

# Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière

Les sables de fonderie





*Guide d'application*

# **Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière**

Les sables de fonderie



**L'ouvrage est une œuvre collective réalisée sous la direction du Cerema.**

Le présent guide d'application a été rédigé par un groupe de travail composé de :

- Dominique BOUTIGNY (SEVT/GDE)
- Laurent CHATEAU (Ademe)
- Frédéric DEGOUVE (Antea)
- Didier DESMOULIN (Colas/Usirf)
- Bernard DUQUET (CTIF)
- Anne GOURDIN puis Charlotte MOUGEOT (FFF)
- Nathalie GRISARD (Suez R&V Louches)
- Benoit SARCELET (Veolia)
- Béatrice TORRALBA (CTIF)
- Patrick VAILLANT (Cerema)
- Julien WALIGORA (Eiffage)

**Comment citer cet ouvrage :**

Cerema. *Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Les sables de fonderie*  
Bron : Cerema, 2019. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-383-1



# Sommaire

<b>Avant-propos</b>	<b>5</b>
<b>1 - Introduction, objet et définitions</b>	<b>7</b>
1.1 - Introduction	7
1.2 - Objet	7
1.3 - Définitions	8
<b>2 - Description du gisement et des matériaux fabriqués</b>	<b>10</b>
2.1 - Les déchets de sables de fonderie	10
2.1.1 - Généralité sur les techniques de moulage/noyautage	10
2.1.2 - Principaux procédés et matériaux utilisés pour le moulage sable	11
2.1.3 - Les procédés de recyclage et de régénération du sable dans les fonderies et production de déchets	12
2.1.4 - Caractéristiques chimiques	13
2.1.5 - Caractéristiques physiques	14
2.1.6 - Classification géotechnique	15
2.2 - Élaboration des matériaux alternatifs et routiers	16
2.2.1 - Caractérisation et réception des déchets de sable de fonderie	16
2.2.2 - Élaboration du matériau alternatif	17
2.2.3 - Production du matériau routier	18
<b>3 - Domaines d'emploi et limitations d'usage</b>	<b>20</b>
3.1 - Usages routiers pris en compte	20
3.1.1 - Les usages routiers de type 1	20
3.1.2 - Les usages routiers de type 2	21
3.1.3 - Les usages routiers de type 3	21
3.2 - Limitations d'usage	22
3.2.1 - Limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier	22
3.2.2 - Limitations d'usage liées à la mise en œuvre du matériau routier	23
3.2.3 - Tableau de synthèse des limitations d'usage	23
<b>4 - Assurance Qualité environnementale</b>	<b>24</b>
4.1 - Contrôle lié à la caractérisation environnementale des matériaux alternatifs	24
4.2 - Périodicité des contrôles	25
4.3 - Stockage et gestion des stocks	25
4.4 - Traçabilité et organisation de la qualité	25
<b>Annexes</b>	<b>26</b>
Annexe 1 - Liste des références géotechniques	26
Annexe 2 - Référentiel de conformité environnementale	28
Annexe 3 - Prescriptions pour les prélèvements et la préparation des échantillons	29
Annexe 4 - Prescriptions pour les laboratoires d'essai	32
Annexe 5 - Fiche d'information	35
Annexe 6 - Acronymes et sigles	37
Annexe 7 - Procédés à prise chimique mis en œuvre en fonderies	38
<b>Bibliographie</b>	<b>39</b>





# Avant-propos

Chaque année en France, la construction et l'entretien des routes nécessitent environ 200 millions de tonnes de granulats naturels. Dans le même temps, des quantités importantes de déchets minéraux sont générées par le secteur de la fonderie, et constituent, potentiellement, un moyen de préserver les ressources naturelles en offrant un gisement intéressant pour l'élaboration de matériaux alternatifs.

Toutefois, le recours à des matériaux alternatifs en technique routière ne pouvant se limiter à la seule vérification de leurs caractéristiques mécaniques et géotechniques, le ministère chargé de l'Environnement a développé une méthodologie permettant d'évaluer les caractéristiques environnementales de ces matériaux qui a été publiée en mars 2011.

L'objectif du présent guide d'application est de favoriser le recyclage des sables de fonderie en indiquant à leurs producteurs les conditions dans lesquelles ils peuvent les recycler sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement. Il permet également de guider les services de l'État pour fixer des critères de recyclage dans les autorisations administratives des installations concernées.

Par ailleurs, ce guide d'application vise à fournir aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre, publics et privés, ainsi qu'aux entreprises, les prescriptions et les exigences opérationnelles relatives à l'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs fabriqués à partir de sables de fonderie lorsqu'ils sont destinés à être utilisés en technique routière. Ces spécifications doivent ainsi permettre aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre de les aider dans l'élaboration des cahiers des charges des projets ou l'analyse des variantes proposées dans le cadre d'appels d'offres.

Ce guide s'applique aux matériaux alternatifs fabriqués à partir des déchets de sable de fonderie, dont la fonction envisagée a été préalablement justifiée pour les usages routiers du point de vue de leurs performances techniques.

Le contenu de ce guide s'inscrit résolument dans une démarche de promotion de l'utilisation de matériaux alternatifs en technique routière sur tout le territoire national, dans des conditions environnementales maîtrisées. En ce sens, il concourt à répondre aux objectifs communautaires en matière de recyclage des déchets.

Ce guide d'application a été élaboré à l'initiative de la Fédération Forge et Fonderie. Il a été validé par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) avec l'appui de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) et du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), en concertation avec des représentants de la maîtrise d'ouvrage et des associations de protection de l'environnement.

Le directeur général  
de la prévention des risques

Cédric Bourillet





# 1 Introduction, objet et définitions

## 1.1 - Introduction

Afin de faciliter et promouvoir le recyclage des sables de fonderie, la Fédération Forge et Fonderie et le CTIF se sont, depuis plusieurs années, engagés auprès des pouvoirs publics.

Cet engagement s'est traduit notamment depuis 2003, par des projets de recherche sur l'identification des phénomènes de dégradation et de formation de composés organiques et minéraux dans les sables, des projets de recherche de technologie de régénération de sable et des actions de veille technologique. Un programme de caractérisation environnementale des sables de fonderie a été mené au niveau national en 2014 et 2015. Ces études scientifiques ont permis l'acquisition d'importantes connaissances sur le comportement environnemental de ces matériaux.

Le présent guide est le fruit de ces études et constitue l'application au gisement de sables de fonderie définis au chapitre 1.3, de la démarche d'évaluation du guide méthodologique « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière - Évaluation environnementale » (Sétra, mars 2011) [1].

Les spécifications environnementales qui sont proposées sont applicables aux matériaux alternatifs fabriqués à partir de sables de fonderie, et dont l'adéquation fonctionnelle à un usage en technique routière a été préalablement justifiée au regard des normes et/ou spécifications d'usage en vigueur (normes produits, normes d'usages, guides techniques régionaux, etc.) rappelées en annexe 1.

**Ainsi, pour l'utilisation en technique routière de matériaux alternatifs et routiers élaborés à partir des sables de fonderie définis au chapitre 1.3, il n'est pas utile de se référer à la démarche d'évaluation générale du guide méthodologique [1] ; les seules prescriptions et exigences environnementales du présent guide d'application sont suffisantes.**

## 1.2 - Objet

Ce guide d'application a pour objet de fournir les spécifications opérationnelles concernant l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets de sable de fonderie en technique routière. Il ne s'applique qu'aux matériaux alternatifs et routiers fabriqués à partir des gisements de sables de fonderie définis au chapitre 1.3.

Il précise le cadre dans lequel doit s'inscrire le plan d'assurance de la qualité de leur fabrication, les limitations relatives à leurs usages et les recommandations à observer concernant leur stockage temporaire dans l'emprise du chantier ainsi que les conditions de leur mise en œuvre.

Enfin, il fournit les obligations des différents acteurs d'un projet routier en vue d'assurer la traçabilité des chantiers ayant recouru à leur utilisation.

Ce guide d'application s'adresse principalement :

- aux entreprises de fabrication et d'application pour qu'elles puissent proposer des matériaux alternatifs et routiers dans le respect des dispositions du présent guide ;
- aux exploitants de fonderies, afin de leur permettre de répondre aux obligations réglementaires en matière de gestion de leurs déchets (hiérarchie des modes de traitement, traçabilité, recours à des filières adaptées, etc.) ;
- aux maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre qui souhaitent utiliser ces matériaux alternatifs en technique routière afin qu'ils intègrent dans leurs projets et appels d'offres les modalités adaptées ;
- à l'inspection des installations classées pour qu'elle puisse y trouver les dispositions adaptées concernant le recyclage des sables de fonderie en technique routière.

Ce guide est révisable à tout moment, à la demande de l'une des parties concernées dès lors que l'évolution des techniques, le retour d'expérience, et les données disponibles le justifient ainsi qu'en cas de nouvelles exigences induites par l'évolution du cadre juridique et réglementaire national et/ou européen.



## 1.3 - Définitions

Dans le présent guide, la terminologie suivante est utilisée :

### Déchets de sable de fonderie

Déchets de sable générés par les fonderies mettant en œuvre des procédés de moulage et/ou noyautage avec du sable et plus particulièrement des opérations de fabrication de moules et noyaux, de décochage et dessablage des pièces de fonderie, de recyclage ou régénération du sable.

Ces déchets relèvent pour l'essentiel des rubriques suivantes de l'annexe à la décision 2000/532/CE de la Commission du 3 mai 2000 modifiée :

- 10 09 08 / 10 10 08 : Noyaux et moules de fonderie de métaux ferreux/non ferreux, ayant subi la coulée, ne contenant pas de substances dangereuses ;
- 10 09 06 / 10 10 06 : Noyaux et moules de fonderie de métaux ferreux/non ferreux, n'ayant pas subi la coulée, ne contenant pas de substances dangereuses.

Cependant, dans le cas de fonderies de grande taille, les sables issus des opérations de dessablage de pièces de fonderie peuvent être gérés séparément et peuvent alors relever de la rubrique 12 01 17 (déchets de grenailage ne contenant pas de substances dangereuses).

### Matériau alternatif (MA)

Tout matériau élaboré à partir de déchets de sable de fonderie et destiné à être utilisé, seul ou en mélange avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, au sein d'un matériau routier.

Un matériau alternatif est donc un constituant, éventuellement unique, d'un matériau routier.

### Matériau routier (MR)

Tout matériau alternatif ou mélange d'un matériau alternatif avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, répondant à un usage routier.

Un matériau routier est donc un matériau apte à quitter une installation de recyclage pour être mis en œuvre en l'état sur des chantiers routiers.

Il peut par exemple s'agir d'un matériau alternatif utilisé seul, d'un mélange de deux matériaux alternatifs, d'un mélange d'un matériau alternatif avec un matériau naturel, d'un mélange d'un matériau alternatif avec un liant (hydraulique ou hydrocarboné), ou bien d'une combinaison de toutes ces possibilités.

### Usage routier

Usage pour lequel des matériaux sont utilisés à des fins de construction, de réhabilitation ou d'entretien d'ouvrages routiers.

### Ouvrage routier

Ouvrage supportant un trafic routier (voie de circulation ou aire de stationnement), ou ouvrage situé dans l'emprise routière et dont la construction a été rendue nécessaire par l'existence de l'infrastructure (protection phonique, visuelle, etc.).

### Installation de recyclage

Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) destinée à réceptionner les déchets de sable de fonderie et à le transformer en matériau alternatif puis routier après une étape d'élaboration suivie, le cas échéant, d'une étape de formulation.

Ce type d'installation, fixe ou mobile, permanente ou temporaire, relève en général des rubriques 2515 (traitement de déchets inertes) et 2517 (stockage et transit de déchets inertes) ou des rubriques 2791 (traitement de déchets non dangereux) et 2716 (stockage et transit de déchets non dangereux) de la nomenclature des ICPE.



## **Élaboration**

Opération reposant sur une combinaison de traitements physiques simples (concassage, criblage, déferrailage, scalpage, lavage, tri), dits de « préparation », visant à produire un matériau alternatif à partir d'un déchet de sable de fonderie.

## **Formulation**

Opération visant à mélanger un matériau alternatif avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, dans des proportions déterminées afin de produire un matériau routier.

Le matériau alternatif est plus communément qualifié de « traité » lorsqu'il est mélangé avec un liant hydraulique ou hydrocarboné, et de « non traité » lorsqu'il ne l'est pas.

De même, le matériau alternatif peut être qualifié de « recomposé » lorsqu'il est simplement mélangé avec d'autres matériaux granulaires.

## 2

# Description du gisement et des matériaux fabriqués

## 2.1 - Les déchets de sables de fonderie

Le secteur de la fonderie génère annuellement environ 350 000 tonnes de déchets de sable dont les deux tiers environ pourraient être valorisés en technique routière selon des usages particuliers [Sources : données de CTIF, d'Ofrir].

**Nota :** il est interdit de procéder à une opération de stabilisation, une dilution ou à un mélange de déchets de sable de fonderie dans le seul but de satisfaire aux critères d'acceptabilité environnementale définis dans le présent guide d'application.

### 2.1.1 - Généralité sur les techniques de moulage/noyautage

L'industrie de la fonderie produit des pièces à usage divers obtenues par remplissage d'une empreinte avec un alliage métallique en fusion. Cette empreinte appelée « moule » est conçue comme la réplique en creux de la pièce à fournir après solidification et refroidissement du métal coulé. Pour les pièces creuses, les formes d'évidement sont obtenues au moyen de noyaux.

Les moules peuvent être métalliques, en sable ou en cire tandis que les noyaux sont essentiellement en sable. Le procédé de moulage sable est le plus largement utilisé par la branche fonderie. La production de fonte et d'acier est mise en œuvre dans des fonderies de sable, alors que la production de non ferreux y est pour moitié.

Le schéma suivant présente l'ensemble du process mis en œuvre dans les fonderies de sable et permet de situer les opérations de moulage, décochage, régénération de sable au cours desquelles les déchets de sable sont générés.

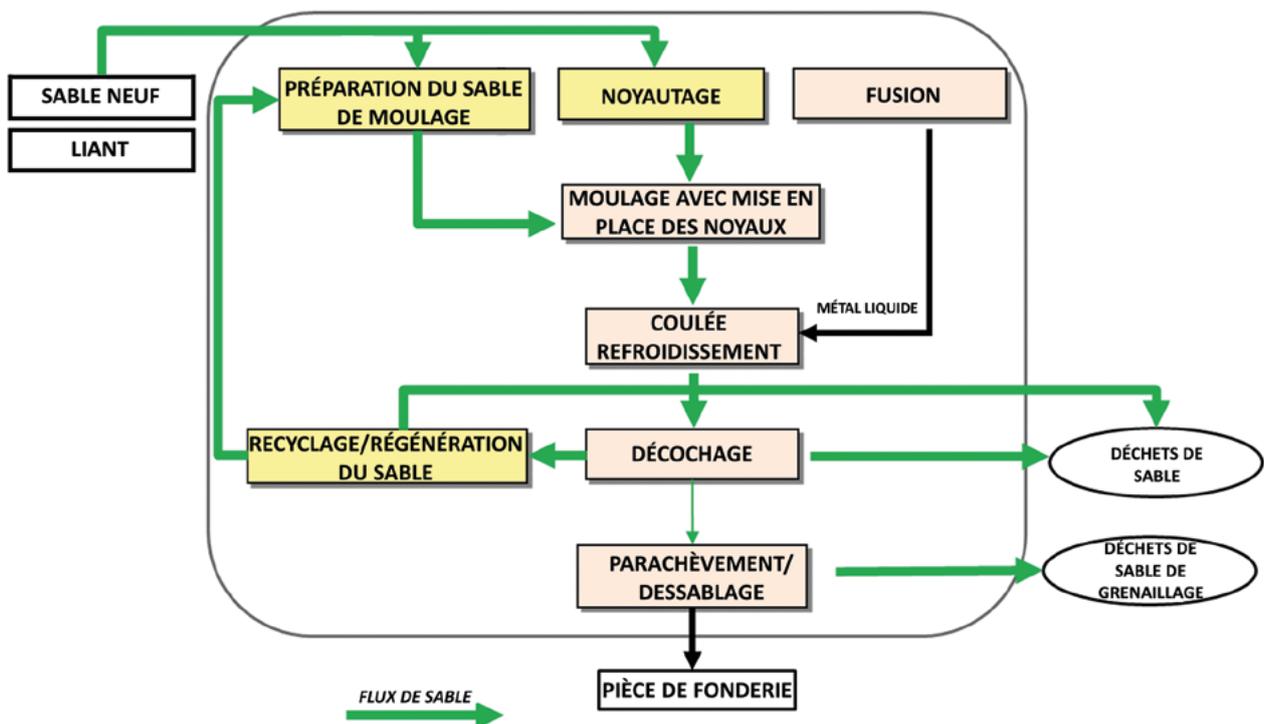


Figure 1 : Les phases du process de fonderie avec moulage sable (Source : CTIF)



## 2.1.2 - Principaux procédés et matériaux utilisés pour le moulage sable

Il existe de nombreux procédés utilisés en fonderie, le choix dépend de la taille de la pièce, du nombre de pièces à fabriquer et de la nature de l'alliage à couler.

### Procédés argileux :

Le procédé « sable à vert » met en œuvre du sable siliceux (quartz) aggloméré par une argile et de l'eau. Ce type de moulage est utilisé pour toutes les séries, mais surtout pour les grandes à très grandes séries. La bentonite (5 à 10 % du sable) est le type d'argile le plus utilisé en fonderie ; elle permet la formation de ponts entre les grains de sable et assure la cohésion du moule. La bentonite chauffée au-delà de 800 °C est calcinée. Entre 500 °C et 800 °C, la bentonite perd son eau cristalline, ce qui la rend non réutilisable (sa capacité de gonflage est perdue).

Dans les fonderies de fonte, le procédé en sable à vert est utilisé avec du « noir » qui permet d'éviter l'oxydation de l'alliage et empêche l'intrusion du métal dans le sable. C'est un charbon gras finement pulvérisé, à haute teneur en matières volatiles (supérieure à 30 %) qui est incorporé dans le sable au taux de 3 à 9 %. Dans la moitié des cas, le charbon est enrichi en produits pétroliers (huiles, résines) ajoutés au mélange comme source de carbone brillant.

Des substituts du noir de charbon sont actuellement mis sur le marché et sont à base de graphite, coke, lignite.

### Procédés à prise chimique :

Pour les procédés à prise chimique, l'agglomération des grains de sable s'effectue avec des résines dont le durcissement est obtenu par une réaction chimique. La quantité de liant est toujours très faible par rapport au sable, de l'ordre de 1 à 3 %. En annexe 7, un tableau présente la composition des liants et des moyens de prise des principaux procédés de moulage/noyautage chimique.

Parmi les procédés de moulage les plus utilisés, les procédés phénoliques et furaniques (procédés acides) représentent près de 40 % du tonnage de résines vendues en France et sont utilisés au moulage pour la fabrication de grosses pièces.

Deux autres procédés, polyuréthane et phénolate alcalin ester (procédés basiques) représentant environ 25 % des ventes, sont plutôt utilisés pour les petites et moyennes pièces et le polyuréthane essentiellement pour l'acier.

Le procédé boîte froide (polyuréthane à prise par gazage), avec un tiers du marché, est le procédé le plus souvent utilisé au noyautage.

Les évolutions techniques récentes ont porté sur la réduction des solvants (notamment aromatiques) dans les résines.

Des procédés à base de liant inorganique sont de plus en plus mis en œuvre, pour le noyautage dans les fonderies d'aluminium. Ce procédé est encore au stade de développement pour le moulage dans les fonderies de ferreux. Le sable est mélangé avec un liant minéral à base de silicate de sodium puis déshydraté dans une boîte à noyaux avec un grand débit d'air chaud (180 °C à 200 °C).



Figure 2 : Sollicitation thermique des sables à la coulée (Source : CTIF)



### 2.1.3 - Les procédés de recyclage et de régénération du sable dans les fonderies et production de déchets

Les déchets de sable de fonderie visés par ce guide sont essentiellement des déchets issus des opérations de recyclage et de régénération des sables dans le process de la fonderie.

- Le recyclage du sable à vert nécessite une remise en condition du sable décoché car celui-ci est plus ou moins sec, empoussiéré et chaud. De plus, il contient un certain nombre de corps étrangers qui doivent être éliminés (bavures de métal, portées de noyaux, déchets réfractaires, scories).

Le recyclage des sables récupérés après décochage se fait dans des installations appelées sableries où les sables sont démottés, concassés, déferrailés, tamisés, puis refroidis et dépoussiérés avant d'être mélangés dans des malaxeurs avec les apports d'eau et d'adjuvants pour ensuite être envoyés aux chantiers de moulage.

- Les techniques de régénération des sables à prise chimique très souvent rencontrées sont de type mécanique et thermique. Le recyclage consiste à retirer les impuretés, réduire les mottes à l'état de grains et débarrasser ces derniers de la gangue de liant qui y adhère.

Les installations de recyclage et de régénération des sables génèrent différents flux de déchets parmi lesquels :

- les refus de criblage tels que des morceaux de noyaux et mottes de sable, générés dans la sablerie ;
- les purges de sable rendues nécessaires par l'apport trop important de sable à noyaux qui, d'une part, augmente le volume de sable de retour, et d'autre part, abaisse la qualité du sable recyclé. Les purges de sable sont directement fonction du process et du type de pièces fabriquées. Le volume des purges va dépendre de la taille et de la quantité de noyaux utilisés ;
- pour les pièces de fonderie dessablées, des déchets de sable de dessablage récupérés en sortie des grenailleuses.

Une première estimation de la répartition des procédés a été réalisée par le CTIF, à partir d'un recensement de la production de chacune des fonderies en 2002, réactualisé en 2010 par une enquête sur 80 % de fonderies de sable, complétée en 2014 par des données d'inventaires et du CAEF (Comité des associations européennes de fonderie).

On estime à 204 le nombre de fonderies utilisant du sable pour le moulage en France :

- la totalité des fonderies de fonte et d'acier françaises (124 sites) utilise du sable au moulage (50 % avec un procédé sable à vert et 50 % un procédé à prise chimique) et représente l'essentiel du gisement de déchets de sable de fonderie en France ;
- la totalité des fonderies d'alliages de cuivre (60 fonderies) et seulement 10 % des fonderies d'alliages d'aluminium (20 fonderies) utilisent du sable au moulage.

Les fonderies sont localisées essentiellement dans les régions : Hauts-de-France, Grand-Est, Auvergne- Rhône-Alpes, Bretagne et Pays-de-la-Loire.

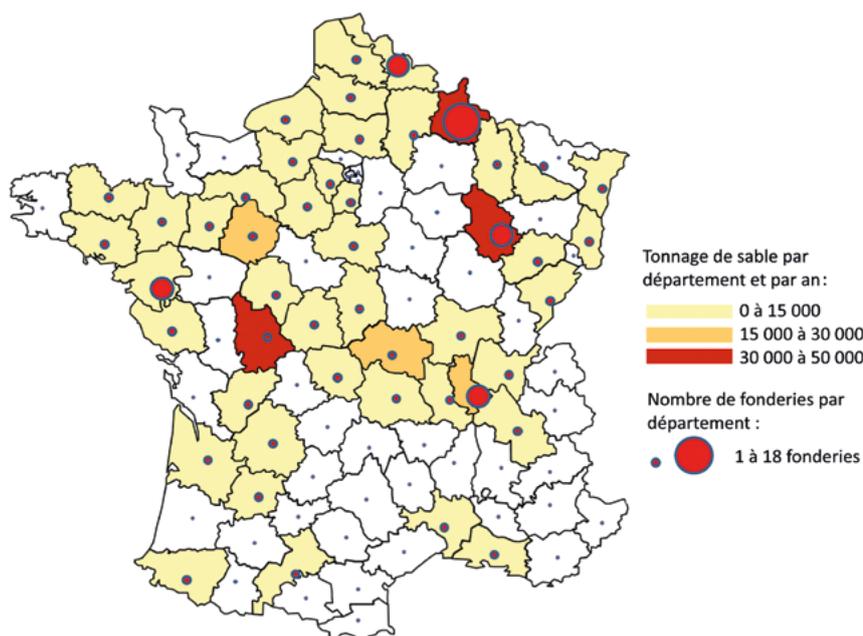


Figure 3 : Répartition de la production de sable et des fonderies par département en France (Source : CTIF)



Ces informations couplées à des données d'achat de sable et de liant au niveau national ainsi que les tonnages de fonte et d'acier coulés en France ont permis d'estimer à **350 000 tonnes la quantité de déchets de sable produits en France avec 70 % de déchets de sable à vert et 30 % de déchets de sable à prise chimique.**



Figure 4 : Échantillons de déchets de purge de sable furanique et de sable à vert (Source : CTIF)



Figure 5 : Echantillons de déchets de sable polyuréthane de criblage (Source : CTIF)

### 2.1.4 - Caractéristiques chimiques

Les déchets de sable de fonderie résultent d'une dégradation thermique des sables de moulage et de noyautage à haute température.

Ces déchets présentent les caractéristiques minéralogiques semblables à celles des sables d'origine.

Les sables sont constitués essentiellement par du sable siliceux lié à une fine couche de carbone brûlé, des résidus de liants (en provenance des noyaux) et de la poussière.

Les teneurs en silice varient entre 90 % (sable à vert) et 98 % (sable à prise chimique).

Les déchets de sable à vert comportent de la bentonite déshydratée (4 à 5 %), appelée chamotte et du noir de carbone (0,5 %).

Les sables à prise chimique qui ont au moulage jusqu'à 2 % de résines, n'en comportent quasiment plus après la coulée du métal dans le moule.

A noter que les sables usés devront être exempts de corps étrangers tels que des billes de métal (sables de dessablage), bavures et morceaux de noyaux (sables de criblage).



## 2.1.5 - Caractéristiques physiques

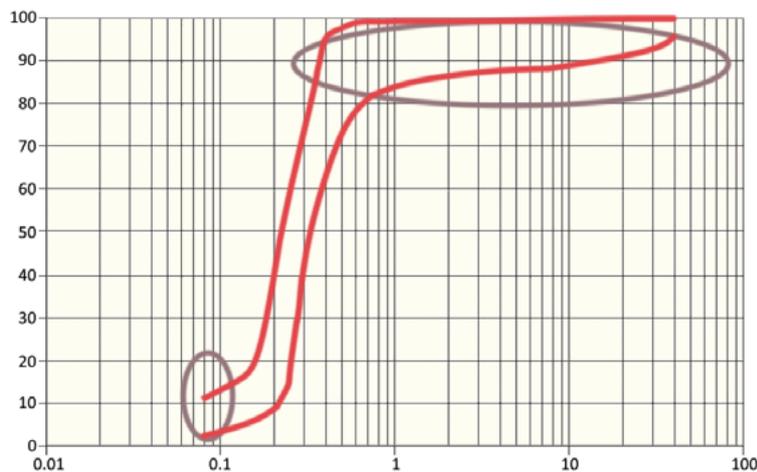
### Masse volumique et humidité :

Les sables de fonderie sont peu denses et présentent des masses volumiques apparentes de :

- 0,9 à 1 g/cm<sup>3</sup> pour les sables à vert ;
- 1 à 1,1 g/cm<sup>3</sup> pour les sables à prise chimique.

Les sables à vert présentent environ 2 % d'humidité alors que les sables à prise chimique sont secs.

### Distribution granulométrique :



La distribution granulométrique est peu étalée, comprise en moyenne entre 100 et 500 µm. Cette courbe granulométrique couramment reprise dans la littérature, montre une répartition régulière.

Figure 6 : Exemple de distribution granulométrique de 2 sables usés (Source : Cerema)

Les fines proviennent essentiellement de l'incorporation d'argile ou de résines (1 à 5 %) comme liant dans la conception du sable de moulage ainsi que de la fragmentation du sable liée aux chocs thermiques et mécaniques. [2]). Ce paramètre peut varier dans de grandes proportions en fonction de la propreté des sables usés, traduite par les paramètres PS (NF EN 933-8+A1 [2]) ou VBS (NF P94-068 [3]).

### Argilosité :

Cette propriété est mesurée par la valeur de bleu de méthylène (VBS, exprimée en gramme de bleu pour 100 g de sable) qui permet de mesurer la composition en éléments fins :

- pour les sables à prise chimique, la valeur de bleu est proche de 0 (« sol insensible à l'eau ») ;
- pour les sables à vert elle peut aller de 2,5 à 3,4 (« sol limoneux »).

Les sables de grenailage/dessablage (qui représentent les sables qui ont adhéré à la pièce et qui ont été récupérés avec un abrasif) ont été entièrement brûlés et présentent très peu de résidus d'argile ou de noir et donc une valeur de bleu proche de 0.

### Compactage et portance des sables de fonderie :

L'essai Proctor consiste à humidifier le sable à plusieurs teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnels (NF P94-093 [4]).

La valeur de Proctor normal (OPN) est la valeur maximale de la masse volumique obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau.

Le graphique suivant présente une compilation de quelques courbes obtenues sur des sables de fonderie de provenances diverses.

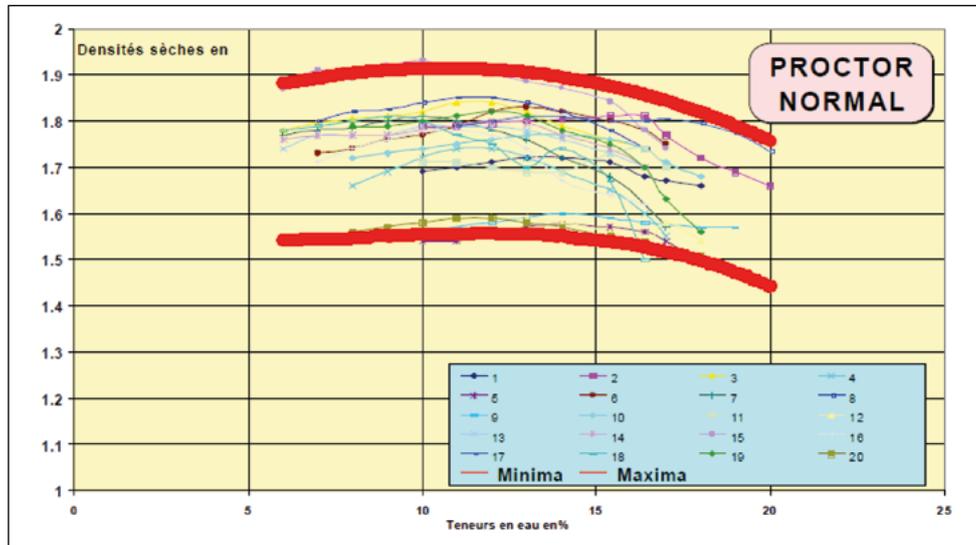


Figure 7 : Exemple de courbes de valeurs de Proctor normal (Source : Prédès Nord-Pas-de-Calais)

Les courbes de compactage Proctor normal des sables s'avèrent généralement plutôt plates ce qui signifie que les sables sont insensibles à l'eau.

A noter cependant que pour les sables à vert (argileux), cette caractéristique se dégrade.

### 2.1.6 - Classification géotechnique

En raison de leur haute teneur en quartz, de leur granulométrie appropriée (entre 200 et 400  $\mu\text{m}$ ) et de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les sables usés de fonderie peuvent être appliqués comme substitut du sable vierge dans la construction de route (terrassements et assises routières). Il peut néanmoins être nécessaire, en fonction des performances à atteindre, de corriger la granularité des sables par apport de granulats naturels.

Pour les travaux de terrassement (couche de forme des chaussées et remblais), les sables sont classés selon la norme NF P 11-300 [5], dans la famille « Sous-produits industriels ».

Plus précisément les sables de fonderie sont classés en F9 « Autres déchets et sous-produits industriels ».

Cependant, les sables de fonderie peuvent être assimilés à des sables de la famille « Matériaux naturels » de la norme :

- sables à vert : classes B2 à B5 ;
- sables avec liants organiques : classes B1 à D1.

La classe B correspond à des sols sableux et graveleux avec fines et la classe D correspond à des sols insensibles à l'eau.

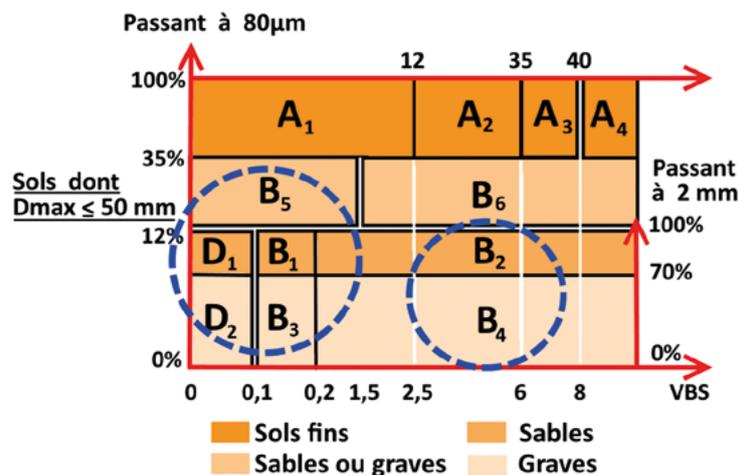


Figure 8 : Classification des sols selon la norme NF P 11-300 (Source : CTIF)



Pour la construction d'assises de chaussée, des normes européennes granulats sont référencées dans les marchés publics et en particulier les normes NF EN 12620+A1 [6], NF EN 13242+A1 [7], NF EN 13043 [8] pour les granulats destinés respectivement aux bétons, graves ciments et mélanges hydrocarbonés pour la construction de chaussée.

La norme française NF P18-545 [9], définit des catégories de granulats pouvant être utilisés pour des applications différentes. Les sables de fonderie peuvent être classés avec le code « a » des granulats de l'article 7 « Granulat pour chaussée - Couche de base - Liaison et fondation » de la norme. Pour les sables à vert, le critère d'argilosité est à vérifier.

## 2.2 - Élaboration des matériaux alternatifs et routiers

### 2.2.1 - Caractérisation et réception des déchets de sable de fonderie

#### 2.2.1.1 - Responsabilité de la fonderie

L'exploitant de la fonderie - au sens du Code de l'environnement - producteur des déchets de sable est, à ce titre, responsable de leur gestion jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, même lorsqu'il décide de faire assurer tout ou partie de cette gestion par un tiers (article L. 541-2). Il a notamment pour obligations de :

- mettre les moyens nécessaires afin que leur gestion se fasse sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement, y compris en organisant leur transport (article L. 541-1) ;
- caractériser les déchets de sables de fonderies générés (article L. 541-7-1). En particulier, il doit détecter la présence de substances dangereuses (BTEX, phénols, métaux) ;
- communiquer les informations concernant l'origine, la nature, les caractéristiques et les quantités des déchets de sable de fonderie qu'il décide de remettre à un tiers (article L. 541-7).

Pour répondre à ses obligations, l'exploitant de la fonderie réalise une analyse complète de ses sables de fonderie permettant de les classer, et fournit à l'installation de recyclage toutes les informations nécessaires à l'obtention d'un Certificat d'acceptation préalable (CAP), conformément aux prescriptions de son arrêté préfectoral.

A noter que la fonderie peut exploiter elle-même l'installation de recyclage du sable (avec les opérations décrites ci-après) mais cette activité est généralement sous-traitée.

#### 2.2.1.2 - Acceptation des déchets de sable de fonderie sur les installations de recyclage

Une installation de recyclage, qu'elle soit fixe ou mobile, permanente ou temporaire, relève en général des rubriques 2515 (traitement de déchets inertes) et 2517 (stockage et transit de déchets inertes) ou des rubriques 2791 (traitement y compris biologique de déchets non dangereux) et 2716 (stockage et transit de déchets non dangereux) de la nomenclature des ICPE. Selon qu'elle relève du régime déclaratif, d'enregistrement ou d'autorisation, l'autorisation administrative - le cas échéant le ou les arrêtés types applicables - fixe les prescriptions ainsi que les modalités de protection de l'environnement (bruit, poussière, paysage, lutte contre les pollutions des eaux et/ou des sols, vibrations, etc.).

Dès lors que l'installation de recyclage traite plus de 100 t/j de déchets non inertes, elle est soumise à la Directive IED (Industrial Emission Directive) avec le numéro 3532.

L'installation tient à jour un dossier d'exploitation comprenant *a minima* :

- une copie des autorisations administratives (déclaration, enregistrement ou autorisation) ;
- le registre d'admission des déchets de fonderies entrants, conformément à l'article 1 de l'arrêté du 29 février 2012 [10], avec les originaux des documents d'accompagnement remis par leurs producteurs ;
- le registre des sables de fonderie refusés en entrée de site ;
- le registre des matériaux routiers vendus, conformément à l'article 2 de l'arrêté du 29 février 2012 [10].

Les documents d'accompagnement remis par le producteur de déchets de sable de fonderie permettent à l'exploitant de l'installation de recyclage de disposer de tous les éléments d'appréciation nécessaires relatifs à la possibilité d'accepter le matériau sur son installation notamment concernant son origine, sa nature, ses caractéristiques et la quantité concernée.



Afin de permettre à l'exploitant de l'installation de recyclage de maîtriser la qualité de sa production de matériaux alternatifs et routiers, il est conseillé de procéder de la manière suivante pour contrôler les déchets de sable de fonderie entrants sur le site :

- avant la livraison ou au moment de celle-ci, ou lors de la première série de livraisons d'un même type de sable de fonderie, la fonderie fournit à l'exploitant de l'installation de recyclage un Certificat d'acceptation préalable selon les paramètres de l'annexe 2, avec une description des modalités d'échantillonnage ayant conduit aux résultats ;
- l'exploitant de l'installation de recyclage procède à la vérification des documents d'accompagnement prévus par la réglementation et réalise un contrôle visuel du chargement à l'entrée de l'installation ainsi que lors du déchargement du camion ;
- s'il le juge nécessaire, l'exploitant de l'installation effectue, à son initiative, toutes analyses – complémentaires ou contradictoires – lui permettant d'apprécier la possibilité d'admettre le chargement sur son site ;
- au vu des éléments fournis et des contrôles effectués, l'exploitant de l'installation de recyclage accepte ou refuse le chargement.

Dans le cas d'un regroupement de déchets de sable de fonderie, les sables de fonderie sont gérés distinctement selon l'appartenance à la catégorie de procédé de moulage mis en œuvre par la fonderie (la liste des procédés existants est donnée en annexe 7) :

- Catégorie 1 : sables à vert ou argileux ;
- Catégorie 2 : sables à prise chimique basique : polyuréthane, alphaset, inorganique, cronring, etc. ;
- Catégorie 3 : sables à prise chimique acide : furanique et phénolique essentiellement.

### 2.2.2 - Élaboration du matériau alternatif

Les sables doivent subir un certain nombre de traitements mécaniques pour être transformés en matériaux à usage routier dont les caractéristiques doivent être conformes :

- d'une part, aux normes et/ou spécifications d'usage en vigueur (normes produits, normes d'usages, guides techniques régionaux, etc.) ;
- d'autre part, aux spécifications opérationnelles environnementales consignées dans le présent guide pour le type d'usage routier envisagé (cf. annexe 2).

Dans le cas d'une plateforme de regroupement, l'élaboration du matériau alternatif (ou recyclage du sable de fonderie) se fait par catégorie de procédé de moulage définie au chapitre 2.2.1.

Grâce à des équipements adaptés, le déchet de sable de fonderie est transformé en un matériau alternatif calibré et contrôlé, exempt d'éléments indésirables. Les refus susceptibles d'être générés au stade de cette phase d'élaboration sont considérés comme des déchets d'activités.

Les différentes étapes de l'élaboration peuvent consister en :

- l'extraction des éléments métalliques ferreux ou non à l'aide de séparateurs magnétiques ou à courant de Foucault ; les métaux ainsi récupérés sont recyclés dans les filières adaptées ;
- l'extraction des éléments indésirables (papier, bois, plastique, etc.) par des équipements de tri (manuel, aéroulique, hydraulique, etc.) ;
- le calibrage par concassage/criblage afin de produire un matériau élaboré compatible avec les utilisations finales envisagées ;
- le lavage des sables contenant de la bentonite ;
- le traitement biologique des sables.



Figure 9 : Traitement biologique des sables de fonderie - Station Veolia à Chaingy (45) (Source : CTIF)

Les matériaux alternatifs sont ainsi élaborés afin d'obtenir des matériaux routiers pour des usages en remblai, en couche de forme (sol, grave non traitée), en assise de chaussée (grave non traitée, granulat) et/ou en couche de roulement.

Ces matériaux alternatifs peuvent être utilisés seuls en tant que matériaux routiers. Toutefois, pour étendre leurs domaines d'emplois en technique routière, ils peuvent être utilisés en mélange avec d'autres matériaux et/ou traités aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés.

### 2.2.3 - Production du matériau routier

Deux catégories de matériaux routiers peuvent être produites à partir des matériaux alternatifs concernés par le présent guide, dont l'une comportant deux sous-catégories :

- des matériaux routiers non formulés ;
- des matériaux routiers formulés, issus :
  - soit de matériaux alternatifs recomposés avec des matériaux granulaires, sans traitement,
  - soit de matériaux alternatifs traités aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés.

#### 2.2.3.1 - Matériau routier non formulé

Le matériau routier est dit non formulé lorsqu'il s'agit d'un même matériau alternatif utilisé seul et sans traitement.

La vérification de la conformité avec le référentiel d'acceptabilité environnementale est à mener sur le matériau alternatif constitué conformément aux prescriptions du chapitre 2.2.2.

#### 2.2.3.2 - Matériau formulé

Afin d'atteindre le niveau de performance mécanique requis pour le type d'usage routier envisagé, deux types de formulation sont possibles :

- la recombinaison granulaire avec des matériaux granulaires ;
- le traitement aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés.

##### 2.2.3.2.1 - Matériau routier recomposé avec des matériaux granulaires

La formulation d'un matériau alternatif avec d'autres matériaux granulaires est généralement pratiquée afin d'améliorer les caractéristiques géotechniques du matériau routier final et ainsi accroître son domaine d'emploi. Ce type de formulation peut être préalable à un traitement avec un liant hydraulique ou hydrocarboné.

La vérification de la conformité avec le référentiel d'acceptabilité environnementale est à mener sur le matériau alternatif.



Si le matériau alternatif est uniquement mélangé avec des matériaux naturels et/ou avec des matériaux alternatifs élaborés à partir de sables de fonderie, quel que soit le procédé de moulage concerné, la vérification de la conformité du matériau routier avec le référentiel d'acceptabilité environnementale n'est pas nécessaire. Les usages autorisés sont alors ceux qui sont autorisés pour tous les matériaux alternatifs.

Dans les autres cas, une étude menée conformément au guide méthodologique du Sétra [1] doit être produite et soumise à la Dreal contrôlant l'installation de recyclage afin de valider l'acceptabilité du matériau routier.

#### **2.2.3.2.2 - Matériau routier traité aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés**

Les matériaux routiers traités aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés utilisant un matériau alternatif, éventuellement recomposé au préalable, sont courants. Cette opération est pratiquée afin d'améliorer les caractéristiques géotechniques du matériau routier final et ainsi accroître son domaine d'emploi.

##### **Matériau routier traité aux liants hydrauliques**

Le traitement aux liants hydrauliques (ciment ou liant hydraulique routier) et/ou à la chaux de matériaux alternatifs élaborés à partir de sables de fonderie, bénéficie d'une large expérience. Il permet d'obtenir des performances géotechniques optimisées et, dans le cas d'un traitement à la chaux d'un mélange de sables à vert, de diminuer leur sensibilité à l'eau par la floculation des argiles. Les matériaux routiers ainsi traités font l'objet d'études d'aptitude au traitement et d'études de formulation pour la mesure de leurs performances mécaniques.

La vérification de la conformité avec le référentiel d'acceptabilité environnementale est à mener sur le matériau alternatif.

Si le matériau alternatif est traité avec du ciment, un liant hydraulique routier et/ou à la chaux, la vérification de la conformité du matériau routier avec le référentiel d'acceptabilité environnementale n'est pas nécessaire.

Dans les autres cas, une étude menée conformément au guide méthodologique du Sétra [1] doit être produite et soumise à la Dreal contrôlant l'installation de recyclage afin de valider l'acceptabilité du matériau routier.

##### **Matériau routier traité aux liants hydrocarbonés**

Le traitement aux liants hydrocarbonés (ou bitumineux) de matériaux alternatifs élaborés à partir de sables de fonderie est très peu connu en France mais répandu aux États-Unis. Le traitement se fait à chaud (y compris techniques tièdes) avec du bitume afin de produire des enrobés ou des graves-bitume, ou à froid afin de produire des graves-émulsion ou des graves-mousse. Chaque formulation fait l'objet d'une étude pour la mesure des performances mécaniques.



Figure 10 : Poste d'enrobage discontinu (Source : © Colas - Martin Kollar)

La vérification de la conformité avec le référentiel d'acceptabilité environnementale est à mener sur le matériau alternatif.

## 3

# Domaines d'emploi et limitations d'usage

## 3.1 - Usages routiers pris en compte

Les usages routiers envisagés dans le cadre du présent guide se distinguent selon le niveau d'exposition aux eaux météoriques. Trois types sont ainsi distingués et décrits ci-dessous.

**Nota :** Pour tout autre usage routier envisagé, une étude, menée conformément aux dispositions de la norme NF EN 12920+A1 [11], doit être produite et soumise, pour validation, à la Dreal contrôlant l'installation de recyclage.

### 3.1.1 - Les usages routiers de type 1

Les usages routiers de type 1 sont les usages d'au plus trois mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus<sup>1</sup> :

- remblai sous ouvrage ;
- couche de forme ;
- couche de fondation ;
- couche de base et couche de liaison.

Les matériaux routiers pouvant être utilisés dans des usages routiers de type 1 sont ceux pour lesquels les matériaux alternatifs entrant dans leur composition satisfont aux valeurs limites de l'annexe 2 pour les usages de type 1, dans la limite des dispositions fixées au chapitre 2.2.3.

La figure ci-dessous illustre les différents usages routiers de type 1.

Usages routiers "type 1"

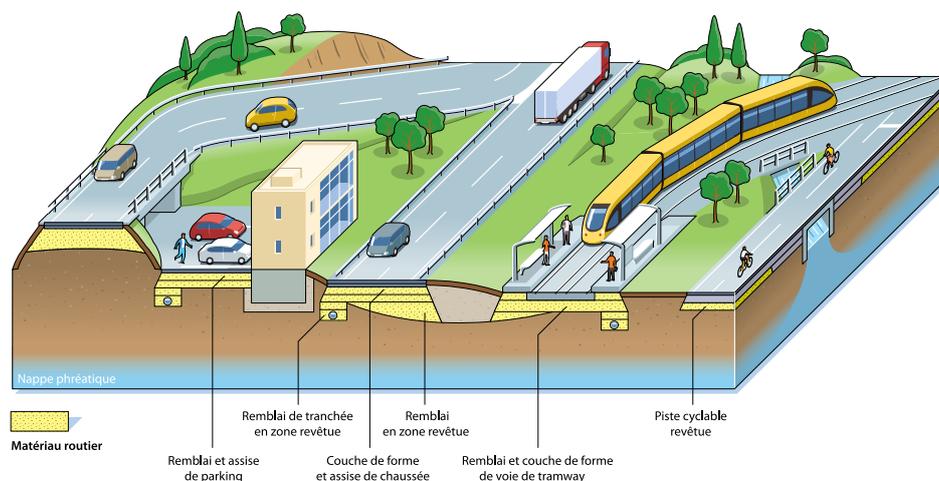


Figure 11 : Usages routiers de type 1 (Infographie : Lorenzo Timon)

<sup>1</sup> Un ouvrage routier 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, et si elle présente en tout point une pente minimale de 1 %.



### 3.1.2 - Les usages routiers de type 2

Les usages routiers de type 2 sont les usages d'au plus six mètres de hauteur en remblai technique connexe à l'infrastructure routière (par exemple : merlon de protection phonique ou paysager) ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers recouverts<sup>2</sup>.

Relèvent également des usages routiers de type 2 les usages de plus de trois mètres et d'au plus six mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus.

Les matériaux routiers pouvant être utilisés dans des usages routiers de type 2 sont ceux pour lesquels les matériaux alternatifs entrant dans leur composition satisfont aux valeurs limites de l'annexe 2 pour les usages de type 2, dans la limite des dispositions fixées au chapitre 2.2.3.

La figure ci-dessous illustre les différents usages routiers de type 2.

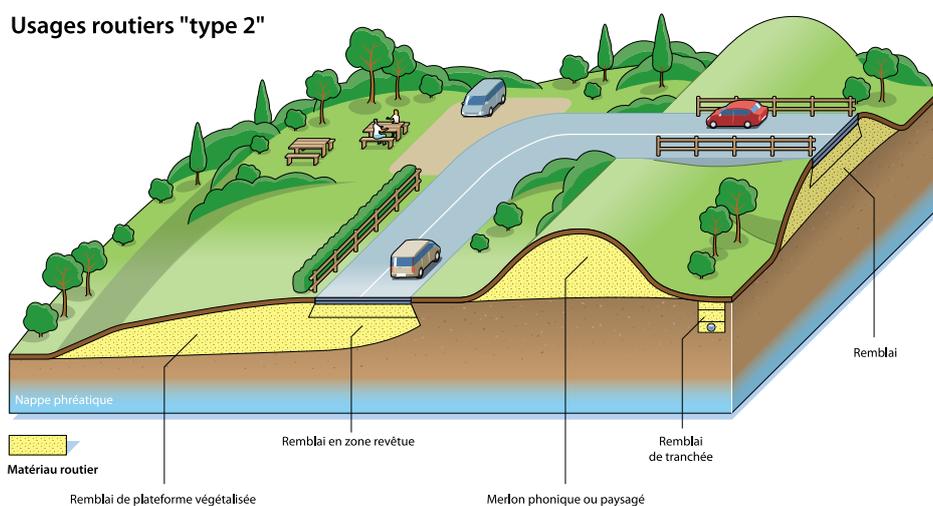


Figure 12 : Usages routiers de type 2 (Infographie : Lorenzo Timon)

### 3.1.3 - Les usages routiers de type 3

Les usages routiers de type 3 sont les usages :

- en sous-couche de chaussée ou d'accotement, au sein d'ouvrages routiers revêtus ou non revêtus ;
- en remblai technique connexe à l'infrastructure routière (par exemple : merlon de protection phonique ou paysager) ou en accotement, au sein d'ouvrages routiers recouverts ou non recouverts ;
- en couche de roulement ;
- en remblai de préchargement nécessaire à la construction d'une infrastructure routière ;
- en système drainant (par exemple : tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir).

Rentre également dans cette catégorie des usages de type 3, l'utilisation de matériaux routiers pour la construction de :

- pistes de chantier ;
- routes forestières ;
- chemins d'exploitation agricole ;
- chemins de halage.

Les usages routiers de type 3 ne font l'objet d'aucune restriction d'épaisseur de mise en œuvre.

Les matériaux routiers pouvant être utilisés dans des usages routiers de type 3 sont ceux pour lesquels les matériaux alternatifs entrant dans leur composition satisfont aux valeurs limites de l'annexe 2 pour les usages de type 3, dans la limite des dispositions fixées au chapitre 2.2.3.

<sup>2</sup> Un ouvrage routier est réputé « recouvert » si les matériaux routiers qui y sont présents sont recouverts par au moins 30 centimètres de matériaux naturels ou équivalents et s'il présente en tout point de son enveloppe extérieure une pente minimum de 5 %.



La figure ci-dessous illustre les différents usages routiers de type 3.

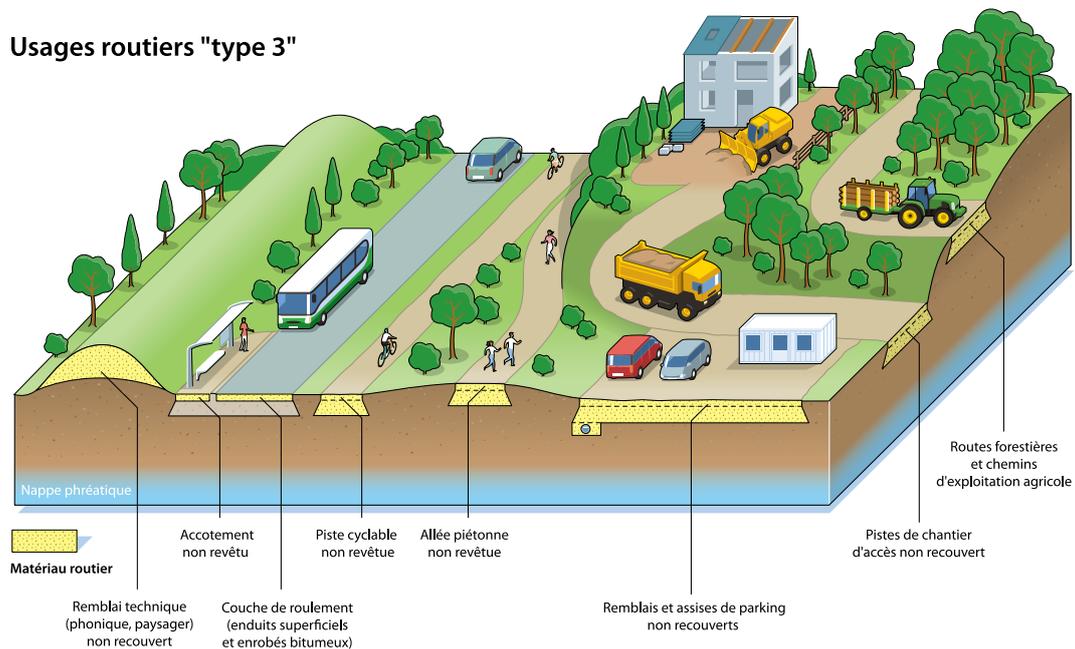


Figure 13 : Usages routiers « type 3 » (Infographie : Lorenzo Timon)

## 3.2 - Limitations d'usage

### 3.2.1 - Limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier

Les limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage peuvent concerner plusieurs cibles : les zones inondables, les lacs, étangs et cours d'eau, la présence d'un captage d'alimentation en eau potable (AEP), les zones répertoriées comme présentant une sensibilité particulière vis-à-vis des milieux aquatiques, ou encore les zones de karsts affleurant.

Ces limitations sont fonction du référentiel d'acceptabilité environnementale auquel satisfont les matériaux. Plus le référentiel est sévère, moins les limitations sont nombreuses compte tenu de la sécurité accrue apportée par la qualité environnementale des matériaux utilisés.

Il est également possible de faire appel à un hydrogéologue-expert pour avis au cas par cas, afin d'évaluer les risques locaux liés à la ressource en eau et l'adéquation des limitations nécessaires vis-à-vis de l'environnement immédiat de l'ouvrage incorporant les matériaux routiers recyclés. Dans ce cas de figure, l'hydrogéologue-expert sollicité devra impérativement avoir contracté une assurance professionnelle couvrant son activité professionnelle.

Le tableau du chapitre 3.2.3 fournit les limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier.



### 3.2.2 - Limitations d'usage liées à la mise en œuvre du matériau routier

Le stockage temporaire de matériaux routiers dans l'emprise du chantier est généralement nécessaire afin de répondre aux besoins du chantier tout en s'affranchissant de l'irrégularité des approvisionnements.

Des limitations d'usage sont nécessaires pour limiter le volume et la durée de ces stockages temporaires, dans la mesure où l'exposition des matériaux aux eaux météoriques peut être plus importante à ce moment qu'une fois mis en œuvre.

Ces limitations d'usage sont également fonction du référentiel d'acceptabilité environnementale auquel satisfont les matériaux. Plus le référentiel est sévère, moins les limitations sont restrictives compte tenu de la sécurité accrue apportée par la qualité environnementale des matériaux utilisés.

Il est également possible de faire appel à un hydrogéologue-expert pour avis au cas par cas, afin d'évaluer les risques locaux liés à la ressource en eau et l'adéquation des limitations nécessaires vis-à-vis de la mise en œuvre sur le chantier des matériaux routiers recyclés. Dans ce cas de figure, l'hydrogéologue-expert sollicité devra impérativement avoir contracté une assurance professionnelle couvrant son activité professionnelle.

Le tableau du chapitre 3.2.3 fournit les limitations d'usage à observer lors de la mise en œuvre du matériau routier.

### 3.2.3 - Tableau de synthèse des limitations d'usage

Le tableau suivant indique les limitations d'usage à observer en fonction des types d'usage.

Type d'usage	Limitations liées à l'environnement immédiat	Limitations liées à la mise en œuvre
<b>TYPES 1 ET 2</b>	<p>Sauf avis contraire d'un hydrogéologue-expert, l'utilisation des matériaux alternatifs est interdite :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dans les zones inondables et à moins de 50 cm des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues ;</li> <li>• à moins de 30 m de tout cours d'eau, y compris 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 ;</li> <li>• dans les périmètres de protection rapprochée (PPR) des captages d'alimentation en eau potable (AEP) ;</li> <li>• 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 ;</li> <li>• dans les karsts affleurant pouvant modifier les écoulements d'eau présente en continu ou de façon temporaire dans l'ouvrage ou son environnement immédiat.</li> </ul> <p>L'utilisation des matériaux alternatifs est interdite dans les parcs nationaux<sup>3</sup></p>	<p>Capacité de stockage temporaire sur chantier limitée à 1 000 m<sup>3</sup></p> <p>Au-delà de 1 000 m<sup>3</sup> sur chantier, avis d'un hydrogéologue-expert</p>
<b>TYPE 3</b>	<p>L'utilisation des matériaux alternatifs est interdite dans les parcs nationaux<sup>3</sup></p>	<p>Pas de limitation</p>

<sup>3</sup> La liste des parcs nationaux français est disponible sur le site Internet <http://www.parcsnationaux.fr>



## 4 Assurance Qualité environnementale

La procédure d'assurance de la qualité environnementale des matériaux alternatifs et routiers fabriqués et expédiés sur chantier doit faire partie intégrante du système de management de la qualité déployé par les entreprises produisant et/ou mettant sur le marché les matériaux.

Les exigences décrites dans ce chapitre précisent les conditions minimales de maîtrise de la qualité des matériaux fabriqués à partir de déchets de sable de fonderie. A ce titre, il est recommandé de mettre en place des procédures qualité permettant d'assurer la fiabilité des contrôles. Celle-ci peut se concrétiser dans une certification ISO 9001 ou un marquage CE granulats CE2+.

Le Plan d'assurance qualité (PAQ) de l'exploitant de l'installation de recyclage décrit les modalités pratiques de réalisation et de contrôle spécifiques à une installation ou un chantier. Le contenu du PAQ est établi par application des normes qualités relatives à ce type de document et comprend *a minima* :

- une copie des autorisations administratives (déclaration, enregistrement ou autorisation) ;
- la description détaillée de l'activité ;
- la procédure de réception des sables de fonderie entrants ;
- la description du suivi de la qualité environnementale des matériaux ;
- les procédures d'échantillonnage et d'analyse des matériaux produits ;
- la procédure de caractérisation géotechnique ;
- la procédure de conservation des résultats de la caractérisation géotechnique et de la vérification de la conformité environnementale ;
- la procédure de sortie de l'installation des matériaux commercialisables ;
- la procédure de sortie de l'installation des matériaux non commercialisables et des déchets d'activités.

### 4.1 - Contrôle lié à la caractérisation environnementale des matériaux alternatifs

La vérification de la conformité environnementale doit être menée par l'exploitant de l'installation de recyclage de sables de fonderie, par catégorie de procédé de moulage (à vert, à prise chimique acide, à prise chimique basique), conformément aux dispositions du chapitre 2.2.3.

Les paramètres environnementaux et les valeurs limites associées (annexe 2) permettant de statuer sur la conformité d'un matériau alternatif, sont clairement mentionnés dans la procédure d'assurance qualité.

Les méthodes d'analyse sont choisies en suivant les prescriptions de l'annexe 4. Dans tous les cas, les limites de détection et de quantification associées doivent permettre de positionner sans ambiguïté les résultats avec les valeurs limites des paramètres analysés. Les méthodes d'analyse ainsi que les limites de détection et de quantification associées sont conservées avec les résultats d'analyse.

Les résultats d'analyse obtenus sont comparés aux valeurs limites du présent guide (annexe 2) pour évaluer la conformité environnementale des matériaux fabriqués et déterminer la destination et les conditions d'usage appropriées.

Lorsque plusieurs analyses sont effectuées sur un même lot ou sur la production d'une même période, les valeurs à considérer sont les moyennes des résultats d'analyse obtenus.



## 4.2 - Périodicité des contrôles

L'échantillon représentatif présenté à l'analyse est un échantillon composite constitué de plusieurs prélèvements élémentaires représentatifs du matériau considéré, réalisés en suivant les recommandations de l'annexe 3.

La périodicité de la vérification de la conformité environnementale des matériaux est la suivante :

Production annuelle	Périodicité minimale des contrôles	Commentaires
<b>Installation de recyclage de sables de fonderie (interne ou externe à la fonderie)</b>	1 contrôle par lot de 5 000 tonnes effectué sur un échantillon représentatif du lot, avec au minimum un contrôle par an.	La cession, accompagnée ou pas d'une vente, des matériaux ne peut pas intervenir avant l'obtention de l'ensemble des résultats du contrôle.
<b>Installation temporaire* de recyclage de sables de fonderie (interne ou externe à la fonderie)</b>	1 contrôle par lot de 5 000 tonnes effectué sur un échantillon représentatif du lot, avec au minimum un contrôle en fin de production.	

(\*) Installation fonctionnant sur une période unique d'une durée inférieure ou égale à six mois

## 4.3 - Stockage et gestion des stocks

Après leur élaboration, les stocks de matériaux alternatifs sont identifiés (plan de stockage et panneautage). Ils peuvent être regroupés quel que soit le procédé de moulage concerné mais doivent être séparés physiquement par type d'usage autorisé (type 1, 2 ou 3).

Toutes les dispositions sont prises pour éviter le mélange de matériaux issus de stocks différents.

## 4.4 - Traçabilité et organisation de la qualité

Toute cession, accompagnée ou non d'une vente, de matériau routier est accompagnée d'un bon de livraison émis par l'exploitant de l'installation de recyclage. Chaque bon mentionne au minimum :

- le nom et l'adresse de l'entreprise chargée de l'exécution des travaux routiers ;
- le nom des transporteurs, si le transport n'est pas effectué par l'entreprise chargée de l'exécution des travaux routiers ;
- la quantité de matériau routier quittant l'installation ;
- la date de sortie de l'installation.

En sus du bon de livraison, avant la livraison sur le chantier routier ou au moment de celle-ci, ou lors de la première d'une série de livraisons d'un même matériau routier, l'exploitant de l'installation de recyclage fournit à son client (en général l'entreprise chargée de l'exécution des travaux routiers) une fiche d'information (cf. annexe 5) indiquant :

- les usages routiers autorisés compte tenu des caractéristiques environnementales des matériaux alternatifs entrant dans sa composition ;
- les restrictions d'usages associées.

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

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

# Annexes

## Annexe 1 - Liste des références géotechniques

Les matériaux routiers sont potentiellement utilisables pour :

### Le remblayage de tranchée

- selon la norme NF P98-331 : Chaussées et dépendances – Tranchées : ouverture, remblayage, réfection – février 2005 ;
- selon la norme XP P98-333 : Chaussées et dépendances – Tranchées de faibles dimensions – juin 2009 ;
- selon la norme NF P11-300 : Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières - septembre 1992 ;
- selon le guide technique « Terrassements routiers, réalisation de remblais et des couches de formes » ou « GTR », fascicules 1 et 2, Sétra-LCPC, 2<sup>e</sup> édition – juillet 2000 ;
- selon le guide technique « Remblayage et réfections des tranchées », Sétra / LCPC - mai 1994 (mise à jour janvier 1998) ;
- selon la note d'information sur le remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Complément au guide technique Sétra/LCPC de mai 1994, Sétra – juin 2007 ;
- selon le guide technique « Études et réalisations de tranchées », Sétra - Novembre 2001 ;
- selon la note d'information n° 22 « Classification et aide au choix des matériaux granulaires recyclés pour leurs usages routiers hors agrégats d'enrobés », Idrrim – février 2011 ;

### La réalisation de remblais et de couches de forme

- selon la norme NF P11-300 : Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières – septembre 1992 ;
- selon le guide technique « Terrassements routiers, réalisation de remblais et des couches de formes » ou « GTR », fascicules 1 et 2, Sétra-LCPC, 2<sup>e</sup> édition – juillet 2000 ;
- selon le guide technique « Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des remblais et des couches de forme » ou « GTS », Sétra/LCPC – janvier 2000 ;
- selon le guide technique « Conception et réalisation des terrassements – Fascicule 1 : études et exécution des travaux », Sétra – mars 2007 ;
- selon la note d'information n° 22 « Classification et aide au choix des matériaux granulaires recyclés pour leurs usages routiers hors agrégats d'enrobés », Idrrim - Février 2011 ;
- selon la norme NF EN 14475 : Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Remblais renforcés – janvier 2007 ;
- selon le guide technique « Drainage routier », Sétra – mars 2006.

### La réalisation de couches de structure de chaussée

- selon la norme NF P18-545 : Granulats – Eléments de définition, conformité et codification – septembre 2011 ;
- 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 ;
- selon le guide technique « Utilisation des normes enrobés à chaud », Sétra – janvier 2008 ;
- selon la note d'information n° 22 « Classification et aide au choix des matériaux granulaires recyclés pour leurs usages routiers hors agrégats d'enrobés », Idrrim – février 2011 ;
- selon la note d'information n° 24 « Aide au choix des granulats pour chaussées basée sur les normes européennes », Idrrim – avril 2013 ;

## La réalisation de couches de surface (roulement et liaison)

- selon la norme NF P18-545 : Granulats – Eléments de définition, conformité et codification – septembre 2011 ;
- selon la norme NF EN 13043 : Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation – août 2003 ;
- selon la norme NF EN 13108-1 : Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 1 : Enrobés bitumineux – février 2007 ;
- selon la norme NF EN 13108-8 – Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 8 : Agrégats d'enrobés – mars 2006 ;
- selon la norme NF EN 13108-20 : Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 20 : Epreuve de formulation – juin 2006.
- selon le guide technique « Utilisation des normes enrobés à chaud », Sétra – janvier 2008 ;
- selon la note d'information n° 24 « Aide au choix des granulats pour chaussées basée sur les normes européennes », Idrrim – avril 2013.

## La réalisation des bétons routiers

- selon la norme NF P18-545 : Granulats – Eléments de définition, conformité et codification – septembre 2011 ;
- selon la norme NF EN 12620+A1 : Granulats pour béton – juin 2008 ;
- selon la norme NF EN 206/CN : Béton – Spécification, performance, production et conformité – Complément national à la norme NF EN 206 – décembre 2014 ;
- selon la norme NF EN 13877-1 : Chaussées en béton – Partie 1 : Matériaux – octobre 2013 ;
- selon la note d'information n° 24 « Aide au choix des granulats pour chaussées basée sur les normes européennes », Idrrim – avril 2013.

## La réalisation de Chaussées urbaines

- selon la norme NF P98-335 : Chaussées urbaines – Mise en œuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle – mai 2007.

## La réalisation de pistes cyclables

- selon le guide technique « Recommandations pour les aménagements cyclables », Certu – septembre 2008.

## Annexe 2 - Référentiel de conformité environnementale

La vérification de la conformité environnementale d'un matériau alternatif élaboré à partir de sables de fonderie est effectuée en évaluant sa teneur en éléments polluants et en étudiant son comportement à la lixiviation (NF EN 12457-2 [12]).

L'échantillon soumis aux analyses est confectionné en suivant les recommandations de l'annexe 3 et les analyses sont menées en appliquant les prescriptions de l'annexe 4.

Les valeurs limites à respecter par tout matériau alternatif sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Usages de type 1	Usages de type 2	Usages de type 3
Analyse en lixiviation (NF EN 12457-2 [12]) exprimée en mg/kg de matière sèche			
As	0,6	0,6	0,6
Ba	25	25	25
Cd	0,05	0,05	0,05
Cr total	0,8	0,6	0,6
Cu	3	3	3
Hg	0,01	0,01	0,01
Mo	0,6	0,6	0,6
Ni	4	2	0,5
Pb	0,6	0,6	0,6
Sb	0,7	0,4	0,08
Se	0,1	0,1	0,1
Zn	20	10	5
Fluorures	60	30	13
Chlorures	1 000	1 000	1 000**
Sulfates	10 000	5 000	1 300**
Indice Phénol	2	2	1
Fraction soluble	/	/	5 000**
Analyse en contenu total exprimée en mg/kg de matière sèche			
COT	30 000/60 000*	30 000/60 000*	30 000/60 000*
BTEX	6	6	6
PCB	1	1	1
Hydrocarbures (C10-C40)	500	500	500
HAP	50	50	50

(\*) Une valeur limite de 60 000 mg/kg de matière sèche peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le carbone organique total sur éluat (analyse en lixiviation).

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

## Annexe 3 - Prescriptions pour les prélèvements et la préparation des échantillons

Les modalités à suivre sont celles de l'annexe 2 du guide méthodologique « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale » (Sétra, mars 2011) [1], reprenant notamment celles des normes NF EN 14899 [13], FD CEN/TR 15310 (parties 1 à 5) [14], NF EN 932-1 [15] et NF EN 932-2 [16].

Les prélèvements peuvent s'effectuer de trois manières différentes :

- sur benne ou silo ou malaxeur sur le site de la fonderie ;
- sur bande transporteuse au niveau de l'installation de recyclage ;
- sur stock au niveau de l'installation de recyclage.

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.

### 3A - Masses à prélever

Il est conseillé de prélever les quantités minimales suivantes pour un sable ayant un  $D_{max} = 0,5 \text{ mm}$  :

- masse minimale d'un échantillon global : 15 à 20 kg ;
- masse minimale des prélèvements unitaires constituant l'échantillon global : 1 kg.

### 3B - Appareillage et procédure de prélèvement, constitution de l'échantillon global

Échantillonnage au niveau du site de la fonderie :

<b>Mode de stockage</b>	Benne spécifique ou silo.
<b>Variabilité des déchets</b>	Production de pièces sur 1 à 2 semaines, représentatives de la production annuelle. Déchets de sable constitués en général de 1 à 3 flux : sable de moulage, sable de criblage et sable de grenailage.
<b>Période de prélèvements</b>	1 fois par jour pendant 1 semaine, voire 2 semaines si la production est irrégulière.
<b>Matériels</b>	1 petite pelle, seaux
<b>Mode opératoire pour la prise d'un échantillon journalier</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cas d'une benne : 4 prises de prélèvements aléatoires, de 1 kg environ, à différents endroits dans la benne</li> <li>• Cas d'un silo ou malaxeur : 4 prélèvements de 1 kg environ en sortie de l'installation</li> </ul> Mélanger les prélèvements dans un seau et constituer un échantillon journalier de 4 kg environ. Noter la date de la prise d'échantillon, production correspondante et commentaires si nécessaire.
<b>Constitution d'un échantillon composite global</b>	Mélanger les échantillons journaliers dans un seau pour constituer l'échantillon composite global (20 à 40 kg environ selon la durée de prélèvements).

## Échantillonnage au niveau d'une installation de recyclage, sur bandes transporteuses 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 afin 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.

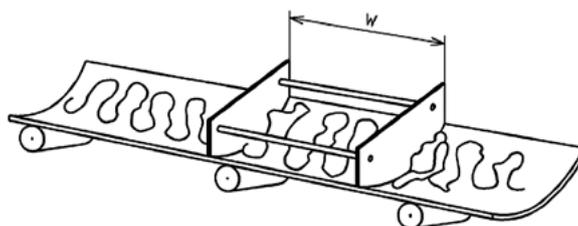


Figure 14 : Cadre d'échantillonnage (NF EN 932-2)

## Prélèvement sur stock, au niveau d'une installation de recyclage :

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.

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 doit 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.

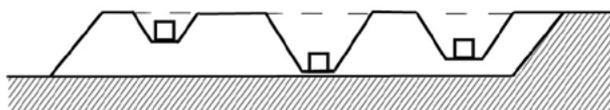


Figure 15 : Échantillonnage sur stocks plats

Sur un stock en forme de toit dont la base est plus longue dans un sens que dans l'autre, où l'on n'observe pas de figure régulière de ségrégation, les quantités prélevées correspondent à ce qu'indique la figure ci-dessous. Aussi prend-on dans le stock cinq fois plus de prélèvements sur le tiers inférieur et trois fois plus de prélèvements sur le tiers médian que sur le tiers du haut, soit dans ce cas au moins 18 prélèvements (dix en bas, six au milieu, deux en haut) de 1 kg environ. Ces prélèvements mélangés constituent l'échantillon global (15 à 20 kg) qui va être réduit pour transmission au laboratoire.

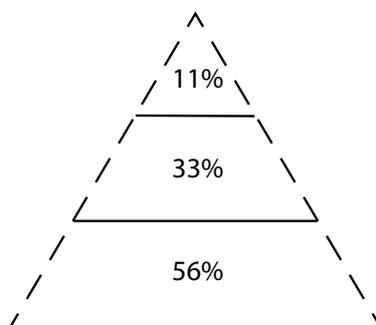


Figure 16 : Échantillonnage sur stocks en forme de toit

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 trois) est prélevé sur cette surface pour être mélangé et former un tas en vue de l'échantillonnage. Une pelle est utilisée pour prélever un certain nombre d'échantillons en des emplacements choisis au hasard dans le tas.

### 3C - Réduction de l'échantillon global - Constitution de l'échantillon pour laboratoire

L'échantillon global (15 à 20 kg) 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, quantité qui est généralement définie dans la norme d'essai correspondante, par exemple :

- essai de lixiviation - NF EN 12457-2 [12] : 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 ;

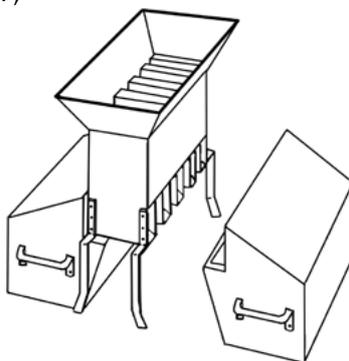


Figure 17 : Diviseur à couloirs

- par quartage, généralement sur site à proximité du stock échantillonné : faire un tas avec les échantillons (le tas est mélangé au moins trois fois), couper en quatre quarts, regrouper deux quarts opposés et recommencer à 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.

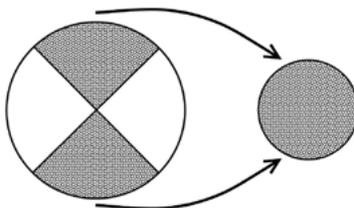


Figure 18 : Principe du quartage

### 3D - Échantillon final pour le laboratoire pratiquant les essais environnementaux

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.

### 3E - Protections individuelles

Gants, masque à poussière

### 3F - 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 [15]. Il est conservé au minimum trois ans.

## Annexe 4 - Prescriptions pour les laboratoires d'essai

Cette annexe fournit les recommandations pour les laboratoires d'analyse qui seront responsables des essais de lixiviation et des analyses subséquentes des paramètres spécifiés et des essais de détermination du contenu en certains composés organiques spécifiés dans le tableau de l'annexe 2, réalisés lors de la vérification de la conformité des matériaux alternatifs et/ou routiers.

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.

### 4A - Préparation des échantillons pour essais de lixiviation et analyses des éluats

#### 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 [12].

La perspective d'un concassage moins poussé peut être intéressante, mais l'échantillonnage s'avère alors plus délicat. De plus, la dispersion des résultats devient plus importante.

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.

#### 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 ce cas, utiliser 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 heures d'intervalle, avec reprise du séchage entre les deux pesées).

#### Normes d'analyses et d'essais à utiliser

##### *Essai de lixiviation*

- NF EN 12457-2 [12] : Caractérisation des déchets – Lixiviation – Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues – partie 2 : essai en bûchée 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*

- NF EN 16192 [17] : Caractérisation des déchets - Analyse des éluats.

#### 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 [12]. Les méthodes d'analyse sont choisies de manière que les limites de détection et de quantification associées permettent de positionner sans ambiguïté les résultats obtenus avec les valeurs limites des paramètres analysés et spécifiés dans le tableau de l'annexe 2.

#### Flaconnages

Flaconnages adéquats pour chaque analyse à fournir par le laboratoire. Privilégier les lignes directrices spécifiées dans la norme NF EN ISO 5667-3 [18].

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

Engagement à préciser au demandeur lors de la proposition.

## Détails des normes d'essai pour les analyses des éluats

Lixiviation NF EN 12457-2		Normes pour l'analyse des éluats selon NF EN 16192	
Limite de quantification minimale à atteindre (en mg/kg)		Norme d'essai à respecter	Norme d'essai alternative <sup>4</sup>
As	0,5	NF EN ISO 11885 ou NF ISO 17378-1 ou NF ISO 17378-2	NF EN ISO 17294-2
Ba	1	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Cd	0,01	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Cr total	0,1	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Cu	1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Hg	0,005	NF EN ISO 12846	NF EN ISO 17294-2 ou EN ISO 17852
Mo	0,1	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Ni	0,1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Pb	0,1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Sb	0,04	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2 ou NF ISO 17378-1 ou 2
Se	0,05	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2 ou pr NF ISO 17379-1 ou 2
Zn	1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Fluorures	1	EN ISO 10304-1 ou ISO 10359-1	NF T90-004
Chlorures	10	ISO 9297 ou EN ISO 10304-1 ou EN ISO 10304-2	NF EN ISO 15682
Sulfates	10	EN ISO 10304-1	NF T90-040
Indice phénol	0,1	NF EN ISO 14402	
Fraction soluble	100	NF EN 15216	NF T90-029
COT	5	NF EN 1484	

## 4B - Préparation des échantillons pour analyse des composés organiques sur solide

### 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.

<sup>4</sup> 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. La raison de la divergence doit être indiquée dans le rapport d'essai.

## Réduction de la granularité

Les prises d'essais sont généralement de faible masse (par exemple : 20 g pour la détermination de la teneur en hydrocarbures), il convient donc de tester un échantillon présentant une faible granularité.

La procédure suivante provient du retour d'expérience de la mise en œuvre des normes d'essais listées ci-dessous :

- réduction de l'échantillon global à un sous-échantillon de 500 g (cf. annexe 3) ;
- broyage du sous-échantillon de 500 g jusqu'à obtenir une granularité maximale de :
  - 2 mm pour la détermination des BTEX et des hydrocarbures,
  - 500 µm, pour la détermination du COT, des PCB et des HAP,
- homogénéisation du sous-échantillon broyé, duquel seront prélevées les prises d'essais.

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).

## 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 (le séchage en vue de l'analyse en hydrocarbures et en BTEX est fortement déconseillé). En ce cas, utiliser 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 du séchage : 24 heures, ou à défaut jusqu'à « poids constant » (variation de masse < 1 % entre deux pesées successives à 2 heures d'intervalle, avec reprise du séchage entre les deux pesées).

## Flaconnages

Les échantillons seront conservés dans des flacons en verre.

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

Engagement à préciser au demandeur lors de la proposition.

## Détails des normes d'essai pour les analyses

Limite de quantification minimale à atteindre (en mg/kg)		Normes pour l'analyse des composés organiques	
		Norme d'essai à respecter	Norme d'essai alternatives <sup>5</sup>
COT	1 000	NF EN 15936	NF ISO 10694
BTEX	< 0,5 sauf m,p-xylènes < 1	NF ISO 22155 ou NF ISO 15009	-
PCB	0,01	NF EN 15308	XP X33-012
Hydrocarbures	25	NF EN 14039	ISO 16703
HAP	0,1	NF EN 15527	XP X33-012

<sup>5</sup> En cas d'utilisation de normes d'analyse alternatives, leur adéquation à l'analyse des matériaux alternatifs issus de des déchets de sable de fonderie doit être vérifiée et justifiée par le laboratoire conduisant l'analyse. La raison de la divergence doit être indiquée dans le rapport d'essai.

## Annexe 5 - Fiche d'information

FICHE D'INFORMATION		
ENSEMBLE PARTICIPONS A PRESERVER LES RESSOURCES NATURELLES PAR L'EMPLOI DE MATERIAUX ALTERNATIFS		
1 – FABRICANT		
Installation ayant fabriqué le matériau alternatif	Nom .....	.....
	Adresse .....	.....
2 – RESPONSABLE DE LA MISE EN ŒUVRE		
Nom .....		.....
Adresse .....		.....
3 – CHANTIER		
Adresse .....		.....
Date .....	Autres informations .....	
Nature de l'ouvrage .....		
4 – DOMAINE D'EMPLOI		
« Type 3 »	« Type 2 »	« Type 1 »
Remblai technique <input type="checkbox"/>	Remblai technique <input type="checkbox"/>	Couche d'assise <input type="checkbox"/>
Sous-couche de chaussée ou d'accotement <input type="checkbox"/>	Remblai de tranchée <input type="checkbox"/>	Couche de forme <input type="checkbox"/>
Couche de roulement (enduits superficiels, bétons bitumineux) <input type="checkbox"/>	Couche d'assise <input type="checkbox"/>	Remblai sous ouvrage <input type="checkbox"/>
Remblai de préchargement <input type="checkbox"/>	Autre, précisez : <input type="checkbox"/>	Remblai de tranchée <input type="checkbox"/>
Système drainant (tranchée, éperon, chaussée réservoir) <input type="checkbox"/>		Autre, précisez : <input type="checkbox"/>
Piste de chantier <input type="checkbox"/>		
Route forestière <input type="checkbox"/>		
Chemin d'exploitation agricole <input type="checkbox"/>		
Chemin de halage <input type="checkbox"/>		
Autre, précisez : <input type="checkbox"/>		
5 – MATERIAU ROUTIER FABRIQUE		
Nom .....	Norme produit .....	
Matériau non traité 0/D ou d/D <input type="checkbox"/>	Matériau traité aux liants hydrauliques ou à la chaux <input type="checkbox"/>	Matériau traité aux liants hydrocarbonés <input type="checkbox"/>
Visa du fabricant : .....		Date : .....

## 6 – PRESCRIPTIONS DU GUIDE D'APPLICATION RELATIFS AUX DECHETS DE SABLE DE FONDERIE

### Critères de recyclage liés à la nature de l'usage routier

Les usages autorisés sont les usages, au sein d'ouvrages routiers, des types 1, 2 et 3 définis ci-après.

**Les usages routiers de « type 1 »** sont les usages d'au plus trois mètres de hauteur en sous couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers « revêtus », tels que :

- remblai sous ouvrage ;
- couche de forme ;
- couche de fondation ;
- couche de base et couche de liaison.

Un ouvrage routier 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 et si elle présente en tout point une pente minimale de 1%.

**Les usages routiers de « type 2 »** sont les usages d'au plus six mètres de hauteur en remblai technique connexe à l'infrastructure routière (par exemple : plateforme, tranchée, merlon de protection phonique, etc.) ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers « recouverts ».

Relèvent également des usages routiers de « type 2 » les usages de plus de trois mètres et d'au plus six mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers « revêtus ».

Un ouvrage routier est réputé « recouvert » si les matériaux routiers qui y sont présents sont recouverts par au moins 30 centimètres de matériaux naturels ou équivalents et s'il présente en tout point de son enveloppe extérieure une pente minimale de 5%.

**Les usages routiers de « type 3 »** sont les usages :

- en sous couche de chaussée ou d'accotement, au sein d'ouvrages revêtus ou non revêtus ;
- en remblai technique connexe à l'infrastructure routière (par exemple : plateforme, tranchée, merlon de protection phonique) ou en accotement, au sein d'ouvrages routiers recouverts ou non recouverts ;
- en couche de roulement (enduits superficiels, bétons bitumineux, etc.) ;
- en remblai de préchargement nécessaire à la construction d'une infrastructure routière ;
- en système drainant (par exemple : tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir).

Rentre également dans cette catégorie des usages de « type 3 » l'utilisation des matériaux pour la construction :

- de pistes de chantier ;
- de routes forestières ;
- de chemins d'exploitation agricole ;
- de chemins de halage.

Les usages routiers de « type 3 » ne sont concernés par aucune restriction d'épaisseur de mise en œuvre.

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

Sauf avis contraire d'un hydrogéologue-expert, pour les matériaux relevant des usages de **type 1 et type 2**, l'utilisation doit se faire :

- en dehors des zones inondables et à une distance minimale de 50 cm des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues ;
- à une distance minimale de 30 mètres de tout cours d'eau, y compris les étangs et les lacs. Cette distance est portée à 60 mètres si l'altitude du lit du cours d'eau est inférieure de plus de 20 mètres à celle de la base de l'ouvrage et pour les zones désignées comme zone de protection des habitats des espèces, de la faune et de la flore sauvages en application de l'article L.414-1 du Code de l'environnement ;
- en dehors des périmètres de protection rapprochée des captages d'alimentation en eau potable (AEP) ;
- en dehors des 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 ;
- en dehors des zones de karsts affleurant pouvant modifier les écoulements d'eau présente en continu ou de façon temporaire dans l'ouvrage ou son environnement immédiat ;
- en dehors des parcs nationaux<sup>(1)</sup>.

Pour les matériaux relevant des usages de **type 3**, sauf avis contraire d'un hydrogéologue-expert, l'utilisation doit se faire en dehors des parcs nationaux<sup>(1)</sup>.

### Critères de recyclage liés à la mise en œuvre du matériau routier :

Pour les matériaux relevant des usages de **type 1 et type 2**, leur mise en œuvre doit être effectuée de façon à limiter les contacts avec les eaux météoriques, superficielles et souterraines. A ce titre, et sauf avis contraire d'un hydrogéologue-expert, la quantité de matériaux routiers stockée temporairement dans l'emprise d'un chantier routier donné doit être limitée aux seuls besoins permettant de s'affranchir de l'irrégularité des approvisionnements du chantier, sans que jamais cette quantité n'excède 1 000 m<sup>3</sup>.

Pour les matériaux relevant des usages de **type 3**, il n'y pas de limitation.

(1) La liste des parcs nationaux est consultable sur : <http://parcsnationaux.fr>

## 7 – VISA DU RESPONSABLE DE LA MISE EN ŒUVRE

En signant ce document j'atteste de la véracité des informations consignées aux points 2 à 5 et m'engage à respecter les prescriptions d'emploi et les limitations d'usage rappelées au point 6.

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

## Annexe 6 - Acronymes et sigles

### Organismes

- ADEME** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
- Cerema** Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
- CERTU** Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
- CTIF** Centre Technique des Industries de la fonderie
- DREAL** Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
- FFF** Fédération Forge et Fonderie
- Idrriim** Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité
- LCPC** Laboratoire central des ponts et chaussées
- MTEs** Ministère de la Transition écologique et solidaire
- Ofrir** Observatoire Français des Ressources pour les Infrastructures.
- Setra** Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
- USIRF** Union des syndicats de l'industrie routière française

### Termes techniques

- BTP** Bâtiment et travaux publics
- COT** Carbone organique total
- BTEX** Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes
- HAP** Hydrocarbures aromatiques polycycliques
- ICPE** Installation classée pour la protection de l'environnement
- PAQ** Plan d'assurance qualité
- PCB** Polychlorobiphényles

## Annexe 7 - Procédés à prise chimique mis en œuvre en fonderies

Type de prise	Procédé	Liants	Moyens de prise	Acidité/basicité de la prise
<b>ORGANIQUE</b>				
<b>Thermique</b>	Croning	PF novolaque	HMTA + chaleur (200°C-300°C)	Basique
	Boîte chaude	UF, PF résols UF/PF, UF/AF, UF/PF/AF	Sels d'acide + chaleur (200°C-250°C)	Acide
	Boîte tiède	AF, UF/PF/AF	Sels de cuivre, sels d'acide + chaleur (180°C-200°C)	Acide
<b>Autodurcissant</b>	Silicate ester	Silicate de soude	Esters organiques	Basique
	Phénolique	PF résols	Acides sulfoniques, sulfurique phosphorique	Acide/basique
	Furannique	UF/AF, PF/AF,UF/ PF/AF	Acides sulfoniques, sulfurique	Acide
	Polyuréthane	PF résol/ isocyanates	Phénylpropylpyridine	Basique
	Phénolate alcalin ester (alphaset)	Phénolate alcalins (résols)	Esters organiques	Basique
<b>Gazage</b>	Polyuréthane	PF résol/ isocyanates	Amine tertiaire (DMEA, DMIA,TEA) gaz vecteur : N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Basique
	Acrylique SO <sub>2</sub> ou époxy SO <sub>2</sub> (isaset)	Acrylique modifié ou non epoxy	SO <sub>2</sub> gaz vecteur : N <sub>2</sub>	Basique
	Phénolate alcalin ester (bétaset)	Phénolate alcalins (résols)	Formiate de méthyle gaz vecteur : N <sub>2</sub>	Basique
	Phénolate alcalin CO <sub>2</sub>	Phénolate alcalins (résols)	CO <sub>2</sub> gaz vecteur : N <sub>2</sub>	Basique
	Avesys	Acrylique, époxy,	Amine tertiaire (DMEA, DMIA,TEA) gaz vecteur : N <sub>2</sub>	Basique
<b>INORGANIQUE</b>				
	Silicate CO <sub>2</sub>	Silicate de soude	CO <sub>2</sub>	Basique
	Silicate	Silicate de soude modifié	Chaleur (100 °C-180 °C)	Basique

PF : formophénolique, UF : urée formol, AF : alcool furfurylique



# Bibliographie

- [1] Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale. Sétra (Réf. 1101), mars 2011, 32 p.
- [2] Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – partie 8 : évaluation des fines. Équivalent de sable. Norme NF EN 933-8+A1, juillet 2015
- [3] Sols : reconnaissance et essais - Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache. Norme NF P94-068, octobre 1998.
- [4] Sols : reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal - Essai Proctor modifié - Norme NF P94-093, octobre 2014.
- [5] Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Norme NF P11-300, septembre 1992.
- [6] Granulats pour béton. Norme NF EN 12620+A1, juin 2008.
- [7] Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées. Norme NF EN 13242+A1, mars 2008.
- [8] Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aéroports et d'autres zones de circulation. Norme NF EN 13043, août 2003.
- [9] Granulats - Eléments de définition, conformité et codification. Norme NF P18-545, septembre 2011.
- [10] Arrêté du 29 février 2012 fixant le contenu des registres mentionnés aux articles R.541-43 et R.541-46 du Code de l'environnement (JO du 9 mars 2012) - NOR : DEVP1205955A.
- [11] Caractérisation des déchets – Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées. Norme NF EN 12920+A1, novembre 2008.
- [12] Caractérisation des déchets – Lixiviation – Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues – partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité). Norme NF EN 12457-2, décembre 2002.
- [13] Caractérisation des déchets – Prélèvement des déchets – Procédure cadre pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage. Norme NF EN 14899, avril 2006.
- [14] Caractérisation des déchets – Prélèvement des déchets – parties 1 à 5. FD CEN TR 15310, mars 2007.
- [15] Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats – partie 1 : Méthodes d'échantillonnage. NF EN 932-1, décembre 1996.
- [16] Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 2 : Méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire. NF EN 932-2, août 1999.
- [17] Caractérisation des déchets – Analyse des éluats. Norme NF EN 16192, mars 2012.
- [18] Qualité de l'eau – Échantillonnage – partie 3 : conservation et manipulation des échantillons d'eau. Norme NF EN ISO 5667-3, juin 2018.

© 2019 - Cerema

Le Cerema, l'expertise publique pour le développement et la cohésion des territoires.

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en oeuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au coeur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires : collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que se soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination et suivi d'édition › Cerema Infrastructures de transport et matériaux, Département de la valorisation technique, Pôle édition multimédia.

Mise en page › Drapeau Graphic - Parc Éco 85 - 27 impasse Louis-Marie Barbarit - 85000 La Roche sur Yon

Illustration couverture › © Cerema

Impression › Jouve - 1, rue du Docteur Sauvé - 53100 Mayenne - Tél. 01 44 76 54 40

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

Achevé d'imprimer : juillet 2019

Dépôt légal : juillet 2019

ISBN : 978-2-37180-383-1

ISSN : 2276-0164

Prix : 30 €

Éditions du Cerema

Cité des mobilités

25 avenue François Mitterrand

CS 92803

69674 Bron Cedex

Pour commander nos ouvrages › [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

Pour toute correspondance › Cerema - Bureau de ventes - 2 rue Antoine Charial - CS 33927 - 69426 Lyon Cedex 03

ou par mail › [bventes@cerema.fr](mailto:bventes@cerema.fr)

**[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr) › Nos publications**



## La collection « Références » du Cerema

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.

## Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière

### Les sables de fonderie

Chaque année en France, la construction et l'entretien des routes nécessitent environ 200 millions de tonnes de granulats naturels. Dans le même temps, des quantités importantes de déchets minéraux sont générées par le secteur de la fonderie, et constituent, potentiellement, un moyen de préserver les ressources naturelles en offrant un gisement intéressant pour l'élaboration de matériaux alternatifs.

Toutefois, le recours à des matériaux alternatifs en technique routière ne pouvant se limiter à la seule vérification de leurs caractéristiques mécaniques et géotechniques, le Ministère chargé de l'Environnement a développé une méthodologie permettant d'évaluer les caractéristiques environnementales de ces matériaux qui a été publiée en mars 2011.

L'objectif du présent guide d'application est de favoriser le recyclage des sables de fonderie en indiquant à leurs producteurs les conditions dans lesquelles ils peuvent les recycler sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement. Il permet également de guider les services de l'État pour fixer des critères de recyclage dans les autorisations administratives des installations concernées.

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

Prix 30 €

ISSN : 2276-0164

ISBN : 978-2-37180-383-1



9 782371 803831

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

Infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris - 77171 Sourdun - Tél. +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30