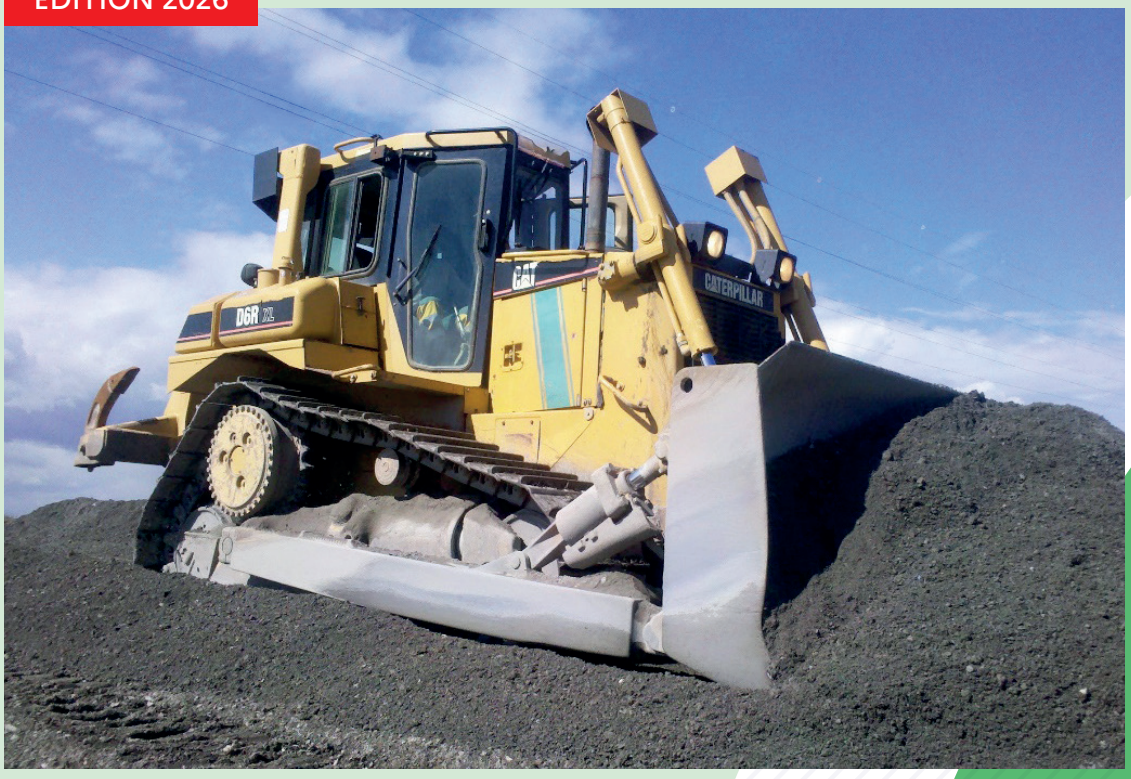
Les références

VALORISATION DE MATÉRIAUX ALTERNATIFS EN INFRASTRUCTURES LINÉAIRES DE TRANSPORT TERRESTRE

LES MÂCHEFERS D'INCINÉRATION DE DÉCHETS NON DANGEREUX (MIDND)

ÉDITION 2026



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Cerema éditions

VALORISATION DE MATÉRIAUX ALTERNATIFS EN INFRASTRUCTURES LINÉAIRES DE TRANSPORT TERRESTRE

LES MÂCHEFERS D'INCINÉRATION DE DÉCHETS NON DANGEREUX (MIDND)

ÉDITION 2026

Collection « Les références »

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire…), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Comment citer cet ouvrage :
Cerema. *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre. Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND).* Lyon : Cerema, 2026. Collection : Les références.
ISBN : 978-2-37180-786-0

REMERCIEMENTS

Le présent ouvrage révise et remplace le guide *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière – Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux* [1] édité en octobre 2012 par le Sétra (devenu Cerema en 2014).

Il constitue le référentiel à suivre pour toute valorisation en infrastructures linéaires de transport terrestre. L'arrêté ministériel du 18/11/11 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux sera prochainement révisé en cohérence avec les dispositions du présent guide.

Il s'agit d'un ouvrage collectif conduit par le Cerema, sous maîtrise d'ouvrage de la DGPR, avec les contributions de :

- Patrick VAILLANT (Cerema)
- Alexandre PAVOINE (Cerema)
- Xavier BARANGER (DGPR)
- Fanny PELLISSIER (DGPR)
- Léa DELEPIERRE (Amorce)
- Océane RASE-POURCHON (Amorce)
- Christelle BILLON (ANGM)
- Guy MOULIN (ANGM)
- Patrick SZYMKOWIAK (ANGM)
- Pascal LANET (SVDU)
- Olivier WATERBLEZ (UNPG)

AVANT-PROPOS

Chaque année en France, environ 3 millions de tonnes de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux sont générées, représentant entre 15 % et 20 % en poids brut des déchets incinérés.

Dans une logique d'économie circulaire, leur valorisation est un levier incontournable pour réduire les incidences globales liées à l'utilisation des ressources naturelles et à l'émission de gaz à effet de serre. À ce titre, la construction d'infrastructures linéaires de transport terrestre constitue une filière adaptée pour la valorisation de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux.

Toutefois, le recours à des matériaux alternatifs ne pouvant se limiter à la seule vérification de leurs caractéristiques physiques, mécaniques et/ou géotechniques, le Cerema, avec l'appui de l'Ineris, a développé une méthodologie validée par le ministère chargé de l'environnement permettant d'évaluer les caractéristiques environnementales et sanitaires de ces matériaux. Ce travail a donné lieu à la publication du guide méthodologique *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre – Étude environnementale et sanitaire*.

Le présent ouvrage décline cette méthodologie pour le gisement des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux et le référentiel à suivre, pour toute valorisation en infrastructures linéaires de transport terrestre. L'arrêté ministériel du 18/11/2011 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux sera prochainement révisé en cohérence avec les dispositions du présent guide.

Il s'applique aux matériaux alternatifs dont la fonction utile a été préalablement justifiée et vise à fournir, aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises de travaux publics, une référence sur laquelle ils peuvent directement s'appuyer dans le cadre de leurs projets.

Le présent guide d'application s'inscrit résolument dans une logique d'économie circulaire en promouvant l'utilisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre, dans des conditions environnementales et sanitaires maîtrisées.

Cet ouvrage a été rédigé à l'initiative du Cerema, d'AMORCE, de l'ANGM, du SVDU et de l'UNPG. Il a été validé par le ministère chargé de l'environnement.



Pour le Directeur général du Cerema,
le Directeur général adjoint,
Directeur des Infrastructures de transport et matériaux,
David ZAMBON

Sommaire

Avertissement 6

CHAPITRE 1

Objet, définitions et contexte contractuel 9

1.1 Objet 10

1.2 Définitions 10

1.3 Contexte contractuel 12

CHAPITRE 2

Du mâchefer brut à la grave de mâchefer 15

2.1 Gisement et caractéristiques des mâchefers bruts 16

2.2 Production du mâchefer élaboré 16

2.3 Le processus de préparation des graves de mâchefer 19

2.4 Caractéristiques géotechniques de la grave de mâchefer 20

2.5 Localisation des IME 21

CHAPITRE 3

Domaines d'emploi et limitations d'usage 23

3.1 Nature des usages en infrastructure 24

3.2 Référentiels d'utilisation / Normes / Guides 27

3.3 Limitations d'usage 27

CHAPITRE 4

Assurance qualité & traçabilité 31

4.1 Approvisionnement des mâchefers bruts 32
4.2 Réception des mâchefers bruts 32
4.3 Planification 32
4.4 Exploitation du gisement : maturation et traitement mécanique 32
4.5 Stockage - gestion des stocks 33
4.6 Contrôles 33
4.7 Traitement des écarts 33
4.8 Traçabilité en sortie d'IME 33

5. Annexes 37

5.1 Référentiel de conformité environnemental et sanitaire 38
5.2 Prescriptions pour les prélèvements et la préparation des échantillons 40
5.3 Prescriptions pour les laboratoires d'essais 42
5.4 Fiches d'emploi des graves de mâchefer 45
5.5 Fiche d'information 50
5.6 Exemples de fiche technique de grave de mâchefer 52
5.7 Bibliographie 54
5.8 Acronymes 54

AVERTISSEMENT

Différents guides proposent des méthodologies permettant de valider l'acceptabilité environnementale et sanitaire d'opérations de valorisation de matériaux alternatifs. Ces guides présentent des méthodologies adaptées aux gisements et usages visés. Afin d'expliciter quel guide appliquer selon le gisement et les usages concernés, la DGPR a mis en place un document aiguilleur[1], accessible sur le site du ministère chargé de l'environnement.

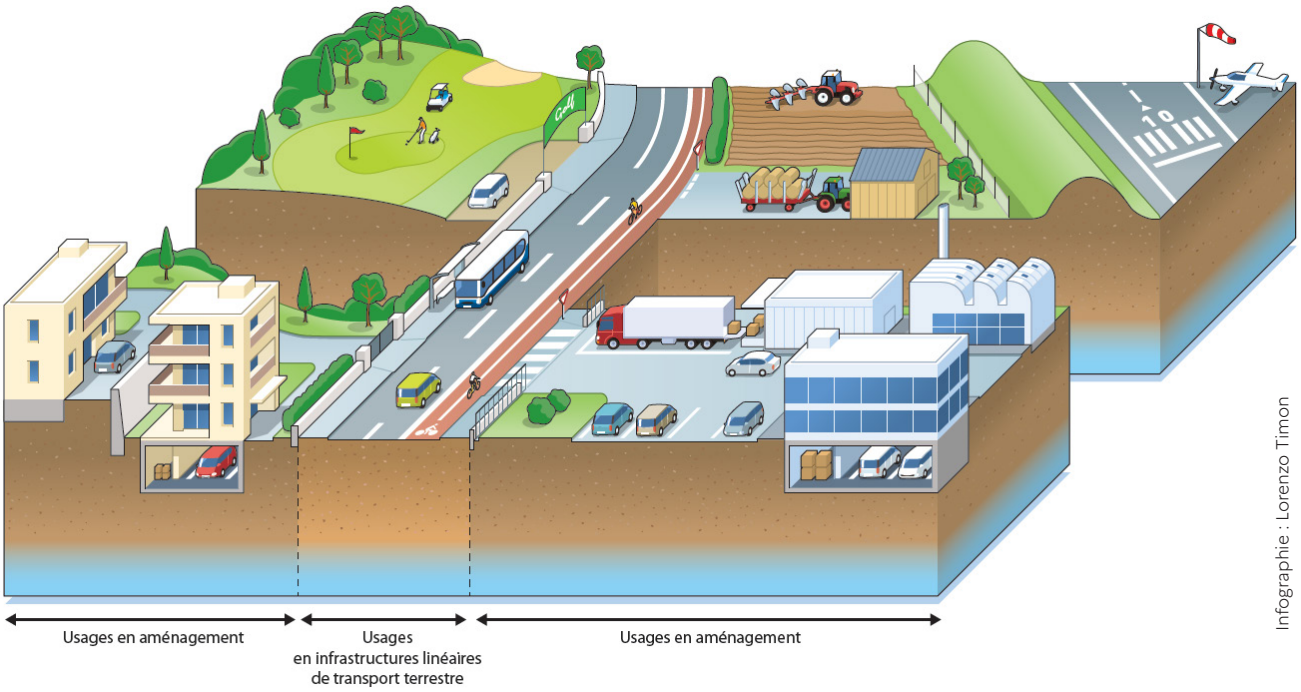
Le présent ouvrage décline la méthodologie du guide *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructure linéaire de transport terrestre – Étude environnementale et sanitaire* [2] pour le gisement des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND) destinés à être utilisés à des fins de construction, de réhabilitation ou d'entretien d'infrastructures linéaires de transport terrestre, y compris les ouvrages connexes de génie civil situés dans leurs emprises (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple).

Bien que pouvant être le lieu de circulations routières, les ouvrages suivants ne sont pas concernés par le présent guide, car relevant des usages en aménagement : les plateformes agricoles ou industrielles (plateformes logistiques ou de stockage), les aires de stockage ou de stationnement des entreprises du secteur tertiaire et des équipements publics (salles de spectacle, équipements sportifs, etc.), les pistes et aires de stationnement d'aéronefs, ainsi que tous les ouvrages routiers et remblais techniques situés dans l'emprise foncière des opérations d'aménagement et de construction de bâtiments.

Concernant la valorisation de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux dans les aménagements, dans l'attente de la parution du guide *Valorisation de matériaux alternatifs dans les aménagements – Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND)*, la note DGPR/BPGD du 29 mars 2016 [3] reste le document de référence.

Les dispositions du présent guide d'application priment sur celles du guide méthodologique [2] et constituent le référentiel à suivre pour toute valorisation de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux en infrastructures linéaires de transport terrestre.

1. https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/guides-valorisation-aiguilleur



Infographie : Lorenzo Timon

Usages en infrastructures linéaires de transport terrestre vs usages en aménagement

CHAPITRE 1

Objet, définitions et contexte contractuel

1 • OBJET, DÉFINITIONS ET CONTEXTE CONTRACTUEL

1.1 Objet

Le présent ouvrage a pour objet de consigner les critères à respecter dans le cadre de l'utilisation de graves produites à partir de MIDND en infrastructures linéaires de transport terrestre.

Par souci d'exhaustivité, les spécifications géotechniques auxquelles doivent répondre les graves produites à partir de MIDND suivant les usages visés sont également rappelées.

Les prescriptions présentées tiennent compte de l'expérience acquise dans le recyclage des MIDND par les producteurs de granulats, les entreprises de travaux publics et les opérateurs, pour ce qui concerne :
- les techniques d'élaboration ;
- les modes d'utilisation ;
- la connaissance de l'évolution du potentiel polluant pendant la phase de maturation ;
- les études réalisées par les laboratoires extérieurs aux entreprises de travaux publics.

Le présent guide est principalement destiné :
- aux personnes chargées de l'inspection des installations classées, pour qu'elles puissent y trouver les dispositions adaptées concernant la valorisation des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux en infrastructures linéaires de transport terrestre ;
- aux exploitants d'installations de traitement thermique de déchets non dangereux (ITTDND) et d'installations de maturation et d'élaboration (IME) pour qu'ils puissent mettre en œuvre les obligations qui leur incombent ;
- aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, bureaux d'étude et de contrôle, pour qu'ils puissent prévoir dans leurs projets et marchés l'utilisation de graves produites à partir de MIDND ;
- aux entreprises de fabrication et d'application de matériaux pour qu'elles puissent proposer des graves produites à partir de MIDND dans le respect des dispositions du présent guide d'application.

L'enjeu est important et permet en particulier aux producteurs de MIDND et à leurs détenteurs successifs de répondre à leurs obligations en matière de hiérarchisation des modes de traitement des déchets (article L.541-2-1 du Code de l'environnement).

L'utilisation de graves produites à partir de MIDND contribue à la préservation des ressources naturelles en permettant l'économie de granulats et de métaux ferreux et non ferreux.

Après avoir précisé la terminologie utilisée, le guide détaille au sein de trois parties complémentaires :
- les processus de préparation et de maturation des mâchefers élaborés ainsi que ceux permettant de produire les graves de mâchefer ;
- les domaines d'emploi et les limitations d'usage des graves de mâchefer, au regard de leurs caractéristiques environnementales et sanitaires, complétés par des informations concernant les caractéristiques géotechniques requises en fonction des usages visés ;
- les procédures d'assurance qualité et de traçabilité à mettre en œuvre.

1.2 Définitions

Dans le présent ouvrage, la terminologie suivante est utilisée :

1.2.1 Infrastructure linéaire de transport terrestre

Installation fixe destinée au transport des biens et des personnes par voie routière et, par extension ferroviaire (train, tramway, métro), en site propre ou partagé.

Par extension également, sont concernés au titre du présent guide les pistes de chantier, routes forestières, chemins d'exploitation agricole et chemins de halage.

1.2.2 Usage en infrastructure

Usage pour lequel des matériaux sont utilisés à des fins de construction, de réhabilitation ou d'entretien d'infrastructures linéaires de transport terrestre, y compris les ouvrages connexes de génie civil situés dans leurs emprises (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple).

1.2.3 Mâchefer d'incinération de déchets non dangereux (MIDND) ou mâchefer brut

Déchet provenant de l'extraction des matières solides en sortie du four des installations de traitement thermique de déchets non dangereux (ITTDND) relevant de la rubrique 2771 de la nomenclature des installations classées ou des installations de traitement thermique de déchets non dangereux et des déchets d'activités de soins à risques infectieux (DASRI) relevant des rubriques 2770 et 2771 de la nomenclature des installations classées si les DASRI et les déchets non dangereux sont incinérés en mélange et si la quantité de DASRI est inférieure ou égale à 10 % de la quantité des déchets incinérés.

Le MIDND est obligatoirement recueilli séparément des cendres volantes et des cendres sous chaudière.

Les MIDND ainsi définis sont dénommés mâchefers bruts dans le présent guide.



Crédits : SITOM Nord-Isère

Installation de traitement thermique de déchets non dangereux (ITTDND)

1.2.4 Lot périodique

Ensemble de mâchefers bruts produit dans une période P par une même installation de traitement thermique et réceptionné dans une même IME relevant des rubriques 2716, 2771 ou 2791 de la nomenclature des installations classées.

La période P de constitution d'un lot périodique de mâchefers bruts est de :

- un mois si la capacité autorisée de l'installation de traitement thermique productrice du mâchefer brut est supérieure ou égale à 50 000 tonnes de déchets incinérés par an ;
- trois mois si la capacité autorisée de l'installation de traitement thermique productrice du mâchefer brut est inférieure à 50 000 tonnes de déchets incinérés par an. Cette période peut être portée à six mois si l'exploitant de l'installation de traitement thermique productrice du mâchefer brut est en mesure de justifier la conformité de la composition physico-chimique d'au moins 12 lots consécutifs aux critères de recyclage spécifiés dans le présent guide.

1.2.5 Installation de maturation et d'élaboration (IME)

Installation classée pour la protection de l'environnement destinée à transformer le mâchefer brut en grave de mâchefer répondant à un usage en infrastructure. Elle peut être localisée soit dans l'enceinte de l'installation de traitement thermique ayant produit le mâchefer brut (rubrique ICPE 2771), soit sur un site extérieur dédié (rubriques ICPE 2716 et/ou 2791).

L'IME dispose au minimum d'équipements permettant de maîtriser la granulométrie et d'extraire les métaux valorisables ainsi que les indésirables.



Crédits : Lingenheld Environnement

Installation de maturation et d'élaboration (IME)

1.2.6 Matériau alternatif ou mâchefer élaboré

Tout matériau élaboré à partir d'un même lot périodique de mâchefer brut et destiné à être utilisé, seul ou formulé avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, au sein d'un matériau d'infrastructure. Le matériau alternatif est donc un constituant, éventuellement unique, d'un matériau d'infrastructure.

Les matériaux alternatifs élaborés dans ces conditions sont dénommés « mâchefers élaborés » dans le présent guide.

Les mâchefers élaborés sont régulièrement utilisés en l'état, c'est-à-dire sans étape de formulation, sur les chantiers. Ils constituent alors le matériau d'infrastructure et sont donc directement dénommés « graves de mâchefer » (cf. chapitre 1.2.7).

1.2.7 Matériau d'infrastructure ou grave de mâchefer

Tout mâchefer élaboré ou tout matériau issu de la formulation d'un mâchefer élaboré avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, répondant à un usage en infrastructure.

Le matériau d'infrastructure est donc un matériau apte à quitter l'installation de maturation et d'élaboration pour être mis en œuvre en l'état sur un chantier d'infrastructure linéaire de transport terrestre.

Les matériaux d'infrastructure produits dans ces conditions sont dénommés « graves de mâchefers » dans le présent guide.

1.2.7.1 Grave de mâchefer non traitée

La grave de mâchefer est qualifiée de « non traitée » lorsque :

- le mâchefer élaboré est le constituant unique de la grave de mâchefer. Elle est alors également dénommée « grave de mâchefer non recomposée » ;
- le mâchefer élaboré est recomposé avec d'autres granulats pour constituer la grave de mâchefer. Elle est alors également dénommée « grave de mâchefer recomposée ».

1.2.7.2 Grave de mâchefer traitée

La grave de mâchefer est qualifiée de « traitée » lorsqu'elle est obtenue par traitement d'une grave de mâchefer non traitée, recomposée ou non, avec un liant hydraulique routier ou hydrocarboné.

1.2.8 Élaboration

Opération reposant sur une combinaison de traitements physiques (déshydratation, broyage, concassage, criblage, scalpage, lavage et tri) qualifiés de « préparation », et de traitements physico-chimiques qualifiés de « maturation », visant à produire un mâchefer élaboré à partir d'un mâchefer brut.



Crédits : Modus Valoris

Table vibrante

1.2.9 Formulation

Opération visant à mélanger un mâchefer élaboré avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, dans des proportions déterminées dans le but d'optimiser les caractéristiques physiques, mécaniques et/ou géotechniques compte tenu de l'usage en infrastructure envisagé.

1.3 Contexte contractuel

L'article 79 de la Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) impose désormais que tout appel d'offres que l'État ou les collectivités territoriales publient pour la construction ou l'entretien routier intègre une exigence de priorité à l'utilisation des matériaux issus du réemploi, de la réutilisation ou du recyclage de déchets.

Depuis 2020, l'État et les collectivités territoriales doivent justifier chaque année, et pour l'État à une échelle régionale :

a) qu'au moins 60 % en masse de l'ensemble des matériaux utilisés pendant l'année dans leurs chantiers de construction routiers sont issus du réemploi, de la réutilisation ou du recyclage de déchets ;

b) et que, pour les matériaux utilisés pendant l'année dans les chantiers de construction et d'entretien routiers, parmi ces matériaux, au moins 20 % en masse des matériaux utilisés dans les couches de surface et au moins 30 % en masse des matériaux utilisés dans les couches d'assise sont issus du réemploi, de la réutilisation ou du recyclage de déchets.

Les autres maîtres d'ouvrage ne sont pas spécifiquement visés par l'article 79 de la LTECV. Pour autant, il est recommandé que, dans le cadre de leurs projets, les cahiers des charges des travaux permettent ou prévoient l'utilisation de matériaux alternatifs, dans une logique d'économie circulaire, afin de réduire les incidences globales liées à l'utilisation des ressources naturelles et l'émission de gaz à effet de serre.

Le maître d'ouvrage peut ainsi, dans le règlement de la consultation, mettre en place des critères de jugement des offres adossés à des écocomparateurs routiers (SEVE TP, par exemple) afin de pouvoir juger, en toute objectivité, de l'intérêt des différentes solutions présentées par les candidats.

Les clauses techniques concernant l'utilisation de matériaux alternatifs peuvent être détaillées dans le chapitre relatif à la nature des constituants.

Pour les terrassements et les couches de forme, les constituants intègrent les caractéristiques de la catégorie AM-B1 du GTR 2024 et de la norme NF P11-300, les prescriptions du guide technique *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques* (Sétra/LCPC, 2000), complétées par les dispositions du présent guide d'application.

Pour les assises de chaussée, les constituants intègrent les granulats d'origine recyclée et artificielle, selon les normes NF P18-545, NF EN 13285, NF EN 13242+A1, NF EN 14227-1, NF EN 14227-5 et selon les dispositions du présent guide d'application.

Les fiches d'emploi des graves de mâchefer présentées en annexe 5.4 peuvent servir d'aide à la décision :
- 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.



CHAPITRE 2

Du mâchefer brut à la grave de mâchefer

2 • DU MÂCHEFER BRUT À LA GRAVE DE MACHEFER

2.1 Gisement et caractéristiques des mâchefers bruts

D'après les données de la base SINOE® – France métropolitaine 2024, le gisement annuel de mâchefers bruts peut être estimé à environ 2,6 millions de tonnes, ce qui représente entre 15 et 20 % en poids brut des déchets incinérés. Actuellement, environ 90 % des mâchefers bruts produits sont valorisés dans le secteur des travaux publics, soit environ 2,3 millions de tonnes.

Généralement refroidi à l'eau, le mâchefer brut, dont la composition chimique est principalement minérale (silicium-aluminium-calcium), contient entre 20 à 25 % d'eau et 6 à 10 % de métaux recyclables (ferreux et non ferreux).

Il se présente sous forme d'agrégats scoriacés plus ou moins grossiers, dans une matrice à structure sableuse, de couleur gris foncé.

Le taux d'imbrûlés est contrôlé par la mesure du carbone organique total (COT) au titre du présent guide. Toutefois, à titre indicatif, l'exploitant peut effectuer en complément une mesure de la perte au feu conformément à l'arrêté ministériel du 20 septembre 2002 modifié relatif aux installations d'incinération et de co-incinération des déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux. Les technologies actuelles et la conduite du four (en particulier par une bonne surveillance de la combustion) permettent d'atteindre les performances de combustion attendues.

Le taux d'humidité représente une part importante de la composition du mâchefer brut car l'extraction de ce dernier à la sortie du four doit être munie d'une garde hydraulique en vue d'assurer :
- l'étanchéité du four nécessaire à la maîtrise d'une bonne combustion ;
- le refroidissement du déchet pour sa manutention manuelle.

Cette fonction est assurée soit par un extracteur à poussoir, soit par un extracteur à chaînes.

Dès la sortie du four et avant sa sortie de l'usine d'incinération, le mâchefer brut peut subir un certain nombre d'opérations d'homogénéisation. Ces opérations pourront être plus poussées par la suite dans les IME pour améliorer l'ensemble de leurs caractéristiques.

Ces opérations peuvent être les suivantes :
- scalpage, permettant de débarrasser le mâchefer brut des déchets les plus volumineux, notamment des déchets métalliques, et de briser d'éventuels blocs creux ;
- extraction de métaux ferreux par over-band par exemple ;
- extraction de métaux non ferreux par courant de Foucault.

Les métaux séparés sont dirigés vers des filières de valorisation « matière », indépendamment de la filière envisagée pour le mâchefer.

Note : Le mélange de mâchefers bruts issus de lots périodiques différents, leur dilution avec d'autres substances ou objets, ainsi que leur stabilisation[2] sont interdits.

2.2 Production du mâchefer élaboré

Le mâchefer brut, sorti de l'ITTDND, doit subir un certain nombre de traitements pour être transformé en grave de mâchefer dont les caractéristiques géotechniques (identification et comportement) sont conformes aux normes concernant les granulats et les graves et dont les caractéristiques environnementales et sanitaires respectent celles fixées par le présent guide pour l'usage en infrastructure envisagé.

Les phases d'élaboration doivent être réalisées par l'IME dans un délai d'un an à compter de la date de fin de constitution du lot périodique de mâchefer brut.

2. Est considérée comme une opération de stabilisation dans le présent guide, toute opération visant à utiliser différents réactifs chimiques dans le but de limiter la solubilité des polluants et par conséquent leur rejet dans l'environnement.



Crédits : PréferNord

Installation d'élaboration

2.2.1 Le processus de préparation du mâchefer élaboré

Sur une IME, le mâchefer brut est transformé en une grave calibrée après une phase de préparation qui consiste principalement à :

- extraire les métaux ferreux et non ferreux. Les métaux ferreux sont captés par des séparateurs magnétiques positionnés sur le parcours des matériaux et les métaux non ferreux par une ou plusieurs machines à courant de Foucault. Les métaux ainsi récupérés sont recyclés dans les filières sidérurgiques. La performance du tri des métaux peut être appréciée via la norme NF EN 1744-8[3] ;
- extraire les imbrûlés qui peuvent subsister après incinération ;
- calibrer par concassage/criblage les mâchefers bruts, afin de produire un mâchefer élaboré compatible avec les usages en infrastructure envisagés.

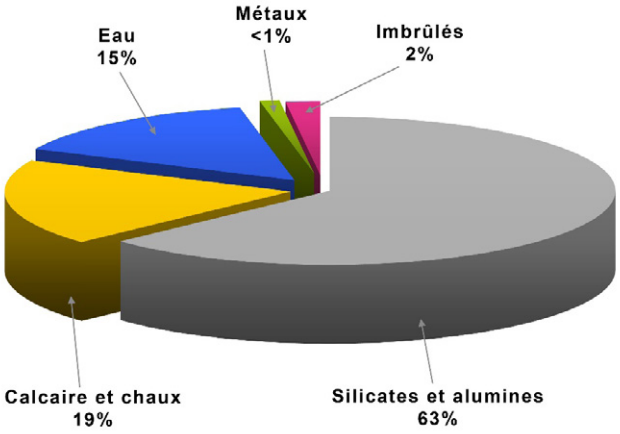
2.2.2 Le processus de maturation du mâchefer

La maturation des mâchefers consiste en un ensemble de réactions physico-chimiques reposant principalement sur une carbonatation de la chaux par du dioxyde de carbone (atmosphérique ou non), ainsi qu'une minéralisation des composés chimiques, instables en sortie de l'incinération.
Ces mécanismes de maturation permettent de baisser le potentiel d'hydrogène (pH) du matériau et, par 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, environnementales et sanitaires stables. Cette phase de maturation est de l'ordre de 1 à 12 mois selon les conditions d'échange physico-chimique avec l'air ambiant.

2.2.3 Composition du mâchefer élaboré

Le mâchefer élaboré produit par l'IME est en général de granulométrie 0/20 à 0/31,5 mm.
Il s'agit d'un matériau alcalin dont la composition chimique moyenne est la suivante :

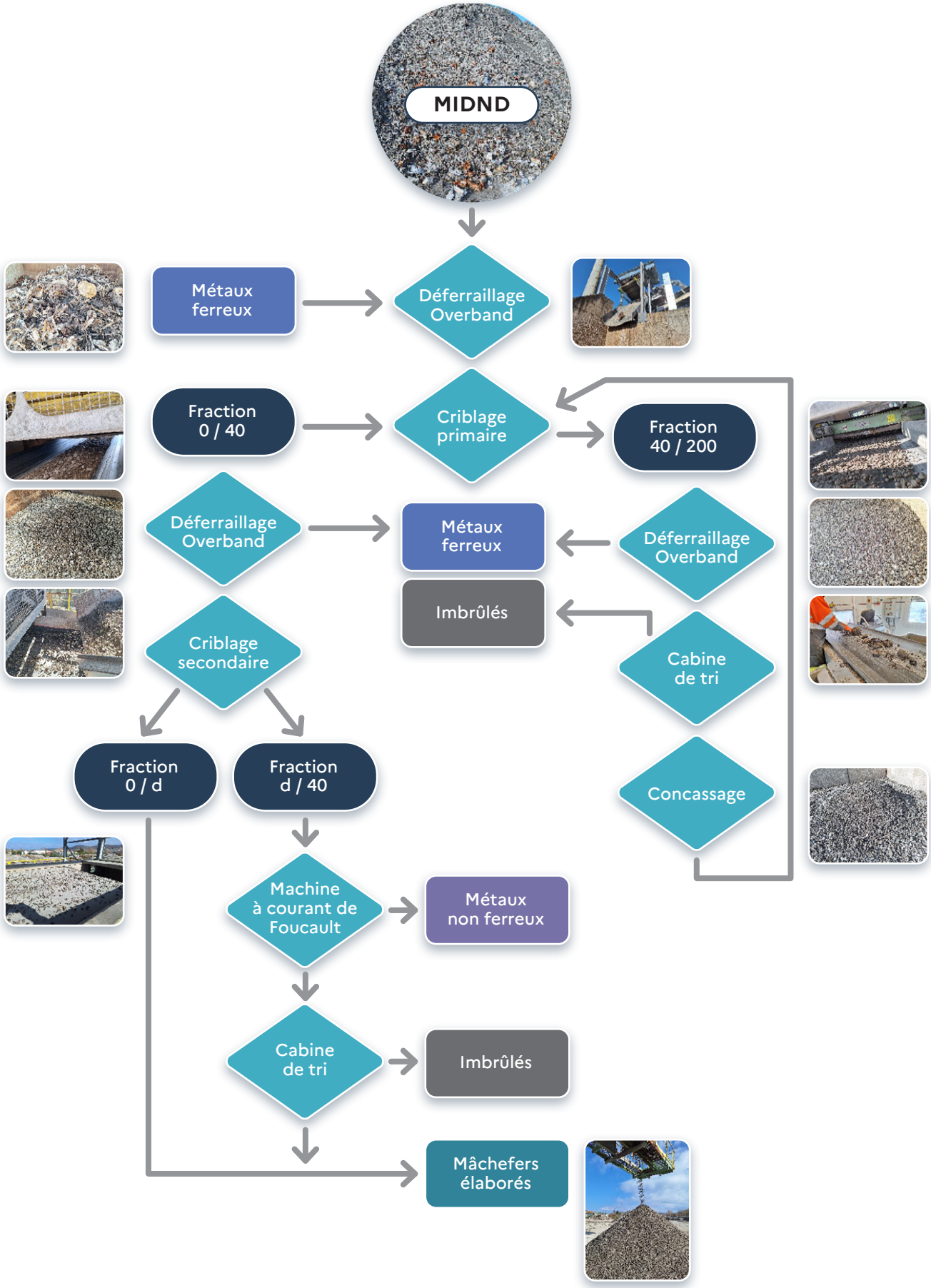
- essentiellement silicates, alumines, calcaire et chaux ;
- présence de sels : chlorures et sulfates ;
- carbone organique total (COT) < 3 % ;
- présence de métaux lourds < 1%.



Composition chimique du mâchefer élaboré

Note : le stockage au sein de l'IME de mâchefers élaborés ne peut excéder trois ans à compter de la date de fin de constitution du lot périodique de mâchefers bruts. En cas de regroupement de différents lots périodiques de mâchefers élaborés dans le respect des conditions précisées au chapitre 3.3.1.3, la date de fin de constitution à considérer est celle du plus ancien lot périodique de mâchefers bruts ayant servi à la production des lots de mâchefers élaborés regroupés.

3. AFNOR NF EN 1744-8 - Essai pour déterminer les propriétés chimiques des granulats – Partie 8 : Essai de comptage des particules métalliques contenues dans les granulats provenant de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND)



Exemple de logigramme de production d'un mâchefer élaboré 0/40



Crédits : Modus Valoris

Production d'une grave de mâchefer

2.3 Le processus de préparation des graves de mâchefer

Les mâchefers élaborés sont majoritairement utilisés seuls, sans recomposition ni traitement, en tant que grave de mâchefer non traitée pour des utilisations en remblai et en couche de forme d'ouvrages d'infrastructures linéaires de transport terrestre.

Pour étendre leur domaine d'emploi, les mâchefers élaborés peuvent également être formulés, soit en recomposition avec d'autres granulats (grave de mâchefer recomposée) et/ou traités aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés (grave de mâchefer traitée).

Ces opérations de formulation sont généralement réalisées par l'IME.

2.3.1 Grave de mâchefer recomposée

La recomposition d'une grave de mâchefer avec des granulats d'origine naturelle est généralement pratiquée pour réduire sa sensibilité à l'eau lors de sa mise en œuvre. Dans d'autres cas, la grave de mâchefer peut être le correcteur granulaire d'un sable pour en augmenter ses performances mécaniques.

Les matériaux d'infrastructure recomposés utilisant la grave de mâchefer font l'objet d'études géotechniques (compactage et portance).

Note : Si la phase de recomposition envisage de recourir à des mâchefers élaborés issus de lots périodiques ne provenant pas tous de la même ITTDND, l'exploitant de l'IME doit produire les éléments justifiant de l'intérêt de la démarche au regard des caractéristiques physiques, mécaniques et/ou géotechniques exigées par l'usage envisagé et les soumettre au Cerema pour validation.

2.3.2 Grave de mâchefer traitée

Les matériaux d'infrastructure traités aux liants hydrauliques utilisant la grave de mâchefer seule ou recomposée avec des granulats sont courants. Ils bénéficient d'une large expérience depuis une trentaine d'années.

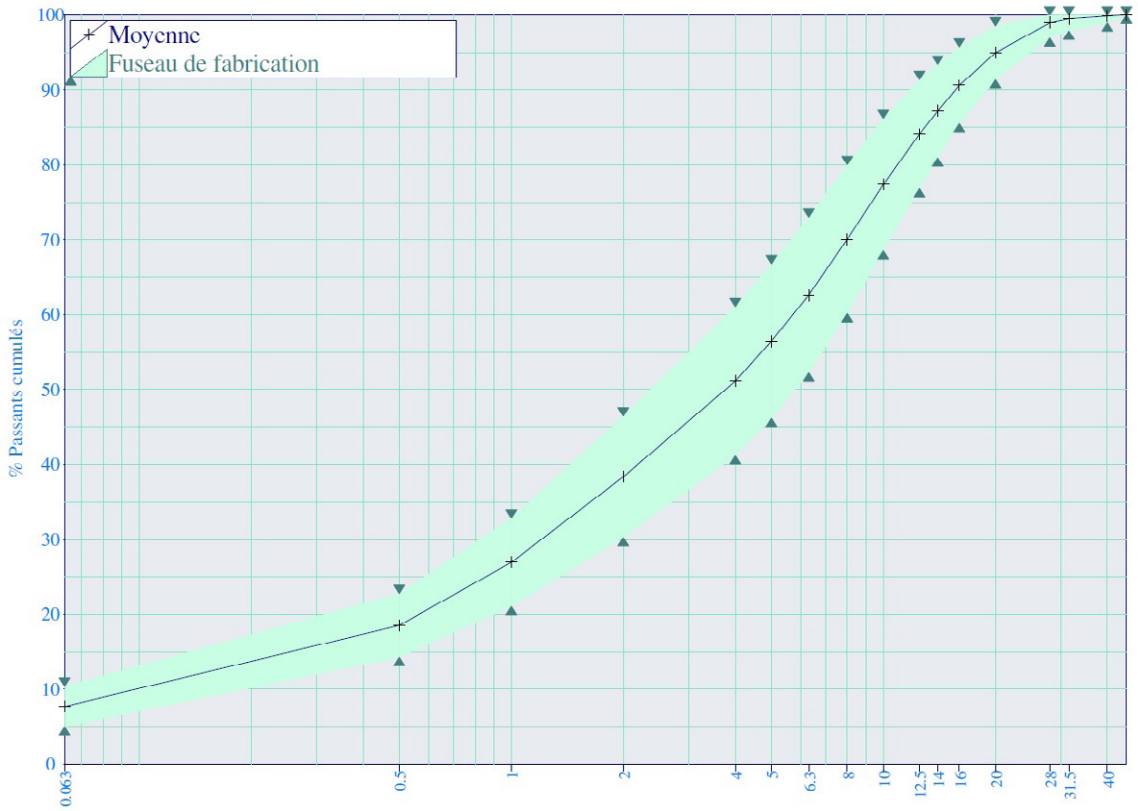
Le liant hydraulique utilisé est un ciment ou un liant hydraulique routier. Les matériaux d'infrastructure traités aux liants hydrauliques utilisant la grave de mâchefer font l'objet d'études de traitement pour la mesure de leurs performances mécaniques.

Le traitement aux liants hydrocarbonés de la grave de mâchefer seule ou recomposée est moins répandu. Le traitement se fait à froid, en utilisant le bitume sous forme d'émulsion ou de mousse de bitume. Le traitement est généralement pratiqué pour être utilisé en structure de chaussées souples. Les performances sont similaires à celles de graves-émulsion ou graves-mousse obtenues avec les mêmes catégories de granulats.

Note : le stockage au sein de l'IME de graves de mâchefer ne peut excéder trois ans à compter de la date de fin de constitution du lot périodique de mâchefers bruts. En cas de regroupement de différents lots périodiques de graves de mâchefer dans le respect des conditions précisées au chapitre 3.3.1.3, la date de fin de constitution à considérer est celle du plus ancien lot périodique de mâchefers bruts ayant servi à la production des lots de graves de mâchefer regroupés.

2.4 Caractéristiques géotechniques de la grave de mâchefer

Les caractéristiques géotechniques classiquement rencontrées pour une grave de mâchefer sont fournies à titre indicatif ci-après.



Fuseau granulométrique classique d'une grave de mâchefer 0/20

Les caractéristiques géotechniques courantes d'une grave de mâchefer non traitée sont :

Granularité	0/20 ou 0/31,5
Teneur en fines	4 % ≤ passant à 0,063 mm ≤ 12 %
Passant à 2 mm	20 % ≤ passant à 2 mm ≤ 50 %
Caractéristiques intrinsèques	35 ≤ LA ≤ 45
	15 ≤ MDE ≤ 40
Teneur en eau	8 % ≤ w ≤ 20 %
CBRi	> 20

Caractéristiques de compactage Optimum Proctor Normal

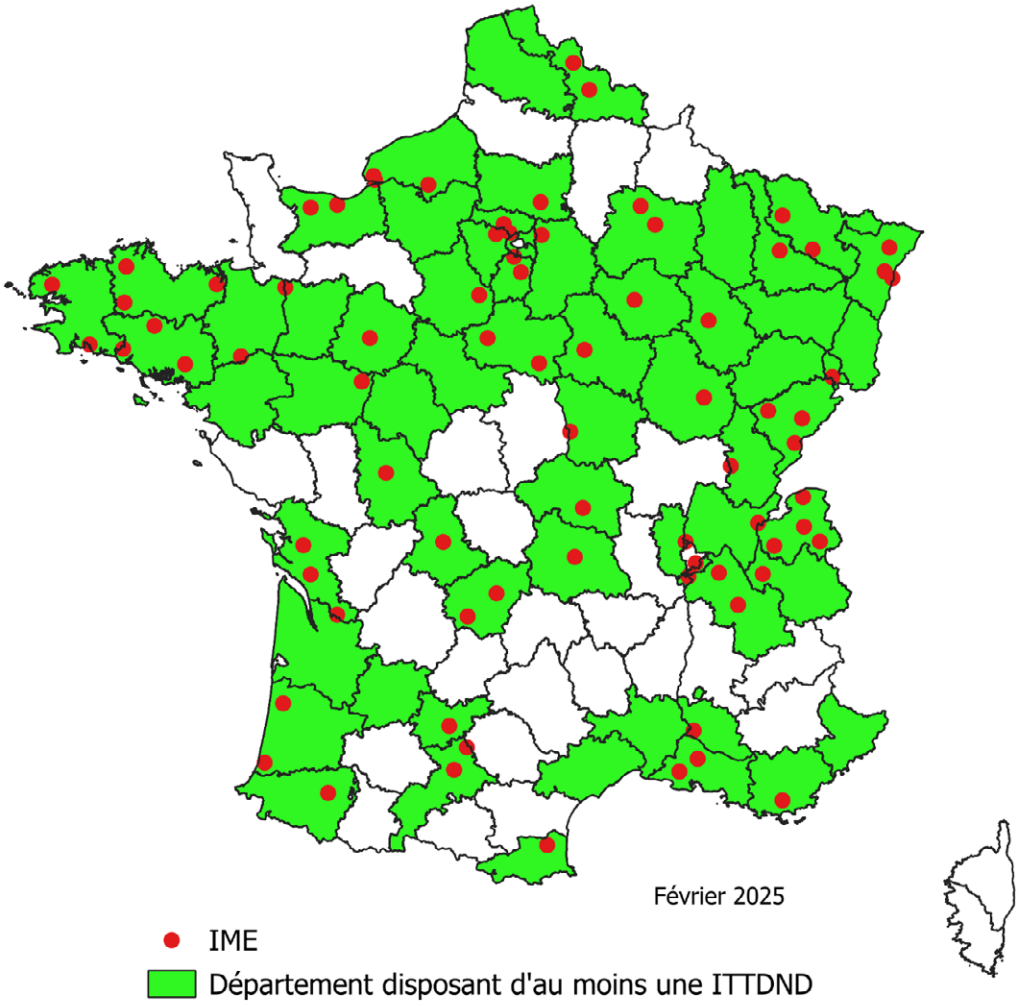
Teneur en eau OPN	14 % ≤ w ≤ 20 %
Masse volumique apparente sèche	1,45 ≤ ρd ≤ 1,8
Indice portant immédiat à l'OPN	20 ≤ IPI ≤ 50

Caractéristiques de compactage Optimum Proctor Modifié

Teneur en eau OPM	12,5 % ≤ w ≤ 16 %
Masse volumique apparente sèche	1,75 ≤ ρd ≤ 1,87
Indice portant immédiat à l'OPM	40 ≤ IPI ≤ 100

2.5 Localisation des IME

En 2025, 65 départements métropolitains disposaient d'au moins une installation de traitement thermique de déchets non dangereux (ITTDND) et accueillaient 78 installations de maturation et d'élaboration (IME) de mâchefer.



Implantations françaises métropolitaines des installations de maturation et d'élaboration (IME) de mâchefer

CHAPITRE 3

Domaines d'emploi et limitations d'usage

3 • DOMAINES D'EMPLOI ET LIMITATIONS D'USAGE

RAPPEL

Le présent guide décline la méthodologie du guide *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructure linéaire de transport terrestre– Étude environnementale et sanitaire* [3] pour le gisement des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND) destinés à être utilisés à des fins de construction, de réhabilitation ou d'entretien d'infrastructures linéaires de transport terrestre, y compris les ouvrages connexes de génie civil situés dans leurs emprises (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple).

Bien que pouvant être le lieu de circulations routières, les ouvrages suivants ne sont pas concernés par le présent guide car relevant des usages en aménagement : les plateformes agricoles ou industrielles (plateformes logistiques ou de stockage), les aires de stockage ou de stationnement des entreprises du secteur tertiaire et des équipements publics (salles de spectacle, équipements sportifs, etc.), les pistes et aires de stationnement d'aéronefs, ainsi que tous les ouvrages routiers et remblais techniques situés dans l'emprise foncière des opérations d'aménagement et de construction de bâtiments.

Concernant la valorisation de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux dans les aménagements, dans l'attente de la parution du guide *Valorisation de matériaux alternatifs dans les aménagements – Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND)*, la note DGPR/BPGD du 29 mars 2016 [3] reste le document de référence.

3.1 Nature des usages en infrastructure

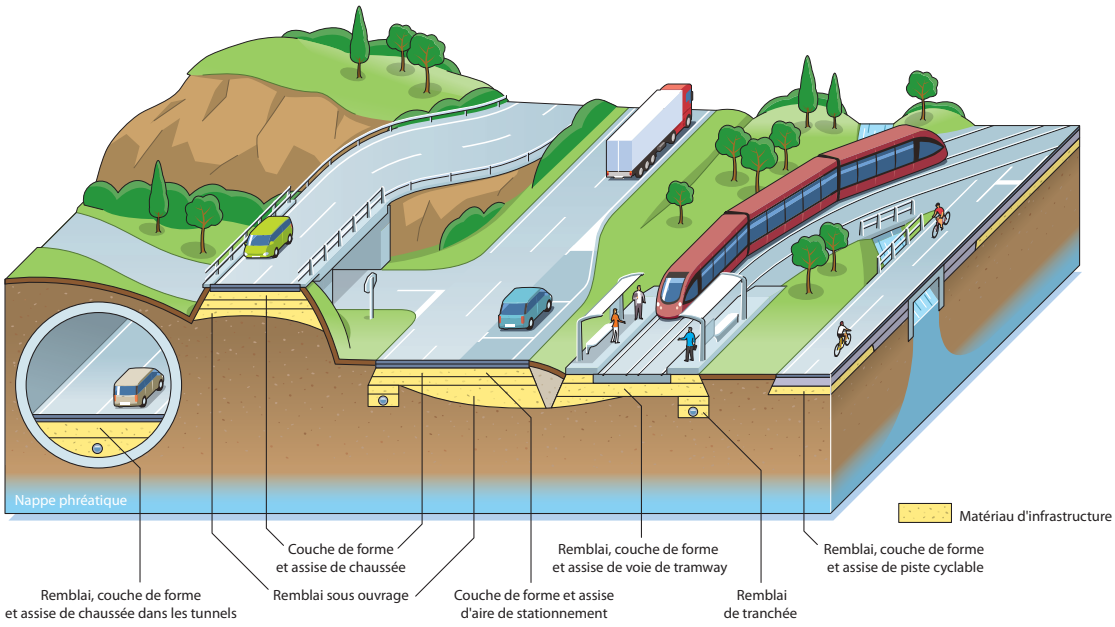
Les usages visés dans le cadre du présent guide d'application sont les usages en infrastructure des types T1, T2 et T3r, tels que définis ci-dessous.

Deux tableaux de synthèse récapitulent la typologie d'usage à considérer compte tenu des épaisseurs de mise en œuvre du matériau d'infrastructure et des caractéristiques de l'ouvrage concerné.

3.1.1 Les usages en infrastructure de type T1

Les usages en infrastructure de type T1 sont les usages d'au plus trois mètres de hauteur en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de chaussée, de voie ou d'accotement d'ouvrages d'infrastructure linéaire de transport terrestre revêtus[4].

4. Un ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre est réputé « revêtu » si sa couche de surface est réalisée à l'aide d'asphalte, d'enrobés bitumineux, d'enduits superficiels d'usure, de béton de ciment ou de pavés jointoyés par un matériau lié.



Infographie : Lorenzo Timon

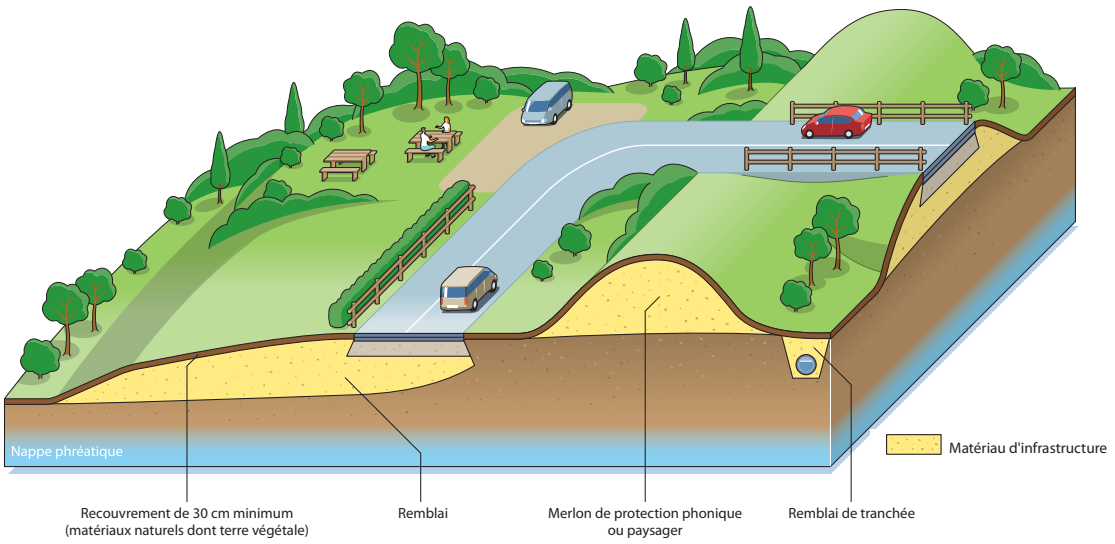
Exemples d'usages de type T1

3.1.2 Les usages en infrastructure de type T2

Les usages en infrastructure de type T2 sont les usages d'au plus six mètres de hauteur :

- en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de chaussée, de voie ou d'accotement d'ouvrages d'infrastructure linéaire de transport terrestre recouverts[5] ;
- en remblai technique recouvert[5] connexe à l'infrastructure linéaire de transport terrestre (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple).

Relèvent également des usages en infrastructure de type T2, les usages de plus de trois mètres et de moins de six mètres de hauteur en remblai sous ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre revêtu.



Infographie : Lorenzo Timon

Exemples d'usages de type T2

5. Un ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre est réputé « recouvert » si les graves de mâchefer qui y sont présentes sont recouvertes par au moins 30 cm de matériaux naturels ou équivalents.

3.1.3 Les usages en infrastructure de type T3r

Les usages en infrastructure de type T3r sont les usages de plus de six mètres de hauteur :

- en remblai sous ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre revêtu ou recouvert ;
- en remblai technique recouvert connexe à l'infrastructure linéaire de transport terrestre (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple).

Les usages de type T3r ne font l'objet d'aucune restriction d'épaisseur de mise en œuvre.

Note : Pour tout autre usage en infrastructure linéaire de transport terrestre non couvert par le guide méthodologique [2], une étude, menée conformément aux dispositions de la norme NF EN 12920+A1 [4], doit être produite.

Note : Pour tout autre usage couvert par le guide méthodologique [2], l'exploitant de l'IME doit produire les éléments justifiant l'acceptabilité environnementale et sanitaire au regard des prescriptions qui y sont consignées et les soumettre pour validation au Cerema.

Sont concernés les usages :

- en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de chaussée, de voie ou d'accotement d'ouvrages d'infrastructure linéaire de transport terrestre non revêtus et non recouverts ;
- en remblai technique non recouvert connexe à l'infrastructure linéaire de transport terrestre (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple) ;
- en couche de surface ou de roulement ;
- en remblai de préchargement nécessaire à la construction d'une infrastructure linéaire de transport terrestre ;
- en système drainant (tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir, par exemple).

3.1.4 Tableaux de synthèse

Les deux tableaux suivants récapitulent la typologie d'usage à considérer compte tenu des épaisseurs de mise en œuvre du matériau d'infrastructure et des caractéristiques de l'ouvrage concerné.

Remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de chaussée, de voie ou d'accotement		**Caractéristique de l'ouvrage**	
		Revêtu	Recouvert
Épaisseur de mise en œuvre du matériau d'infrastructure	h ≤ 3 m	T1	T2
	3 < h ≤ 6 m	T2	
	h > 6 m	T3r	T3r

Remblai technique connexe à l'infrastructure linéaire de transport terrestre		**Caractéristique de l'ouvrage**
		Recouvert
Épaisseur de mise en œuvre du matériau d'infrastructure	h ≤ 6 m	T2
	h > 6 m	T3r

RAPPEL

Un ouvrage est réputé « revêtu » si sa couche de surface est réalisée à l'aide d'asphalte, d'enrobés bitumineux, d'enduits superficiels d'usure, de béton de ciment ou de pavés jointoyés par un matériau lié.

Un ouvrage est réputé « recouvert » si les matériaux d'infrastructure qui y sont présents sont recouverts par au moins 30 centimètres de matériaux naturels ou équivalents.

3.2 Référentiels d'utilisation, normes, guides

La grave de mâchefer sortant d'une IME est utilisable pour :

- la réalisation de remblais et de couches de forme :
  - selon la norme NF P11-300 : *Terrassements - Classification complémentaire des matériaux de terrassement*, janvier 2025,
  - selon le *Guide des terrassements des remblais et des couches de forme*, GTR, fascicules 1 et 2, Idrrim/Cerema, 2024,
  - selon le Guide GTS *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des remblais et des couches de forme.* Sétra/LCPC, 2000 ;

- la réalisation d'assises de chaussée, voiries, parkings ou plateformes :
  - selon la norme NF EN 13285 : *Graves non traitées – Spécifications*, juin 2018,
  - selon la norme NF EN 13242+A1 : *Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées*, mars 2008,
  - selon la norme NF EN 14227-1 : *Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 1 : Mélanges granulaires traités au ciment*, août 2013
  - selon la norme NF EN 14227-5 : *Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 5 : Mélanges granulaires traités aux liants hydrauliques routiers*, août 2013,

- la réalisation de remblais de tranchée :
  - selon la norme NF P98-331 : *Chaussées et dépendances - Tranchées : ouverture, remblayage, réfection*, août 2020,
  - selon la norme NF P11-300 *Terrassements - Classification complémentaire des matériaux de terrassement,* janvier 2025,
  - selon le Guide technique *Remblayage et réfections des tranchées*, Sétra/LCPC, 1994,
  - selon le Guide technique *Études et réalisations de tranchées*, Sétra, 2001.

Les fiches d'emploi des graves de mâchefer présentées en annexe 5.4 décrivent les modalités de mise en œuvre de la grave de mâchefer, traitée ou non :

Tableau 1 : Référentiels normatifs et référence de fiche à consulter en annexe 5.4 en fonction des usages

	Remblai	Remblai de tranchée	Couche de forme	Couche d'assise
Grave de mâchefer non traitée	**Fiche 1** NF P11-300 GTR	**Fiche 2** NF P11-300 NF P98-331	**Fiche 3** NF P11-300 GTR	**Fiche 4** NF EN 13285 NF EN 13242+A1
Grave de mâchefer traitée	Usage non adapté	**Fiche 2** NF P11-300 NF P98-331	**Fiche 3** NF P11-300 GTS	**Fiche 4** NF EN 13285 NF EN 13242+A1 NF EN 14227-5 NF EN 14227-1

3.3 Limitations d'usage

3.3.1 Limitations d'usage liées aux caractéristiques physico-chimiques

3.3.1.1 Principes

Pour tout lot d'un même mâchefer élaboré, l'exploitant de l'IME procède sur un échantillon :

- à l'étude du comportement à la lixiviation menée conformément à la norme NF EN 12457-2 [5] ;
- à l'évaluation de la teneur intrinsèque en éléments polluants sur la base des résultats d'une analyse en contenu total.

L'échantillon constitué à cette fin doit être représentatif du lot de mâchefer élaboré à caractériser et confectionné selon les prescriptions consignées en annexe 5.2.

Les analyses sont réalisées par un organisme tiers compétent dans un délai d'un mois à compter de la date de constitution de l'échantillon, en respectant les prescriptions fixées en annexe 5.3.

L'ensemble des paramètres à analyser sont consignés dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 5.1.

Note : Tant que la conformité environnementale et sanitaire n'est pas établie, il est possible d'effectuer un nouveau contrôle sur l'ensemble des paramètres de l'essai de lixiviation à une phase plus avancée de la maturation tout en respectant le délai maximum d'un an à compter de la date de constitution du lot périodique de mâchefers dont est issu le lot de mâchefer élaboré.

D'autre part, la phase d'élaboration ayant peu ou pas d'influence sur la teneur intrinsèque en éléments polluants du mâchefer élaboré, la vérification de la conformité environnementale et sanitaire au regard des paramètres concernés peut être effectuée directement sur un échantillon représentatif du lot périodique de mâchefer brut qui servira à la constitution du lot de mâchefer élaboré à caractériser. Ainsi, sous réserve de l'accord, d'une part, de l'Inspection des installations classées et, d'autre part, de l'exploitant de l'IME qui a la responsabilité de vérifier la conformité environnementale et sanitaire des graves de mâchefer qu'il produit, la mesure de la teneur intrinsèque en éléments polluants peut être menée par l'ITTDND sur son mâchefer brut et les résultats du contrôle sont transmis à l'IME pour chaque lot périodique de mâchefers bruts réceptionné par cette dernière.

3.3.1.2 Classement environnemental et sanitaire d'un lot de grave de mâchefer

Dès lors que la formulation n'intègre pas de matériaux autres que des mâchefers élaborés, des granulats naturels et des liants hydrauliques routiers ou hydrocarbonés, un lot de grave de mâchefer peut quitter l'IME pour être envoyé vers un chantier d'infrastructure linéaire de transport terrestre si les mâchefers élaborés entrant dans sa composition respectent les valeurs limites de l'annexe 5.1 pour l'usage visé.

Note : Dans le cas d'autres procédés ne bénéficiant pas de l'expérience antérieure à la rédaction de ce guide d'application, en particulier si les matériaux autres que des granulats naturels, des liants hydrauliques routiers ou hydrocarbonés entrent dans la composition de la grave de mâchefer, cette dernière doit faire l'objet d'une évaluation environnementale et sanitaire conformément au guide méthodologique *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre – Étude environnementale et sanitaire* [2].

Les résultats de l'étude du comportement à la lixiviation et de l'évaluation de la teneur intrinsèque en éléments polluants donnent lieu au classement environnemental et sanitaire de tout lot de grave de mâchefer.

Ce classement intervient dans un délai maximum d'un an à compter de la date de fin de constitution du lot périodique de mâchefers bruts le plus ancien entrant dans la composition du lot de grave de mâchefer. Ce délai peut éventuellement être raccourci en fonction de la capacité maximale de stockage autorisée de l'IME.

Tableau 2 : Classement environnemental et sanitaire, et destination des lots de grave de mâchefer

Résultat de contrôle de la teneur intrinsèque et du comportement à la lixiviation	Au moins un paramètre est non conforme aux valeurs limites associées aux usages de type T1	Tous les paramètres sont conformes aux valeurs limites associées à l'usage de type T1	Tous les paramètres sont conformes aux valeurs limites associées à l'usage de type T2	Tous les paramètres sont conformes aux valeurs limites associées à l'usage de type T3r
Classement environnemental et sanitaire du lot de grave de mâchefer	S	V1	V2	V3r
Destination du lot de grave de mâchefer	Envoi en installation de stockage de déchets non dangereux	Emploi sur chantier pour les usages en infrastructure de type T1	Emploi sur chantier pour les usages en infrastructure de type T2	Emploi sur chantier pour les usages en infrastructure de type T3r

3.3.1.3 Regroupement de différents lots périodiques

Le regroupement de différents lots périodiques sur une IME peut s'avérer nécessaire, notamment pour répondre au besoin d'un chantier spécifique, et peut concerner des lots périodiques de mâchefers élaborés ou de graves de mâchefer (non recomposées, recomposées ou traitées) ayant fait l'objet d'un classement environnemental et sanitaire selon les prescriptions du chapitre 3.3.1.2.

Le regroupement de différents lots périodiques est alors possible si chacun des lots périodiques bénéficie d'un classement environnemental V1, V2 ou V3r.

Note : En particulier, aucun lot périodique bénéficiant d'un classement environnemental et sanitaire S ne peut être regroupé avec d'autres lots périodiques, même si le stock ainsi regroupé pourrait être jugé conforme d'un point de vue environnemental et sanitaire.

Dans ces conditions, le stock de mâchefers élaborés ou de graves de mâchefer regroupés bénéficie d'un classement environnemental et sanitaire :
- V1 si au moins un des lots périodiques est classé V1 ;
- V2 si au moins un des lots périodiques est classé V2 et aucun n'est classé V1 ;
- V3r si tous les lots périodiques sont classés V3r.

Note : À l'exception des graves de mâchefer recomposées dans les conditions fixées par la note du chapitre 2.3.1, tous les mâchefers concernés par le regroupement doivent provenir de la même ITTDND.

Les graves de mâchefer recomposées dans les conditions fixées par la note du chapitre 2.3.1 ne peuvent être regroupées avec des graves de mâchefer de composition et origine différente.

3.3.2 Limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage

À l'exception de celles classées V3r, l'utilisation de graves de mâchefer est interdite sauf avis contraire d'un hydrogéologue :
- dans les zones inondables et à moins de 50 cm des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues ;
- à moins de 30 m de tout cours d'eau, y compris canaux, lacs et étangs. Cette distance est portée à 60 m si l'altitude du lit du cours d'eau est inférieure de plus de 20 m 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 ;
- dans les périmètres de protection rapprochée (PPR) des captages d'alimentation en eau potable (AEP) ;
- dans les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, en application de l'article L.211-12 du Code de l'environnement, au titre de la protection de la ressource en eau ;
- dans les zones de karsts affleurants, si l'utilisation est faite à l'intérieur d'une zone de protection particulière de la ressource en eau, en particulier dans le périmètre de protection éloigné (PPE) d'un captage d'alimentation en eau potable (AEP) ou au sein d'une aire d'alimentation de captage (AAC) ;
- dans les parcs nationaux.

3.3.3 Limitations d'usage liées à la mise en œuvre

Un stock tampon de graves de mâchefer dans l'emprise du chantier est généralement nécessaire afin de répondre aux besoins du chantier tout en s'affranchissant de l'irrégularité des approvisionnements.

Les stocks tampons ne sont pas soumis à la réglementation relative aux ICPE, mais des limitations d'usage sont nécessaires pour en restreindre le volume et la durée, dans la mesure où l'exposition des graves de mâchefer aux eaux météoriques peut être plus importante à ce stade qu'une fois mises en œuvre.

À ce titre, la capacité du stock tampon d'un chantier d'infrastructure linéaire de transport terrestre doit être limitée aux seuls besoins permettant de s'affranchir de l'irrégularité des approvisionnements du chantier.

À l'exception des graves de mâchefer classées V3r, cette capacité de stockage ne peut excéder 1 000 m^3, sauf avis contraire d'un hydrogéologue.

CHAPITRE 4

Assurance qualité & traçabilité

4 • ASSURANCE QUALITÉ & TRAÇABILITÉ

Une procédure d'assurance qualité doit être mise en place pour permettre d'assurer la fiabilité des contrôles et pour répondre aux prescriptions de l'arrêté préfectoral de l'IME. Cette procédure doit aborder au minimum l'ensemble des sujets repris ci-dessous.

Note : Afin de pouvoir justifier - auprès des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises de travaux publics et bureaux de contrôle de la parfaite prise en compte des exigences fixées par le présent guide d'application, le Cerema a développé le label Mat'Valo®.

Les installations de recyclage détentrices de ce label sont auditées régulièrement par le Cerema et peuvent donc se prévaloir de disposer de procédures d'assurance qualité et de traçabilité robustes couvrant l'ensemble des sujets repris dans le présent chapitre.

4.1 Approvisionnement des mâchefers bruts

L'IME reçoit des lots périodiques de mâchefers bruts en provenance d'ITTDND dans les limites de son autorisation préfectorale.

Les approvisionnements de mâchefers bruts sont au minimum accompagnés des bons de pesée émis par l'ITTDND.

Ces bons de pesée précisent :
- le nom du producteur de mâchefers bruts ;
- la date d'évacuation ;
- le poids net de mâchefers bruts ;
- la nature du matériau ;
- l'identification du lot périodique ;
- l'identification du transporteur.

Les bons de pesée sont conservés dans un registre des entrées des mâchefers bruts.

4.2 Réception des mâchefers bruts

Un contrôle visuel de la qualité des mâchefers bruts en entrée de l'IME est réalisé à chaque déchargement.

Si les mâchefers bruts déchargés contiennent des éléments indésirables (par exemple des imbrûlés en grande quantité) ou un produit autre, ou si sa teneur en eau est anormalement élevée, l'exploitant de l'IME informe le producteur et rédige une fiche d'écart. Ce dernier et l'IME prennent alors conjointement la décision :
- de refuser le dépôt du mâchefer brut sur l'IME. Il est alors isolé en attente d'évacuation par l'exploitant de l'ITTDND ;
- d'accepter le mâchefer brut. Il est alors déchargé dans la zone de dépôt correspondant au lot périodique auquel il appartient.

4.3 Planification

Un planning de production est établi en prenant en compte :
- la disponibilité des ressources (moyens humains et matériels) ;
- les qualités et quantités de mâchefers sur le site, ainsi que leur état de maturation ;
- les objectifs généraux de production permettant de disposer des matériaux courants en stock en quantité suffisante pour répondre aux enlèvements courants ;
- les commandes programmées ;
- l'entretien à réaliser sur l'installation ;
- la remontée d'informations : problèmes, réclamations clients ;
- le traitement des écarts en cours (incidents, non-conformités, etc.).

4.4 Exploitation du gisement : maturation et traitement mécanique

La production de mâchefer élaboré nécessite un matériel en état de fonctionnement et étalonné. L'entretien du matériel de production, son calibrage et la vérification des appareils de mesure sont réalisés régulièrement.

Après l'égouttage des mâchefers bruts éventuellement humides, le traitement mécanique est planifié, afin d'extraire les métaux (ferreux et non ferreux), les imbrûlés légers (ou refus) et de calibrer les mâchefers bruts en vue d'obtenir le mâchefer élaboré.

Les déchets provenant du traitement mécanique sont gérés selon les modalités réglementaires dépendant de leur classement (filières agréées, bordereaux de suivi, etc.).

Le fonctionnement des équipements du traitement mécanique est détaillé dans un synoptique.

4.5 Stockage - gestion des stocks

Les mâchefers bruts dès leur réception sont stockés par lots périodiques clairement identifiés et séparés.

Les dépôts de graves de mâchefer sont identifiés (plan de stockage et panneautage) et physiquement séparés.

Toutes les dispositions visant à éviter toute pollution et tout mélange lors du stockage et du déstockage sont prises.

4.6 Contrôles

4.6.1 Contrôles géotechniques

Les essais géotechniques sur les graves de mâchefer permettent de s'assurer de la conformité d'usage.

Ils permettent d'établir les fiches techniques des graves de mâchefer (exemples en annexe 5.6). Ces contrôles sont effectués sur des échantillons prélevés selon un plan de contrôles préalablement défini ou en fonction des demandes des clients.

4.6.2 Contrôles environnemental et sanitaire

Le contrôle du comportement à la lixiviation et de la teneur intrinsèque en éléments polluants est réalisé conformément aux dispositions du chapitre 3.3.1.

4.7 Traitement des écarts

Lorsque les contrôles montrent un écart entre ce qui était attendu et le matériau réceptionné ou traité ou lors de la survenue d'un incident, il y a systématiquement rédaction d'une fiche d'écart qui comprend au minimum la date et l'heure du constat d'écart ou d'incident et la nature de l'écart ou de l'incident.

L'exploitant de l'IME informe le producteur du mâchefer brut de l'écart constaté, ils prennent alors conjointement une décision pour traiter l'écart ou l'incident.

4.8 Traçabilité en sortie d'IME

D'une manière générale, tout lot de grave de mâchefer classé V1, V2 ou V3r peut être employé sur un chantier d'infrastructure linéaire de transport terrestre et proposé à la commercialisation.

Les matériaux non valorisables ou non valorisés dans les délais réglementaires sont dirigés vers des installations de stockage agréées.

4.8.1 Traçabilité entre l'IME et l'installation de stockage

Les matériaux destinés à être envoyés sur une installation de stockage quittent l'IME accompagnés éventuellement d'un BSD, et le cas échéant de la documentation justifiant du caractère non recyclable pour solliciter l'exemption de la TGAP.

4.8.2 Traçabilité entre l'IME et le chantier de mise en œuvre

Tout lot de grave de mâchefer fait l'objet d'une traçabilité jusqu'au chantier.

Les éléments suivants constituent la procédure d'assurance qualité liant l'exploitant, l'entreprise chargée de l'exécution des travaux et le transporteur.

4.8.2.1 Fiche d'information

Avant la livraison sur le chantier d'infrastructure linéaire de transport terrestre ou au moment de celle-ci, ou lors de la première d'une série de livraisons d'une même grave de mâchefer, l'exploitant de l'IME fournit à l'entreprise chargée de l'exécution des travaux une fiche d'information (annexe 5.5) indiquant notamment :

- les usages en infrastructure autorisés compte tenu du classement environnemental et sanitaire de la grave de mâchefer ;
- les limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage ainsi que celles liées à la mise en œuvre de la grave de mâchefer.

Dans tous les cas, l'exploitant de l'IME tient à la disposition de son client les résultats de la vérification de la conformité environnementale et sanitaire pendant une durée de trois ans.

4.8.2.2 Registre de sortie

L'exploitant de l'IME tient à jour un registre de sortie, dans lequel il consigne pour chaque chargement de grave de mâchefer quittant l'installation :

- le nom, l'adresse postale et le numéro SIRET de l'installation de traitement thermique de déchets non dangereux qui a produit les lots périodiques ayant servi à la constitution des différents mâchefers élaborés entrant dans la composition de la grave de mâchefer ;
- le nom, l'adresse postale et, le cas échéant, le numéro SIRET du maître d'ouvrage des travaux ;
- le nom, l'adresse postale et le numéro SIRET de l'entreprise chargée de l'exécution des travaux ;
- le nom, l'adresse postale et le numéro SIREN des transporteurs, si le transport n'est pas effectué par l'entreprise chargée de l'exécution des travaux ;
- la référence des lots périodiques ayant servi à la constitution des différents mâchefers élaborés entrant dans la composition de la grave de mâchefer ;
- la quantité de grave de mâchefer quittant l'installation ;
- la date de sortie de l'installation ;
- l'usage en infrastructure effectif ;
- le libellé et les coordonnées GPS du chantier.

Ce registre intègre également la fiche d'information (annexe 5.5), accompagnée éventuellement de la fiche technique de la grave de mâchefer (exemples en annexe 5.6), et des bons de livraison édités lors de la pesée des évacuations des graves de mâchefer vers le chantier.

Ce registre est conservé pendant au moins dix ans et est tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

Ces dispositions n'exonèrent pas l'exploitant de l'IME du respect des autres obligations réglementaires auxquelles il est soumis.

4.8.2.3 Bilan de fin de chantier

L'exploitant de l'IME établit un bilan à la fin de chaque chantier qu'il transmet au responsable de la mise en œuvre.

5 • Annexes

5.1 Référentiel de conformité environnemental et sanitaire 38

5.2 Prescriptions pour les prélèvements et la préparation des échantillons 40

5.3 Prescriptions pour les laboratoires d'essais 42

5.4 Fiches d'emploi des graves de mâchefer 45

5.5 Fiche d'information 50

5.6 Exemples de fiche technique de grave de mâchefer 52

5.7 Bibliographie 54

5.8 Acronymes 54

5 • ANNEXES

5.1 Référentiel de conformité environnemental et sanitaire

Le comportement à la lixiviation est évalué sur la base des résultats d'un essai de lixiviation mené conformément à la norme NF EN 12457-2 [5] sur un échantillon représentatif du lot à caractériser.

Les valeurs limites à respecter pour les quantités relarguées à un ratio L/S = 10 l/kg sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Valeurs limites en émission dans l'eau à ne pas dépasser en fonction de l'usage envisagé

PARAMÈTRE	Valeur limite en émission dans l'eau (mg/kg de matière sèche à L/S=10 l/kg)		
	Usages Type T1	Usages Type T2	Usages Type T3r
As	0,8	0,6	0,6
Ba	56	28	25
Cd	0,4	0,2	0,05
Cr total	1,2	0,6	0,6
Cu	20	20	3
Hg	0,08	0,04	0,01
Mo	5,6	2,8	0,6
Ni	1,6	0,8	0,5
Pb	1,6	1	0,6
Sb	0,7	0,6	0,08
Se	0,8	0,4	0,1
Zn	30	30	5
Fluorures	60	30	30
Chlorures (*)	10 000	5 000	5 000
Sulfates (*)	10 000	5 000	5 000
Fraction soluble (*)	20 000	10 000	10 000

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

La teneur intrinsèque en éléments polluants est évaluée sur la base des résultats d'une analyse en contenu total menée sur un échantillon représentatif du lot à caractériser.

Les valeurs limites à respecter en contenu total sont consignées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Valeurs limites en contenu total à ne pas dépasser en fonction de l'usage envisagé

PARAMÈTRE	Valeur limite en contenu total Usages Types T1, T2 et T3r
COT (carbone organique total)	30 000 mg/kg de matière de sèche
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6 mg/kg de matière de sèche
PCB (polychlorobiphényles, 7 congénères)	1 mg/kg de matière de sèche
HC (hydrocarbures, C10-C40)	500 mg/kg de matière de sèche
HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques, 16 US-EPA)	50 mg/kg de matière de sèche
Dioxines et furanes (*)	10 ng I-$TEQ_{OMS, 2005}$ / kg de matière sèche

(*) Calcul de l'I-TEQ avec concentration égale à zéro pour tout congénère de concentration inférieure à la limite de quantification (LQ)

5.2 Prescriptions pour les prélèvements et la préparation des échantillons

La présente annexe précise les modalités à suivre pour les prélèvements et la préparation des échantillons.

Les modalités à suivre sont celles consignées dans le guide méthodologique [2], reprenant notamment celles des normes NF EN 14899, FD CEN/TR 15310 (parties 1 à 5), NF EN 932-1 et NF EN 932-2.

Les prélèvements peuvent s'effectuer de deux manières différentes :
- sur bande transporteuse à l'arrêt ;
- sur stock.

Dans tous les cas, la constitution d'un échantillon pour laboratoire est précédée de la réalisation d'un échantillon global de taille importante, représentatif du stock échantillonné.

L'échantillon de laboratoire est issu de la réduction de l'échantillon global après homogénéisation.

5.2.1 Masses à prélever

Les normes NF EN 932-1 et NF EN 932-2 fournissent des indications sur la masse minimum à prélever pour constituer l'échantillon global, la masse minimum des prélèvements unitaires constituant l'échantillon global ainsi que sur celle de l'échantillon de laboratoire réduit. Ces masses dépendent de la masse volumique du matériau et du diamètre du plus gros élément (Dmax).

Le site de production pourra adapter les quantités prélevées, mais un minimum d'une vingtaine d'échantillons élémentaires est nécessaire pour réaliser un composite.

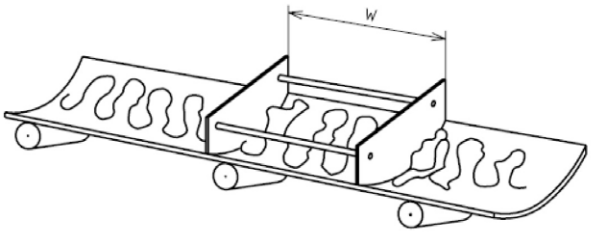
Pour un matériau ayant un Dmax = 32 mm, les normes granulats proposent les quantités minimum à prélever suivantes :
- masse minimale d'un échantillon global : 45 kg
- masse minimale des prélèvements unitaires constituant l'échantillon global : 2 kg
- masse minimale de l'échantillon de laboratoire réduit : 2 kg

5.2.2 Appareillage et procédure de prélèvement, constitution de l'échantillon global

5.2.2.1 Prélèvements sur bande transporteuse à l'arrêt

L'échantillon global est constitué de plusieurs prélèvements sur bandes transporteuses à l'arrêt. Le nombre et la répartition dans le temps des prélèvements doivent être choisis de manière que l'échantillon global soit représentatif du lot. Tous les prélèvements doivent être faits au même point d'échantillonnage. Le matériau de chaque prélèvement doit provenir d'une section transversale complète (pelle et balayette nécessaires) de la bande transporteuse. Il peut être utilisé un cadre d'échantillonnage.

L'ensemble des prélèvements sur bande sont mélangés pour constituer l'échantillon global.



Exemple de cadre d'échantillonnage (NF EN 932-1)

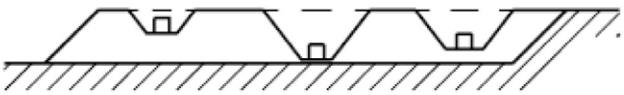
5.2.2.2 Prélèvements sur stock

C'est le type d'échantillonnage le plus utilisé sur une IME.

Pour minimiser l'effet de la ségrégation du stock, des prélèvements de taille à peu près égale doivent être effectués en différents points à différentes hauteurs ou profondeurs sur l'ensemble du stock.

Dans le cas particulier des stocks de mâchefer élaboré, la partie superficielle du stock ne doit pas être prélevée (maturation non représentative). Aux endroits des prélèvements, la surface du stock est écartée sur plus de 30 cm de profondeur.

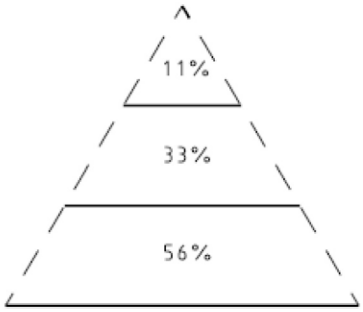
L'emplacement et le nombre de prélèvements doivent tenir compte de la manière dont le stock est construit, de sa forme et de la possibilité de ségrégation interne. Le prélèvement peut être fait à l'aide d'une pelle à main, d'une pelle mécanique ou d'une benne au point le plus profond de chaque trou réalisé par un engin.



Échantillonnage sur stocks plats (NF EN 932-1)

Sur un stock en forme de toit dont la base est plus longue dans un sens que dans l'autre, où l'on suspecte une ségrégation, les quantités prélevées correspondent à ce qu'indique la figure ci-après.

Aussi prend-on dans le stock 5 fois plus de prélèvements sur le tiers inférieur et 3 fois plus de prélèvements sur le tiers médian que sur le tiers du haut, soit dans ce cas au moins 18 prélèvements (10 en bas, 6 au milieu, 2 en haut). Ces prélèvements mélangés constituent l'échantillon global qui sera réduit pour transmission au laboratoire.



Échantillonnage sur stocks en forme de toit (NF EN 932-1)

Dans le cas de stocks importants, une chargeuse est utilisée pour découvrir une surface d'échantillonnage à l'intérieur du stock. Un certain nombre de godets (pas moins de 3) est prélevé sur cette surface pour être mélangé et former un tas en vue de l'échantillonnage. Une pelle est utilisée pour prélever en des emplacements choisis au hasard dans le tas.

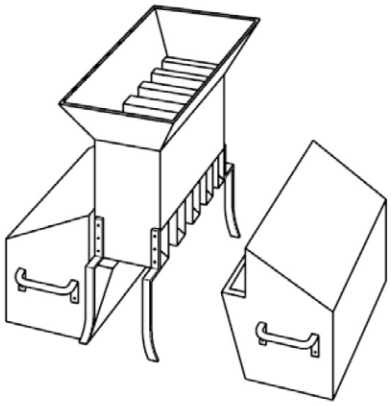
5.2.3 Réduction de l'échantillon global – Constitution de l'échantillon pour laboratoire

L'échantillon global issu des prélèvements unitaires doit être réduit pour transmission au laboratoire, afin de fournir à ce dernier la quantité adaptée à la réalisation des essais environnementaux et sanitaires, quantité qui est généralement définie dans la norme d'essai correspondante. Par exemple :

- essai de lixiviation selon NF EN 12457-2 [5] : minimum 2 kg ;
- analyse des composés organiques : minimum 0,5 kg.

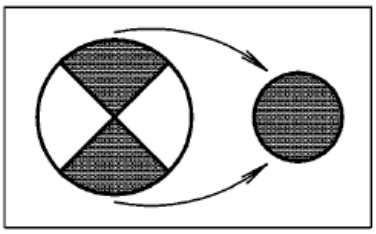
Après homogénéisation à la pelle de l'échantillon global, plusieurs méthodes de réduction de l'échantillon global sont possibles :

- la plus utilisée et la plus fiable en laboratoire est l'emploi d'un diviseur à couloir : l'échantillon global est inséré en haut du diviseur et séparé en deux fractions égales en passant dans les couloirs. L'opération est répétée jusqu'à obtenir un échantillon de quantité adaptée selon les essais à réaliser (cf. ci-dessus) pour envoi au laboratoire pratiquant les essais environnementaux et sanitaires ;



Exemple de diviseur à couloirs (NF EN 932-1)

- par quartage, généralement sur site à proximité du stock échantillonné : faire un tas avec les échantillons (le tas est mélangé au moins 3 fois), couper en 4 quarts, regrouper 2 quarts opposés et recommencer jusqu'à obtenir un échantillon environ de quantité adaptée selon les essais à réaliser (cf. ci-dessus) pour envoi au laboratoire pratiquant les essais environnementaux et sanitaires.



Réduction de l'échantillon par quartage (NF EN 932-1)

5.2.4 Conservation de l'échantillon pour laboratoire

Placer l'échantillon final dans :

- des bocaux en verre pour la mesure des organiques ;
- un sac plastique étanche pour les autres essais, en veillant à chasser l'air du sac et le fermer hermétiquement.

D'une manière générale, il convient d'exclure les récipients en aluminium.

5.2.5 Protections individuelles

Gants, masque à poussière.

5.2.6 Établissement du rapport d'échantillonnage

Un rapport est établi pour chaque échantillon pour laboratoire, selon la trame fournie à la section 11 de la norme NF EN 932-1. Il est conservé au minimum 3 ans.

5.3 Prescriptions pour les laboratoires d'essais

La présente annexe fournit les recommandations pour les laboratoires d'analyse qui seront chargés des essais de lixiviation et des analyses subséquentes ainsi que des essais de détermination du contenu total pour les paramètres spécifiés dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 5.1.

Dans tous les cas, au moins un sous-échantillon devra être conservé aux fins de contrôle ou de répétition d'un essai en cas d'erreur de manipulation ou de résultat douteux. Cet échantillon devra être conservé à 4 °C maximum à l'abri de l'air et de la lumière.

5.3.1 Préparation des échantillons pour essais de lixiviation et analyses des éluats

5.3.1.1 Réduction de la granularité

Si le matériau présente au moins 95 % des particules (en masse) ayant une taille inférieure à 4 mm, appliquer la procédure décrite au §4.3.2 de la norme NF EN 12457-2 [5].

En aucun cas, le matériau ne doit être finement broyé. En cas de matériau trop humide, se reporter à la procédure de séchage ci-dessous.

5.3.1.2 Procédure de séchage éventuelle

Si l'échantillon pour laboratoire ne peut être ni concassé ni tamisé du fait de son humidité, il est possible, et seulement dans ce cas, de le sécher en utilisant la procédure suivante :

- délai maximum entre la réception au laboratoire et le début du séchage : 24 heures ;
- température de séchage : 40 °C ± 2 °C sous atmosphère normale ;
- durée de séchage : 24 heures, ou à défaut jusqu'à « poids constant » (variation de masse < 1 % entre deux pesées successives à 2 h d'intervalle, avec reprise du séchage entre les deux pesées).

5.3.1.3 Normes d'analyses et d'essais à utiliser

Essai de lixiviation : NF EN 12457-2 : Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bâchée unique avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité).

Analyse des éluats : FD CEN/TR 16192 : Caractérisation des déchets - Analyse des éluats.

5.3.1.4 Expression des résultats d'analyse

Les résultats d'analyse sont exprimés en mg/kg de matière sèche, selon les spécifications fournies dans la norme NF EN 12457-2 [5]. Les méthodes d'analyse sont choisies de manière que les limites de détection et de quantification associées permettent de positionner sans ambigüité les résultats obtenus avec les valeurs limites des paramètres analysés et spécifiées dans les tableaux 3 et 4 de l'annexe 5.1.

5.3.1.5 Flaconnages

Flaconnages adéquats pour chaque analyse à fournir par le laboratoire. Privilégier les lignes directrices spécifiées dans la norme NF EN ISO 5667-3.

5.3.1.6 Délai d'analyses et de fourniture des PV d'essai

Engagement à préciser au demandeur lors de la proposition.

5.3.1.7 Détail des normes d'essais pour les analyses des éluats

Tableau 5 : Normes d'essai et limites de quantification minimales pour les analyses sur éluats

			Normes pour l'analyse des éluats selon FD CEN/TR 16192	
Paramètre	Limite de quantification minimale		Norme d'essai à respecter	Norme d'essai alternative[6]
	mg/kg de MS	mg/l		
As	0,05	0,005	**NF EN ISO 11885 ou NF ISO 17378-1 ou NF ISO 17378-2**	NF EN ISO 17294-2
Ba	1	0,1	**NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Cd	0,01	0,001	**ISO 8288 ou NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Cr total	0,1	0,01	**NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Cu	1	0,1	**ISO 8288 ou NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Hg	0,005	0,0005	**NF EN ISO 12846**	NF EN ISO 17294-2 ou NF EN ISO 17852
Mo	0,1	0,01	**NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Ni	0,1	0,01	**ISO 8288 ou NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Pb	0,1	0,01	**ISO 8288 ou NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Sb	0,04	0,004	**NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2 ou NF ISO 17378-1 ou NF ISO 17378-2
Se	0,05	0,005	**NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2 ou ISO/TS 17379-1 ou ISO/TS 17379-2
Zn	1	0,1	**ISO 8288 ou NF EN ISO 11885**	NF EN ISO 17294-2
Fluorures	1	0,1	**NF EN ISO 10304-1 ou ISO 10359-1**	NF T90-004
Chlorures	10	1	**NF ISO 9297 ou NF EN ISO 10304-1 ou NF EN ISO 15923-1**	NF EN ISO 15682
Sulfates	10	1	**NF EN ISO 10304-1 ou NF EN ISO 15923-1**	NF T90-040
Fraction soluble	100	10	**NF EN 15216**	NF T90-029

6. En cas d'utilisation de normes d'analyse alternatives, comme les méthodes validées pour l'analyse de l'eau, telles que les techniques FG-SAA, ICP-MS pouvant être utilisées dans ce cadre, leur adéquation à l'analyse des éluats doit être vérifiée et justifiée par le laboratoire conduisant l'analyse.

5.3.2 Préparation des échantillons pour analyse des composés organiques sur solide

5.3.2.1 Conservation et prétraitement des échantillons

Les échantillons doivent être conservés hermétiquement à l'abri de la lumière à une température d'environ 4 °C et extraits dans la semaine. Si cela n'est pas possible, les échantillons doivent être conservés à une température égale ou inférieure à -18 °C. Les échantillons doivent être homogénéisés avant analyse.

5.3.2.2 Réduction de la granulométrie

Les prises d'essais sont généralement de faible masse. Il convient donc de tester un échantillon présentant une faible granularité. L'échantillon de laboratoire pourra faire l'objet d'une réduction granulométrique conformément à la méthode d'essai.

L'existence dans le laboratoire d'un local dédié à la préparation des matériaux est indispensable. Celui-ci doit être équipé de diviseurs d'échantillons, d'étuves, de dispositifs de tamisage, de concasseurs, de broyeurs (de différentes natures).

5.3.2.3 Procédure de séchage éventuelle

Si l'échantillon pour laboratoire ne peut être ni concassé ni tamisé du fait de son humidité, il est possible, et seulement dans ce cas, de le sécher en utilisant la procédure suivante :

- délai maximum entre la réception au laboratoire et le début du séchage : 24 heures ;
- température de séchage : 40 °C ± 2 °C sous atmosphère normale ;
- durée de séchage : 24 heures, ou à défaut jusqu'à « poids constant » (variation de masse < 1 % entre deux pesées successives à 2 h d'intervalle, avec reprise du séchage entre les deux pesées).

Note : le séchage en vue de l'analyse des HC, HAP et BTEX est fortement déconseillé.

5.3.2.4 Flaconnages

Les échantillons seront conservés dans des flacons en verre.

5.3.2.5 Délai d'analyses et de fourniture des PV d'essai

Engagement à préciser au demandeur lors de la proposition.

5.3.2.6 Détails des normes d'essai pour les analyses en composition

Tableau 6 : Normes d'essai et limites de quantification minimales pour les analyses en contenu total

		Normes pour l'analyse des composés organiques	
Paramètre	Limite de quantification minimale	Norme d'essai à respecter	Norme d'essai alternative[7]
COT	1 000 mg/kg de matière sèche	NF EN 15936	NF ISO 10694 NF EN 17505
BTEX	Benzène : 0,05 mg/kg de matière sèche TEX : 0,1 mg/kg de matière sèche	NF EN ISO 22155 ou NF EN ISO 15009	-
PCB	0,01 mg/kg de matière sèche	NF EN 17322	-
HC	25 mg/kg de matière sèche	NF EN 14039	NF EN ISO 16703
HAP	0,1 mg/kg de matière sèche	NF EN 17503	NF ISO 18287
Dioxines et furanes	1 ng I-$TEQ_{OMS,2005}$/kg de matière sèche	NF EN 1948	-

7. En cas d'utilisation de normes d'analyse alternatives, leur adéquation à l'analyse du matériau doit être vérifiée et justifiée par le laboratoire conduisant l'analyse. La raison de la divergence doit être indiquée dans le rapport d'essai.

5.4 Fiches d'emploi des graves de mâchefer

Les fiches d'emploi, ci-après ont été établies à partir des normes en vigueur à la date de publication et des guides de recommandations, LCPC/Sétra :

- *Guide des terrassements des remblais et des couches de forme*, GTR, fascicules 1 et 2, IDRRIM/Cerema, 2024 ;
- 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, Sétra/LCPC, 2000 ;
- Guide technique *Remblayage et réfections des tranchées*, Sétra/LCPC, 1994 ;
- Guide technique *Études et réalisations de tranchées*, Sétra, 2001 ;
- Guide technique *Conception et dimensionnement des structures de chaussée*, LCPC/Sétra, 1994 ;
- *Catalogue de dimensionnement des structures de chaussées*, LCPC/Sétra, 1998 ;
- Norme NF P98-086 : *Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves*, mai 2019.

FICHE D'EMPLOI DES GRAVES DE MÂCHEFER N°1 – LES REMBLAIS

NF P11-300 Terrassements - Classification complémentaire des matériaux de terrassement
Guide des terrassements des remblais et couches de forme - Fascicules 1 & 2 – GTR – Idrrim/Cerema 2024

Types d'usage en infrastructure

Cette fiche concerne l'utilisation des graves de mâchefer pour la réalisation de remblai jusqu'à 6 mètres de hauteur (excepté les remblais de tranchée) :
- remblai de protection phonique ou visuelle ;
- remblai contigu d'ouvrage d'art ;
- remblai sous ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre.

Caractéristiques et conditions de mise en œuvre

Généralités

Classées AM-B1 selon la NF P11-300, les graves de mâchefer doivent se trouver dans des conditions hydriques h, m ou s (ou être classées AM-B1ins) pour être utilisables en remblai.
Les épaisseurs des couches mises en œuvre ne doivent pas dépasser 40 cm.
La qualité requise du compactage est q4 (référence Proctor Normal).

Exemples de préconisations de compactage :
- compacteur vibrant classé V2, épaisseurs des couches de 25 cm, 7 à 8 applications de charge ;
- compacteur vibrant classé V3, épaisseurs jusqu'à 40 cm avec 8 applications de charge.

Dans tous les cas, il convient d'éviter le surcompactage ainsi que la mise en œuvre de graves de mâchefers trop humides (risque de matelassage).

La teneur en eau des graves de mâchefer à l'application est importante pour la bonne densification du matériau ; la bonne maîtrise de la teneur en eau est impérative.

Précautions particulières

En remblai contigu d'ouvrage d'art, les exigences de compactage sont généralement plus élevées (épaisseur de couches réduites), et il y a lieu d'interposer une séparation imperméable entre le parement de l'ouvrage et le remblai.

Conseils d'amélioration

La formulation par recomposition avec des sables, GNT ou gravillons est possible afin d'améliorer :
- la stabilité immédiate (IPI) ;
- l'insensibilité à l'eau (CBRi) ;
- la granularité ;
- les caractéristiques de dureté.

NB : une formulation avec un autre matériau alternatif requiert une nouvelle caractérisation environnementale et sanitaire.

Restrictions et interdictions



Sous réserve du respect des usages autorisés (types T1, T2 et T3r), des valeurs limites associées, des limitations liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage et des limitations liées à la mise en œuvre.

FICHE D'EMPLOI DES GRAVES DE MÂCHEFER N°2 – LES REMBLAIS DE TRANCHÉES

NF P11-300 Terrassements - Classification complémentaire des matériaux de terrassement
NF P98-331 Chaussées et dépendances – Tranchées : ouverture, remblayage, réfection

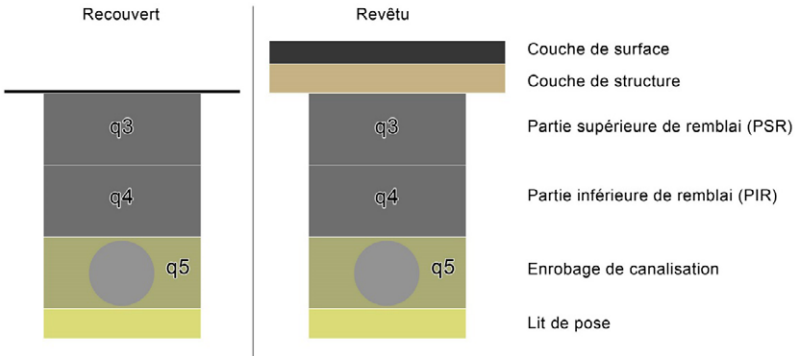
Types d'usage en infrastructure

Cette fiche concerne l'utilisation de graves de mâchefer pour la réalisation de remblais de tranchées.
• remblai de tranchées sous ouvrage ;
• remblai de tranchées hors ouvrage.

Caractéristiques et conditions de mise en œuvre

Généralités

Classées AM-B1 selon la NF P11-300, les graves de mâchefer doivent se trouver dans des conditions hydriques h, m ou s (ou être classées AM-B1ins) pour être utilisables en remblai de tranchées.



Pour les tranchées courantes, les épaisseurs des couches mises en œuvre sont comprises entre 15 et 20 cm, selon les caractéristiques des engins de compactage.

La qualité requise du compactage est q4 en partie inférieure de remblai (PIR), q3 dans la partie supérieure (PSR) et q5 pour l'enrobage de la canalisation. (référence Proctor Normal).

Dans tous les cas, il convient d'éviter le surcompactage ainsi que la mise en œuvre de mâchefers trop humides (risque de matelassage).

Conseils d'amélioration

La formulation par recomposition avec des sables, GNT ou gravillons est possible afin d'améliorer :
• la stabilité immédiate (IPI)
• l'insensibilité à l'eau (CBRi)
• la granularité
• les caractéristiques de dureté

Des matériaux autoplaçants et réexcavables peuvent être fabriqués par traitement d'une grave de mâchefer par un liant hydraulique adapté afin d'améliorer :
• la remise en circulation du trafic
• l'enrobage de la canalisation
• la facilité de mise en œuvre

Des matériaux autoplaçants et réexcavables peuvent être fabriqués à base de mâchefer et d'un liant hydraulique adapté.

NB : une formulation avec un autre matériau alternatif requiert une nouvelle caractérisation environnementale et sanitaire.

Restrictions et interdictions

Sous réserve du respect des usages autorisés (types T1, T2 et T3r), des valeurs limites associées, des limitations liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage et des limitations liées à la mise en œuvre.

FICHE D'EMPLOI DES GRAVES DE MÂCHEFER N°3 – LES COUCHES DE FORME

NF P11-300 Terrassements - Classification complémentaire des matériaux de terrassement
Guide des terrassements des remblais et couches de forme - Fascicules 1 & 2 – GTR – Idrrim/Cerema 2024
Guide de traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – GTS – Sétra/LCPC 2000

Types d'usage en infrastructure

Cette fiche concerne l'utilisation de graves de mâchefer pour la réalisation de couches de forme.

Caractéristiques et conditions de mise en œuvre

Généralités

Classées AM-B1 selon la NF P11-300, les graves de mâchefer doivent se trouver dans des conditions hydriques m (ou être classées AM-B1ins) pour être utilisables en couche de forme.

Les épaisseurs des couches mises en œuvre ne devront pas dépasser 25 cm.

La qualité requise du compactage est q3 (référence Protor Normal). Exemple de préconisations de compactage : compacteur vibrant classé V3, par couches de 25 cm, 10 applications de charge.

Dans tous les cas, il convient d'éviter le surcompactage ainsi que la mise en œuvre de mâchefers trop humides (risque de matelassage).

La teneur en eau des graves de mâchefer à l'application est importante pour la bonne densification du matériau ; la bonne maîtrise de la teneur en eau est impérative.

Graves non traitées

Exemples de mise en œuvre :

Graves de mâchefer non traitées			
Conditions d'utilisation	Classe de l'arase	Épaisseur de grave en cm	Classe de plateforme
Chantier arrêté en cas de forte pluie Humidification nécessaire des AM-B1m en cas de conditions météo évaporantes	AR1 (PST1)	75	PF2 $50 \leq EV_2 \leq 120$ MPa
	AR1 (PST2)	50	
	AR1 (PST3)	40	
	AR2 (PST3)	30	

Graves traitées

Exemples de mise en œuvre :

Graves de mâchefer traitées aux liants hydrauliques			
Conditions d'utilisation	Classe de l'arase	Épaisseur de grave traitée de classes mécaniques 4 ou 3	Classe de plateforme
Chantier arrêté en cas de forte pluie	AR1 (PST1)	35 cm Cl.4 ou 30 cm Cl.3	PF3
	AR1 (PST2)		
	AR1 (PST3)		
	AR2 (PST3)	30 cm Cl.4 ou 25 cm Cl.3	PF3(*)

(*) Sous certaines conditions, l'emploi de graves de mâchefer traitées aux liants hydrauliques permet un classement en PF4.

Précautions particulières

Si la couche de forme doit rester un hiver ou une saison pluvieuse, mettre en place une protection superficielle ou la structure finale avant cette période.
Fonçage des poteaux de glissières de sécurité : non conseillé, risque de corrosion, sauf si les poteaux sont galvanisés.

Optimisation

La formulation par recomposition avec des sables, GNT ou gravillons est possible afin d'améliorer :

- la sensibilité à l'eau (CBRi)
- la granularité
- la stabilité immédiate (IPI)
- les caractéristiques de dureté

NB : une formulation avec un autre matériau alternatif requiert une nouvelle caractérisation environnementale et sanitaire.

Restrictions et interdictions

Sous réserve du respect des usages autorisés (types T1, T2 et T3r), des valeurs limites associées, des limitations liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage et des limitations liées à la mise en œuvre.

FICHE D'EMPLOI DES GRAVES DE MÂCHEFER N°4 – LES COUCHES D'ASSISE

NF EN 13285 Graves non traitées - Spécifications

NF EN 13242+A1 Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil

NF EN 14227-1 Mélanges traités aux ciments – NF EN 14227-5 Mélanges traités aux liants hydrauliques routiers - Spécifications

Types d'usage en infrastructure

Cette fiche concerne l'utilisation de graves de mâchefer pour la réalisation de couches d'assise de chaussées à faible trafic, de voies piétonnes et de pistes cyclables.

Caractéristiques et conditions de mise en œuvre

Généralités

Selon la norme granulat NF EN 13242+A1, les caractéristiques intrinsèques et de fabrication dépendent des modes d'élaboration et d'éventuelles recompositions.
• de manière générale : dureté D à E.

Selon la norme des graves non traitées : NF EN 13285 :
• grave 0/20 : GNT 3 ou GNT 6 en fonction des caractéristiques LA et MDE.

La teneur en eau des graves de mâchefer à l'application est importante pour la bonne densification du matériau ; la bonne maîtrise de la teneur en eau est impérative.

Graves non traitées

Exemple de structure pour une grave de mâchefer de dureté E :

	Plateforme PF1	Plateforme PF2
Trafic T4* Trafic TC1*	BBSG 8 cm Grave naturelle 15 cm Grave de mâchefer 50 cm (en 2 couches)	BBSG 8 cm Grave naturelle 12 cm Grave de mâchefer 30 cm
Trafic T5 Trafic TC0	Enduit superficiel Grave naturelle 15 cm Grave de mâchefer 55 cm (en 2 couches)	Enduit superficiel Grave naturelle 15 cm Grave de mâchefer 30 cm
Voirie légère	Enduit superficiel Grave de mâchefer 30 cm	

Pour une grave de mâchefer de dureté D, la classe de trafic peut être portée à T3 (150 poids-lourds par sens maximum)

* Trafic Ti = classe de trafic déterminée à partir de la moyenne journalière annuelle en PL à la mise en service.

* Trafic TCi = classe de trafic cumulé sur 20 ans avec taux de croissance linéaire annuel de 2 %

Graves traitées

Le traitement par un liant hydraulique d'une grave de mâchefer non recomposée permet pour une utilisation en couche de fondation d'atteindre des classes de trafic T3 (150 poids-lourds par sens maximum) ou T2 (300 poids-lourds par sens maximum).

Le traitement par un liant hydraulique d'une grave de mâchefer recomposée permet pour une utilisation en couche de fondation d'atteindre des classes de trafic plus élevées.

La grave de mâchefer traitée (recomposée ou non) est alors caractérisée selon la norme NF EN 14227-1 ou 5 (selon la nature du liant hydraulique).

Exemples de structures pour une grave de mâchefer traitée aux liants hydrauliques de classe mécanique T3 :

	Plateforme PF2	Plateforme PF3
Trafic TS Trafic TC7	/	Couche de surface 8 cm Grave bitume 13 cm Grave de mâchefer traitée T3 21 cm
Trafic T0 Trafic TC6	Couche de surface 8 cm Grave bitume 14 cm Grave de mâchefer traitée T3 23 cm	Couche de surface 8 cm Grave bitume 11 cm Grave de mâchefer traitée T3 19 cm
Trafic T1 Trafic TC5	Couche de surface 8 cm Grave bitume 12cm Grave de mâchefer traitée T3 20 cm	/

Restrictions et interdictions



Sous réserve du respect des usages autorisés (types T1, T2 et T3r), des valeurs limites associées, des limitations liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage et des limitations liées à la mise en œuvre.

5.5 Fiche d'information

FICHE D'INFORMATION

ENSEMBLE, PARTICIPONS À PRESERVER LES RESSOURCES NATURELLES PAR L'EMPLOI DES GRAVES DE MACHEFER

1 - FABRICANT

Installation de maturation et d'élaboration	Nom : ..... Adresse : ....

2 – MAITRE D'OUVRAGE

Nom :	SIRET : .....
Adresse :	

3 - RESPONSABLE DE LA MISE EN ŒUVRE

Nom :	SIRET : .....
Adresse :	

4 - CHANTIER

Adresse :	
Date :	Coordonnées GPS : .....
Nature de l'ouvrage :	

5 – CLASSEMENT ENVIRONNEMENTAL ET SANITAIRE

V1 ❒	V2 ❒	V3r ❒

6 - MATERIAU D'INFRASTRUCTURE FABRIQUE

Dénomination commerciale :		Norme produit : .....
Grave de mâchefer non recomposée ❒	Grave de mâchefer recomposée ❒	Grave de mâchefer traitée ❒

VISA DU FABRICANT

En signant ce document j'atteste de la véracité des informations consignées aux points 1, 4, 5 et 6.

Nom (responsable de l'installation ou de la production) :	Visa et tampon :
Date :	

7- Prescriptions du guide d'application relatif aux machefers d'incineration de dechets non dangereux

Critères de recyclage liés à la nature de l'usage en infrastructure

Les usages autorisés sont les usages, au sein d'ouvrages d'infrastructures linéaires de transport terrestre, des types T1, T2 et T3r définis ci-après.

Les usages en infrastructure de type T1 sont les usages d'au plus 3 m de hauteur en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de chaussée, de voie ou d'accotement d'ouvrages d'infrastructure linéaire de transport terrestre revêtus.

Un ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre est réputé « revêtu » si sa couche de surface est réalisée à l'aide d'asphalte, d'enrobés bitumineux, d'enduits superficiels d'usure, de béton de ciment ou de pavés jointoyés par un matériau lié.

Les usages en infrastructure de type T2 sont les usages d'au plus 6 m de hauteur :

- en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de chaussée, de voie ou d'accotement d'ouvrages d'infrastructure linéaire de transport terrestre recouverts ;

- en remblai technique recouvert connexe à l'infrastructure linéaire de transport terrestre (merlon de protection phonique ou paysager par exemple).

Relèvent également des usages en infrastructure de type T2, les usages de plus 3 m et d'au plus 6 m de hauteur en remblai sous ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre revêtu.

Un ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre est réputé « recouvert » si les graves de mâchefer qui y sont présentes sont recouverts par au moins 30 cm de matériaux naturels ou équivalents.

Les usages en infrastructure de type T3r sont les usages de plus de 6 m de hauteur :

- en remblai sous ouvrage d'infrastructure linéaire de transport terrestre revêtu ou recouvert ;

- en remblai technique recouvert connexe à l'infrastructure linéaire de transport terrestre (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple).

Les usages en infrastructure de type T3r ne font l'objet d'aucune restriction d'épaisseur de mise en œuvre.

L'utilisation de graves de mâchefer est interdite :

- en remblai sous ouvrage, couche de forme et assise de chaussée, de voie ou d'accotement d'ouvrages d'infrastructure linéaire de transport terrestre non revêtus et non recouverts ;

- en remblai technique non recouvert connexe à l'infrastructure linéaire de transport terrestre (merlon de protection phonique ou paysager, par exemple) ;

- en couche de surface ou de roulement ;

- en remblai de préchargement nécessaire à la construction d'une infrastructure linéaire de transport terrestre ;

- en système drainant (tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir, par exemple).

Critères de recyclage liés à l'environnement immédiat de l'ouvrage

À l'exception de celles classées V3r, l'utilisation de graves de mâchefer est interdite sauf avis contraire d'un hydrogéologue :

- dans les zones inondables et à moins de 50 cm des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues ;

- à moins de 30 m de tout cours d'eau, y compris canaux, lacs et étangs. Cette distance est portée à 60 m, si l'altitude du lit du cours d'eau est inférieure de plus de 20 m à celle de la base de l'ouvrage et dans les zones désignées comme zones 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 ;

- dans les périmètres de protection rapprochée (PPR) des captages d'alimentation en eau potable (AEP) ;

- dans les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, en application de l'article L.211-12 du Code de l'environnement, au titre de la protection de la ressource en eau ;

- dans les zones de karsts affleurants, si l'utilisation est faite à l'intérieur d'une zone de protection particulière de la ressource en eau, en particulier dans le périmètre de protection éloigné (PPE) d'un captage d'alimentation en eau potable (AEP) ou au sein d'une aire d'alimentation de captage (AAC) ;

- dans les parcs nationaux.

Critères de recyclage liés à la mise en œuvre

Un stock tampon de graves de mâchefer dans l'emprise du chantier est généralement nécessaire afin de répondre aux besoins du chantier tout en s'affranchissant de l'irrégularité des approvisionnements.

Les stocks tampons ne sont pas soumis à la règlementation relative aux ICPE mais des limitations d'usage sont nécessaires pour en limiter le volume et la durée dans la mesure où l'exposition des graves de mâchefer aux eaux météoriques peut être plus importante à ce stade qu'une fois mises en œuvre.

À ce titre, la capacité du stock tampon d'un chantier d'infrastructure linéaire de transport terrestre doit être limitée aux seuls besoins permettant de s'affranchir de l'irrégularité des approvisionnements du chantier.

À l'exception des graves de mâchefer classées V3r, cette capacité de stockage ne peut excéder 1 000 m^3, sauf avis contraire d'un hydrogéologue.

Visa du Responsable de la mise en œuvre

En signant ce document j'atteste de la véracité des informations consignées aux points 2 à 4 et m'engage à respecter les prescriptions d'emploi et les limitations d'usage rappelées au point 7.

Nom (responsable du chantier ou de la mise en œuvre) :	Visa et tampon :
Date :	

5.6 Exemples de fiche technique de grave de mâchefer

Site de production XXXX

Fiche Technique de Produit

Date d'émission 01/01/2024 Fin de validité 31/12/2024

Page 1/1, imprimé le lundi 9 décembre 2024

Granulats : **0/20 Grave de Mâchefers**
Pétrographie : MIDND
Elaboration : Concassage & Criblage
Usage : Remblais & Couches de forme

Ancienne classification GTR : F61
Classification GTR 2023 : AM-B1ins
Caractéristiques de compactage:
OPN(0/D): Ds=1,48 Mg/m3 ; IPI=47; W%=24,0%

Partie contractuelle

Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage

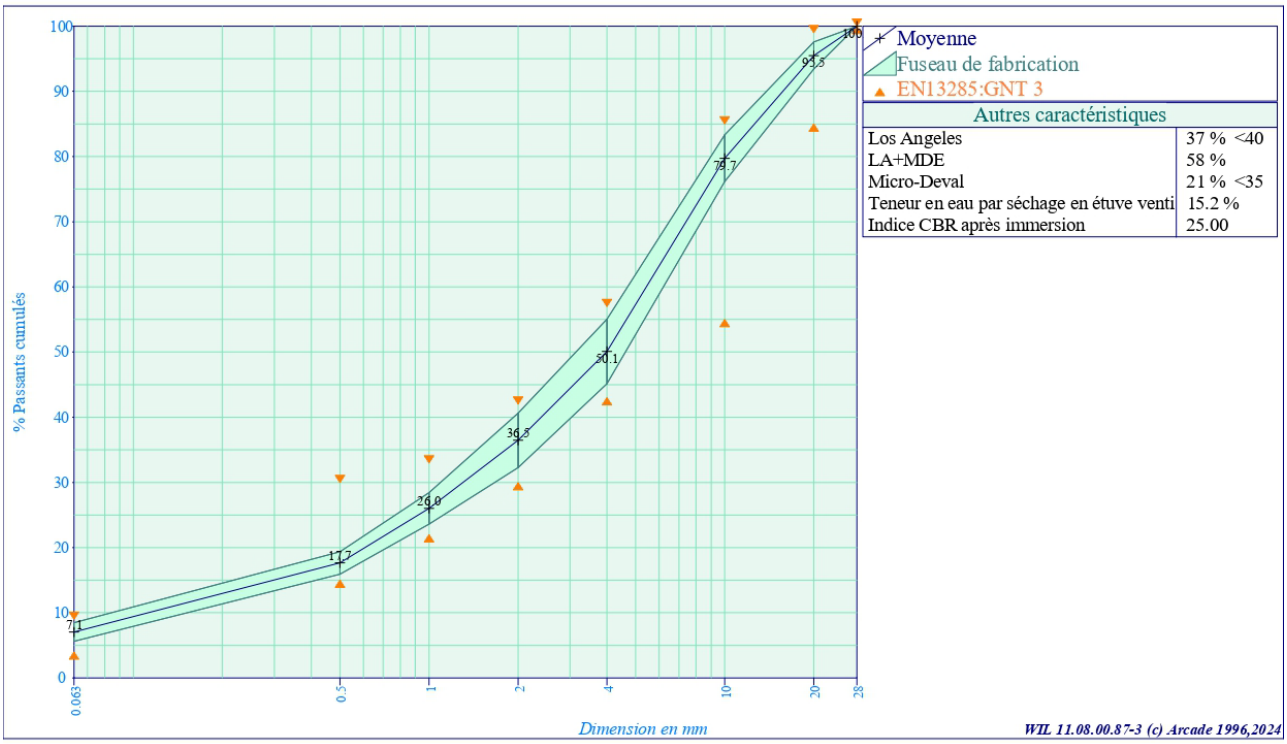
Classe granulaire		Norme	Catégorie
0	20	EN 13285 Graves non traitées	GNT 3

	0.063	0.5	1	2	4	10	20	28
V.S.S.	9.0	30	33	42	57	85	99	100
V.S.I.	4.0	15	22	30	43	55	85	100

Partie informative

Résultats de production

	du 01/02/24 au 11/10/24							
	0.063	**0.5**	**1**	**2**	**4**	**10**	**20**	**28**
Maximum	8.5	20	29	40	54	84	98	100
Moyenne Xf	7.1	18	26	36	50	80	95	100
Minimum	5.0	16	24	32	44	76	93	100
Nombre de résultats	20	20	20	20	20	20	20	20



Site de production XXXX

Fiche Technique de Produit

Date d'émission 01/01/2024 Fin de validité 31/12/2024

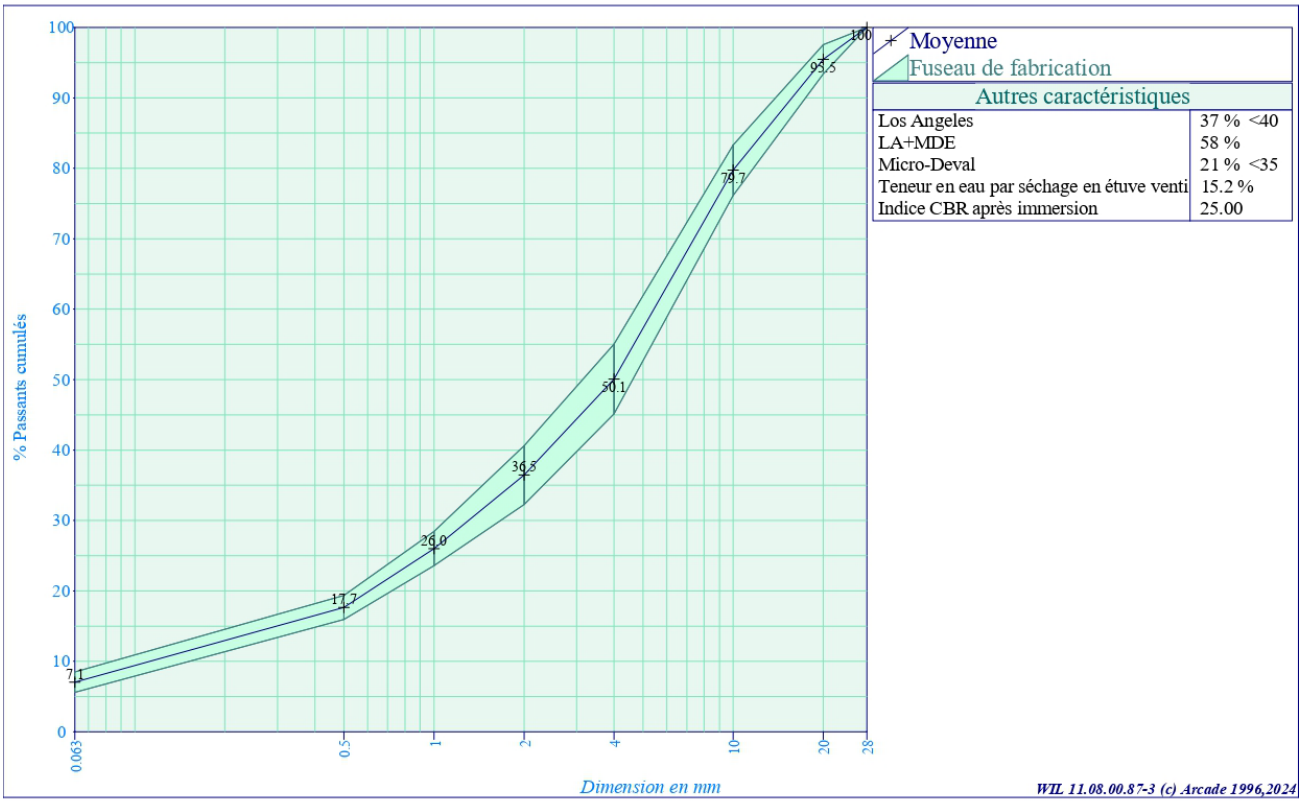
Page 1/1, imprimé le lundi 9 décembre 2024

Granulats : **0/20 Grave de Mâchefers**
Pétrographie : MIDND
Elaboration : Concassage & Criblage
Usage : Remblais & Couches de forme

Ancienne classification GTR : F61
Classification GTR 2023 : AM-B1ins
Caractéristiques de compactage:
OPN(0/D): Ds=1,48 Mg/m3 ; IPI=47; W%=24,0%

Résultats de production

	du 01/02/24 au 11/10/24							
	0.063	**0.5**	**1**	**2**	**4**	**10**	**20**	**28**
Maximum	8.5	20	29	40	54	84	98	100
Moyenne Xf	7.1	18	26	36	50	80	95	100
Minimum	5.0	16	24	32	44	76	93	100
Nombre de résultats	20	20	20	20	20	20	20	20



5.7 Bibliographie

1. Sétra, *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière. Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux* (MIDND), 2012.

2. Cerema, *Valorisation de matériaux alternatifs en infrastructures linéaires de transport terrestre. Étude environnementale et sanitaire*, 2025

3. Note DGPR/BPGD-16-010 du 29/03/2016 relative à la nature des ouvrages de travaux publics dont l'examen de l'acceptabilité environnementale est comparable aux ouvrages routiers.

4. NF EN 12920+A1 : *Caractérisation des déchets – Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées*, novembre 2008.

5. NF EN 12457-2 : *Caractérisation des déchets – Lixiviation – Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bâchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm*, décembre 2002.

5.8 Acronymes

ADEME Agence de la transition écologique

Amorce Association nationale des collectivités territoriales et de leurs partenaires pour la gestion de l'énergie, des déchets, de l'eau et de l'assainissement, de la propreté, en faveur de la transition écologique et de la protection du climat

ANGM Association nationale pour l'utilisation des graves de mâchefer

BSD Bordereau de suivi des déchets

CBRi California Bearing Ratio après immersion

Cerema Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

COT Carbone organique total

DASRI Déchet d'activités de soins à risques infectieux

DGPR Direction générale de la prévention des risques

GTR Guide des terrassements des remblais et couches de forme

GTS Guide du traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques

ICPE Installation classée pour la protection de l'environnement

IDRRIM Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité

IME Installation d'élaboration et de maturation

Ineris Institut national de l'environnement industriel et des risques

IPI Indice portant immédiat

ITTDND Installation de traitement thermique de déchets non dangereux

LA Essai Los Angeles

LCPC Laboratoire central des ponts et chaussées

MDE Essai Micro-Deval

MIDND Mâchefer d'incinération de déchets non dangereux

OPM Optimum Proctor modifié

OPN Optimum Proctor normal

Sétra Services d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

SVDU Syndicat national du traitement et de la valorisation des déchets urbains

UNPG Union nationale des producteurs de granulats

TRADUCTIONS

Reuse of alternative materials in linear land-based transport infrastructure

Bottom ash from the incineration of non-hazardous waste

Each year in France, around 3 million tonnes of bottom ash from non-hazardous waste incineration are produced, accounting for approximately 15% to 20% of the gross weight of incinerated waste.

Within a circular economy framework, the recycling of these materials is key to reducing the overall impacts of consuming natural resources and emitting greenhouse gases. In this context, linear land-based transport infrastructure projects represent a suitable outlet for the recovery and reuse of this type of bottom ash.

This publication serves as a reference guide for the recycling of bottom ash from non-hazardous waste incineration in linear land-based transport infrastructure.

It is intended for all public and private stakeholders involved in the management and reuse of these materials.

Aprovechamiento de materiales alternativos en infraestructuras lineales de transporte terrestre

Escorias procedentes de la incineración de residuos no peligrosos

Cada año se generan en Francia alrededor de tres millones de toneladas de escorias procedentes de la incineración de residuos no peligrosos, lo cual representa entre el 15 % y el 20 % del peso bruto de los residuos incinerados.

Desde una perspectiva de economía circular, su aprovechamiento constituye un instrumento clave para reducir los impactos globales asociados al uso de los recursos naturales y a la emisión de gases de efecto invernadero. En este sentido, las operaciones de infraestructuras lineales de transporte terrestre constituyen un sector adecuado para el aprovechamientos de las escorias procedentes de la incineración de residuos no peligrosos.

Esta obra constituye el referencial para cualquier aprovechamiento de escorias de incineración de residuos no peligrosos en los trabajos de infraestructuras lineales de transporte terrestre.

Va dirigida a todos los actores públicos y privados implicados en dicho aprovechamiento de escorias de incineración de residuos no peligrosos.

AGIR POUR DES TERRITOIRES ADAPTÉS AU DÉFI CLIMATIQUE

Le Cerema, référent public en aménagement, accompagne l'État, les collectivités et les entreprises pour adapter les territoires au changement climatique.

Il joue un rôle clé dans l'élaboration et la mise en œuvre de politiques publiques nationales et de projets territoriaux adaptés au climat de demain dans 6 domaines d'activité : aménagement et stratégies territoriales, bâtiment, mobilités, infrastructures de transport, environnement et risques, mer et littoral.

Avec des équipes multidisciplinaires et 27 implantations sur les territoires de l'Hexagone et des Outre-mer, le Cerema dispose d'une approche globale pour conseiller, innover et fédérer.

Centre de ressources national et public, il produit de nombreuses connaissances et études liées à ses activités. Il les diffuse par le biais de publications d'ouvrages, de formations et de journées techniques. Toutes ces données publiques sont en accès libre, pour soutenir l'innovation et les bonnes pratiques afin d'adapter les territoires au défi climatique.

Le Cerema relève des ministères chargés de l'Aménagement du territoire et de la Transition écologique.

© 2026 - Cerema

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (article L. 122-4 du Code de la propriété intellectuelle). Cette reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et L. 335-3 du CPI.

Cet ouvrage a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement (norme PEFC) et fabriqué proprement (norme ECF). L'imprimerie Dupliprint est une installation classée pour la protection de l'environnement et respecte les directives européennes en vigueur relatives à l'utilisation d'encres végétales, le recyclage des rognures de papier, le traitement des déchets dangereux par des filières agréées et la réduction des émissions de COV.

Coordination : Direction de la Stratégie et de la Communication / Pôle éditions
Conception de la maquette graphique : Farénis
Mise en page : Laurent Mathieu
Impression : Dupliprint – 1 rue du Docteur Sauvé – 53100 Mayenne
Photo couverture : Michel Garnier (EUROVIA)
Achevé d'imprimer : juin 2026
Dépôt légal : juin 2026
ISSN : 2276-0164
ISBN : 978-2-37180-786-0 (pdf) - 978-2-37180-785-3 (Papier)

Éditions du Cerema
Siège social : 2 rue Antoine Charial – CS 33 927 – 69426 Lyon Cedex 03
cerema.fr

VALORISATION DE MATÉRIAUX ALTERNATIFS EN INFRASTRUCTURES LINÉAIRES DE TRANSPORT TERRESTRE

LES MÂCHEFERS D'INCINÉRATION DE DÉCHETS NON DANGEREUX (MIDND)

Chaque année en France, environ trois millions de tonnes de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux sont générés, représentant entre 15 % et 20 % en poids brut des déchets incinérés.

Dans une logique d'économie circulaire, leur valorisation constitue un levier incontournable pour réduire les incidences globales liées à l'utilisation des ressources naturelles et l'émission de gaz à effet de serre. À ce titre, la construction d'infrastructures linéaires de transport terrestre constitue une filière adaptée pour la valorisation de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux.

Le présent ouvrage révise et remplace le guide Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière – Les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux édité en octobre 2012 par le Sétra (devenu Cerema en 2014). Il constitue le référentiel à suivre pour toute valorisation en infrastructures linéaires de transport terrestre. L'arrêté ministériel du 18/11/11 relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux va être prochainement révisé en cohérence avec les dispositions du présent guide.

Il s'adresse à l'ensemble des acteurs publics et privés concernés par la valorisation de mâchefers d'incinération de déchets non dangereux.

Environnement & risques

AMÉNAGEMENT & STRATÉGIES TERRITORIALES I BÂTIMENT I MOBILITÉS I INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT I **ENVIRONNEMENT & RISQUES** I MER & LITTORAL

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

cerema.fr
AGIR POUR DES TERRITOIRES ADAPTÉS AU DÉFI CLIMATIQUE
Siège social : 2 rue Antoine Charial – CS 33 927 – 69426 Lyon Cedex 03 – Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30.

ISSN : 2276-0164
ISBN : 978-2-37180-786-0
9 782371 807860