIX[®] est fabriqué en usine et livré prêt à l'emploi sur chantier



Exemples d'utilisation en technique routière



Laitiers sidérurgiques

Valorisation de laitiers LD et HF en techniques routières

Le SIDMIX[®] et ses constituants sont contrôlés suivant la NF P 15-108

- › Le SIDMIX[®] est utilisé dans les applications suivantes :
 - Traitement des sols → dosage : 5 à 7 % (pré-traitement CaO : 1 à 2 %)
 - Traitement des graves → dosage : 3.5 à 4.5 %



Exemples d'utilisation en technique routière

Laitiers sidérurgiques

Valorisation de laitiers LD et HF en techniques routières

- Le SIDMIX[®] a été utilisé en 2012 en assises de chaussée : RD 939 (France)
- 8 500 t de SIDMIX[®] ont été utilisés pour traiter une grave calcaire (Stinkal 0/20)
- 185 000 t de GTLH ont été mises en œuvre sur le chantier



Exemples d'utilisation en technique routière



Laitiers sidérurgiques

Laitier de Neuves Maisons - 54



- Le laitier de Neuves-Maisons est issu d'un four électrique qui recycle de la ferraille pour fabriquer du fer à béton.
- Gravillons 2/4 - 4/6 - 6/10 - 10/14 et sable 0/4.
- Utilisation dans les enrobés, en enduits et en ECF.



Exemples d'utilisation en technique routière

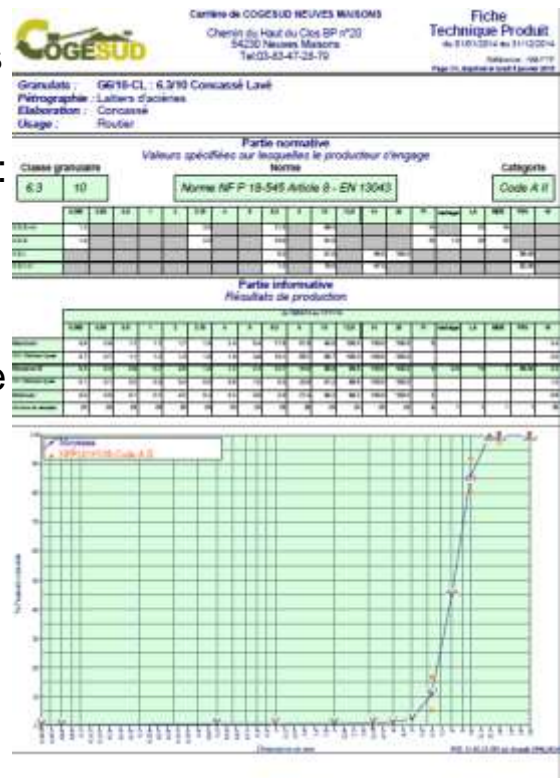


Laitiers sidérurgiques

Laitier de Neuves Maisons - 54



- Bonnes caractéristiques mécaniques, granulat de grandes qualités.
- Los : 14 – MDE : 7 - PSV moyen : 60
- Laitier conforme en tout point au guide méthodologique des matériaux alternatifs en technique routière.
- Production dans une installation équipée d'un concasseur à mâchoire, un concasseur giratoire, des cribles, des tapis et 5 overbands.



Exemples d'utilisation en technique routière

Laitiers sidérurgiques

Laitier de Neuves Maisons - 54



Réalisations :

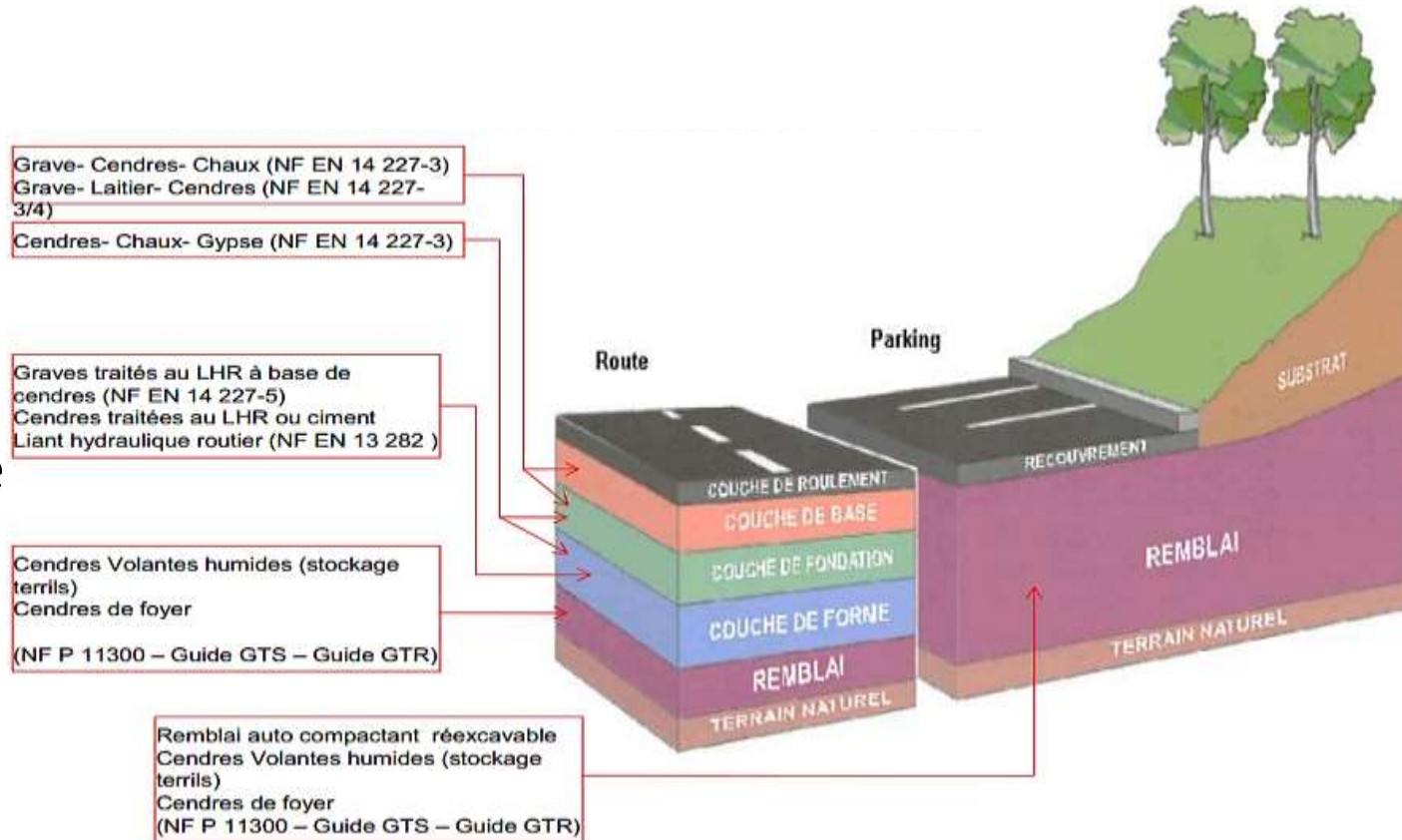
- Enduits RD RN voies express des conseils généraux 54-55-57-88.
- Enrobés RD RN voies express autoroutes.
- Points accidentogènes.



Exemples d'utilisation en technique routière

Cendres volantes

Utilisation en technique routière



Exemples d'utilisation en technique routière

Cendres volantes

LE LIANT HYDRAULIQUE ROUTIER ECOLOGIQUE ET POLYVALENT

- *Traitement des sols en place*
- *Traitement des matériaux en centrale de malaxage*
- *Traitement de graves*

Le liant GARDALITHE-GTR est un mélange constitué majoritairement de cendres volantes produites par SURSCHISTE et de laitier moulu fabriqué par ECOCEM France, associé à des activateurs soigneusement dosés afin de développer leurs potentiels hydrauliques et leurs résistances mécaniques. Le liant GARDALITHE-GTR est fabriqué à Meyreuil, en Provence.

FAIBLE EMPREINTE CARBONE

Son empreinte carbone, la plus faible du marché, est de l'ordre de 100 kg CO₂ eq. par tonne produite.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Le suivi du liant est assuré sur la base des prescriptions de la norme NF P 15-108 et NF 13-282 et fait l'objet d'un Plan Qualité.

Des études ont été menées avec la Direction territoriale Méditerranée du CEREMA (ex CETE Méditerranée) en traitement de sols A2 et Graves GONTERO et MALESPINE. Les résultats figurent sur la FTP et sont disponibles sur demande (Cf. contactez-nous).

DOMAINES D'APPLICATIONS

Il est parfaitement adapté au traitement de graves en centrale et au retraitement en place d'un grand nombre de matériaux. Il a l'avantage d'avoir un délai de maniabilité élevé et une cinétique de durcissement maîtrisé.

- **UTILISATIONS EN TRAITEMENTS DE GRAVES** de nature calcaires, siliceuses, silico-calcaires.
- **UTILISATIONS EN TRAITEMENTS DE SOLS** pour la création de couches de forme, de chaussées, de parkings, de plateformes, de routes forestières ou agricoles.

CONDITIONNEMENT

En vrac par camion-citerne, 30 t minimums par livraison sauf accord commercial préalable.

LES RECOMMANDATIONS D'USAGE

Les dosages à respecter varient en fonction du type d'application, de la nature et de la qualité des matériaux à traiter.

Les dosages ci-dessous sont donnés à titre indicatif :

- **Traitement de sols :**
 - Remblais.....dosage 2 à 4%
 - Couche de forme.....dosage 4 à 7%
 - Assises de chaussées.....dosage 4 à 7%
- **Traitement de graves :**
 - Bronzodosage 4 à 7%
 - Malespine.....dosage 4 à 7%

PRECAUTIONS D'EMPLOI

Voir la FTP disponible sur demande



CONTACTEZ NOUS :

SURSCHISTE - AGENCE SUD
CENTRALE DE PROVENCE
BP 8
13590 MEYREUIL
Tel. 04 42 58 30 32
Fax 04 42 58 32 79
Email : sud@surschiste.com
www.surschiste.com

ECOCEM France
PARC CLUB DU GOLF
BATIMENT 3
13856 AIX EN PROVENCE CEDEX
Tél. 04 42 90 76 30
Fax 04 42 90 76 39
Email : contact@ecocem.fr
www.ecocem.fr



Exemples d'utilisation en technique routière



Cendres volantes



Grave traitée Gardalithe - GTR



DEVIATION DE CADENET



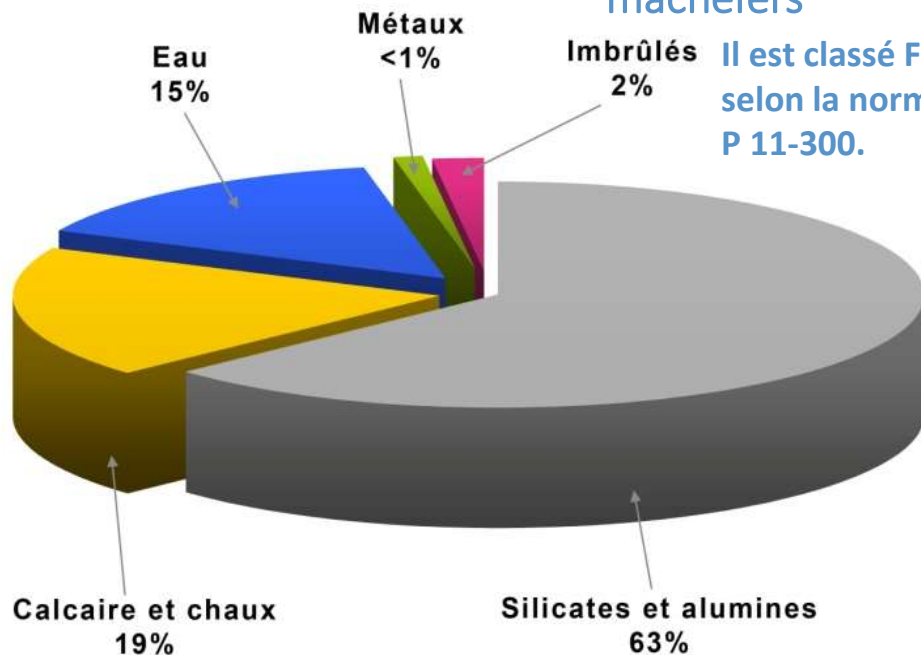
Centrale de Provence

Exemples d'utilisation en technique routière

Mâchefers d'incinération

Composition des graves de mâchefers

Il est classé F61 selon la norme NF P 11-300.



Source : Projet de plaquette CEREMA de sensibilisation des acteurs au recyclage des MIDND

Caractérisation des graves de mâchefers

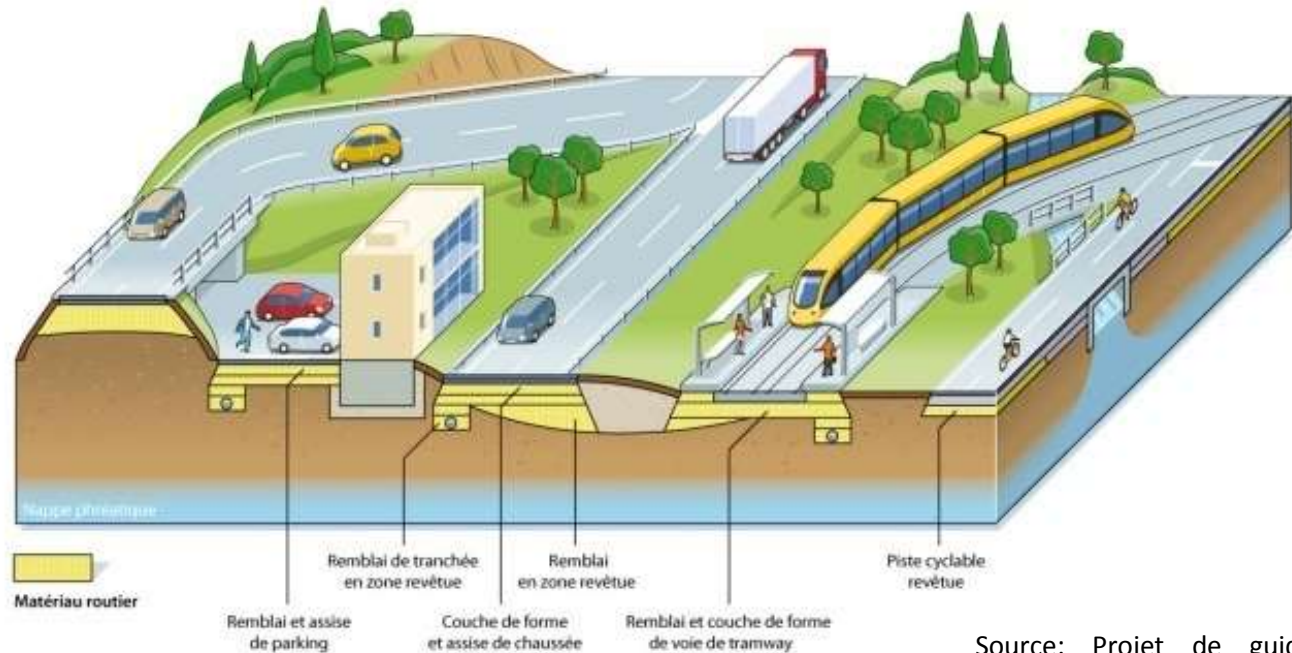
Les paramètres de nature	
Granularité	0/20 mm à 0/31,5 mm
Teneur en fines (passant à 0,08 mm)	4 à 12%
Passant à 2 mm	20 à 50%
Valeur de bleu de méthylène	0,01 à 0,04 g/100g
Equivalent sable	35 à 55%
Les paramètres de comportement mécanique	
Los Angeles	35 à 50%
Micro-Deval en présence d'eau	15 à 45%
Les paramètres d'état	
Teneur en eau	10 à 20%
Masse volumique apparente sèche (ps)	1 à 1,2 t/m ³
Références de compactage à l'Optimum Proctor Normal	Teneur en eau à l'OPN; 15 à 22%
	pdOPN : 1,4 à 1,8 t/m ³
Références de compactage à l'Optimum Proctor Modifié	Indice Portant Immédiate (IPI) : 20 à 60
	Teneur en eau à l'OPM : 9 à 17%
	pdOPM : 1,6 à 1,95 t/m ³
Indice CBR immédiat à l'optimum + 2% à l'OPN	10 à 18
Indice CBR immédiat à l'optimum + 2% à l'OPM	10 à 28
Indice CBR après immersion (4 jours) à l'OPN	22 à 30
Indice CBR après immersion (4 jours) à l'OPM	30 à 110

Source : Guide technique pour l'utilisation des matériaux alternatifs de Bourgogne

Exemples d'utilisation en technique routière

Mâchefers d'incinération

Usages routiers "type 1"



Source: Projet de guide CEREMA pour l'utilisation des matériaux alternatifs en technique routière

Exemples d'utilisation en technique routière



Mâchefers d'incinération

ECO GRAVE
0/31,5



L'avenir des matériaux alternatifs



Encore quelques réticences à leur utilisation...

- Statut de déchet
- Reconnaissance insuffisante par les prescripteurs : prescription dans les marchés au même titre que les granulats naturels ?
- Prix de vente comparable à des matériaux naturels

L'avenir des matériaux alternatifs

... mais de nombreux avantages

- Ressource industrielle pérenne de proximité
- Matériaux de qualité, performants avec des caractéristiques mécaniques constantes et homogènes
- Matériaux et procédés innovants
- Impacts environnementaux maîtrisés
- Economie de TGAP (0,20€/tonne en France)
- Préservation des ressources minérales naturelles
- Valorisation avec une économie de frais de décharge
- Réduction des gaz à effet de serre
- Contribution à une économie circulaire