

Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière

Les laitiers sidérurgiques



Guide d'application

Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière

Les laitiers sidérurgiques



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

- Patrick BLONDEEL (ASCOMETAL)
- Laurent BUTEZ (SGA)
- Dominique CAYZEELE (V&M)
- Laurent CHATEAU (ADEME)
- Pierre-Jean DELHOMME (APERAM Imphy Alloys)
- Marie-Céleste DE OLIVEIRA (WINOA)
- Didier DESMOULIN (COGESUD/SCREG)
- Jérémie DOMAS (CTPL)
- Denys DUTERTE (PHOENIX Services France)
- Marc FIXARIS (ARCELORMITTAL)
- Cyril FLORENTIN (HARSCO Minerals France)
- Pascale HAUDRECHY (UGITECH)
- Guillaume MARTIN (LME-TRITH)
- Michel MEASSON (EIFFAGE)
- Thomas MUCKENSTURM (EUROGRANULATS)
- Nicolas NEOSCHIL (RIVA/SAM Montereau)
- Jacques REYNARD (CTPL)
- Daniel RICHARD (ARCELORMITTAL)
- Maud SOMMIER (SLAG)
- Philippe TALLENDIER (SAINT-GOBAIN/Pont-à-Mousson)
- Elise TRIELLI (MEDDE/Sétra)
- Patrick VAILLANT (MEDDE/CETE de Lyon)
- Michel VERNEAU (INDUSTEEL France)
- Françoise VIEZ (RIVA)
- Yves ZBACZYNIAK (ASCOMETAL)

Sommaire

Avant-propos	5
1 - Introduction, objet et définitions	7
1.1 - Introduction	7
1.2 - Objet	7
1.3 - Terminologie et définitions	8
2 - Description du gisement et des matériaux fabriqués	10
2.1 - Les laitiers sidérurgiques	10
2.2 - Elaboration des matériaux alternatifs et routiers fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques	20
3 - Domaines d'emploi et limitations d'usage	23
3.1 - Usages routiers pris en compte	23
3.2 - Limitations d'usage liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage routier	26
3.3 - Limitations d'usage liées à la mise en œuvre du matériau routier (MR)	26
3.4 - Grille synthétique de lecture pour l'acceptabilité environnementale des laitiers et limitations associées	26
4 - Assurance de la qualité environnementale	28
4.1 - Description du processus laitier	28
4.2 - Ressources et responsabilités	28
4.3 - Evaluation de la conformité environnementale	29
4.4 - Cas de la vérification de la conformité des MA et MR élaborés et formulés à partir de mélanges de MA	30
4.5 - Traitement des non conformités et anomalies	30
4.6 - Documentation et traçabilité	31
Annexes	32
Annexe A : critères environnementaux à respecter pour la valorisation des laitiers sidérurgiques en technique routière	32
Annexe B : prescriptions pour les laboratoires d'essai	36
Annexe C : procédure d'échantillonnage des laitiers sidérurgiques	38
Annexe D : documentation qualité permettant d'assurer la traçabilité et la qualité environnementale des matériaux fabriqués	40
Annexe E : exemple de fiche technique produit des matériaux fabriqués	45
Annexe F : acronymes	46
Bibliographie	48



Avant-propos

Chaque année en France, la construction et l'entretien des routes nécessitent environ 200 millions de tonnes de granulats naturels. Parallèlement à cela, des quantités importantes de déchets minéraux sont générées chaque année par le secteur du BTP et de l'industrie, et constituent, potentiellement, un moyen de préserver les ressources naturelles en offrant un gisement intéressant pour l'élaboration de matériaux alternatifs routiers.

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 en charge de l'environnement a développé une méthodologie permettant d'évaluer les caractéristiques environnementales de ces matériaux qui a été publiée par le Sétra en mars 2011.

L'objectif du présent guide d'application est de favoriser le recyclage des laitiers sidérurgiques en indiquant aux producteurs de laitiers sidérurgiques les conditions dans lesquelles ils peuvent les valoriser sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement. Il sera également un guide pour les services de l'Etat pour fixer des critères de valorisation dans les arrêtés préfectoraux d'autorisation des installations sidérurgiques.

Par ailleurs, le présent 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 exigences opérationnelles relatives à l'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques, et destinés à être utilisés en technique routière. Ces spécifications doivent ainsi permettre aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre d'élaborer des cahiers des charges de projets ou d'analyser les variantes proposées dans le cadre d'appels d'offres.

Le guide s'applique aux matériaux alternatifs fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques, dont la fonction envisagée a été préalablement justifiée pour les usages routiers pris en compte dans ce guide (§ 3.1). Les matériaux visés par ce guide doivent respecter les performances techniques en accord avec les normes, guides régionaux ou spécifications techniques pour les usages routiers visés.

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 répond aux objectifs communautaires en matière de valorisation des déchets, ainsi que de réduction de leur stockage.

Ce guide d'application a été élaboré à l'initiative du Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (C.T.P.L.) et validé par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE), après consultation des parties prenantes.

Le Directeur Général de la Prévention des Risques



Laurent Michel



1 - Introduction, objet et définitions

1.1 - Introduction

Les spécifications proposées dans le présent guide sont applicables à toute typologie de matériaux alternatifs fabriqués à partir d'un gisement de laitiers et utilisés sous forme de granulats, de graves ou de fillers. Seuls les matériaux alternatifs fabriqués à partir de laitiers, et dont l'adéquation fonctionnelle à un usage en technique routière a été préalablement justifiée, sont considérés dans le présent guide d'application. Ceci signifie que les propriétés géotechniques (mécaniques et physico-chimiques) doivent être conformes aux normes et/ou spécifications d'usage en vigueur (normes produits, normes d'usages, guides techniques régionaux, etc.).

Le présent guide d'application constitue la déclinaison opérationnelle, pour les laitiers sidérurgiques, de la démarche d'évaluation du guide méthodologique « *Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Evaluation environnementale* » [1].

Ainsi, pour l'utilisation en technique routière de matériaux alternatifs et routiers élaborés à partir de laitiers sidérurgiques, il n'est pas utile de se référer à la démarche d'évaluation générale du guide méthodologique cité ci-avant ; les seules prescriptions et exigences du présent guide d'application, adaptées aux caractéristiques des principaux gisements de laitiers sidérurgiques rencontrés sur le territoire, sont suffisantes.

1.2 - Objet

Ce guide d'application a pour objet de consigner les spécifications opérationnelles pour l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs élaborés à partir de laitiers sidérurgiques en technique routière. Il ne s'applique qu'aux matériaux alternatifs et routiers fabriqués à partir de laitiers générés sur des sites de production de fonte et d'acier élaboré à partir de fonte sidérurgique ou de ferrailles, issus de fraîche production ou repris sur d'anciens stocks. Il ne concerne pas les matériaux élaborés à partir de laitiers d'autres processus industriels (fonte non sidérurgique, production de métaux non ferreux, ferro-manganèse, etc.).

Ce guide d'application précise le cadre dans lequel doit s'inscrire le plan d'assurance de la qualité de la fabrication de ces matériaux, 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 également les obligations des différents acteurs d'un projet routier en vue d'assurer la conservation de la mémoire des chantiers ayant recouru à l'utilisation de matériaux alternatifs fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques.

Il est révisable à tout moment, à la demande de l'une des parties concernées (industrie, administration) 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 - Terminologie et définitions

1.3.1 - Les laitiers sidérurgiques employés

Les laitiers sidérurgiques sont les matières minérales co-générées lors des processus de fusion mis en œuvre par l'industrie du fer et de l'acier : la sidérurgie. La production de fonte sidérurgique génère les laitiers de haut-fourneau, tandis que les opérations de transformation de la fonte en acier génèrent, entre autres, les laitiers d'aciérie de conversion ; le laitier d'aciérie électrique est, pour sa part, le principal matériau minéral généré lors de la production d'acier par refonte de ferrailles en filière électrique.

Après avoir culminé au-delà de 10 millions de tonnes (14 MT en 1974), la production française de laitiers sidérurgiques a progressivement baissé, en raison de la diminution de la production d'acier et de l'optimisation des processus de production, pour se stabiliser actuellement et atteindre entre 5 et 6 millions de tonnes par an (dits de « fraîche production », par opposition aux crassiers historiques), tous laitiers sidérurgiques confondus⁽¹⁾ [2]. Chaque année, c'est actuellement entre 1 et 1,5 million de tonnes de laitiers sidérurgiques qui sont exploitées à partir des crassiers historiques, anciens stockages de laitiers issus d'un siècle de production de fonte sidérurgique en Lorraine.

Les laitiers sont utilisés depuis les débuts de la sidérurgie en remplacement de ressources naturelles, principalement sous forme de granulats, de liants hydrauliques, en tant que composants de liants hydrauliques ainsi que sous forme d'additions pour la fabrication de bétons, sur les marchés du bâtiment et des travaux publics [2]. Ce retour d'expérience, historique et probant, constitue une base documentaire considérable et un support technique primordial pour le développement du présent guide⁽²⁾.

1.3.2 - Terminologie et définitions

Laitiers sidérurgiques

Matières minérales artificielles générées par l'industrie du fer et de l'acier. Ces matériaux sont co-générés sous forme liquide à haute température en même temps que la fonte sidérurgique (laitier de haut-fourneau) ou l'acier (laitier d'aciérie). Les laitiers de convertisseur (ou de conversion) sont des laitiers d'aciérie obtenus lors de l'affinage de la fonte sidérurgique, alors que les laitiers d'aciérie électrique sont obtenus lors de la fusion de ferrailles.

Matériau alternatif (MA)

Tout matériau élaboré à partir d'un laitier brut 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 d'élaboration pour être mis en œuvre (sans autre transformation) sur des chantiers routiers.

Usage routier

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

(1) Données de l'enquête FFA-CTPL 2011 sur les statistiques de production et d'utilisation des laitiers en 2010

(2) Pour plus d'informations sur les laitiers sidérurgiques et leurs caractéristiques, le site du Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques peut être consulté à l'adresse suivante : www.ctpl.info

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.).

Elaboration

Opération reposant sur une combinaison de traitements physiques simples, dits de « préparation », et/ou de traitements physico-chimiques simples, dits de « maturation », visant à produire un matériau alternatif à partir d'un laitier sidérurgique brut.

Formulation

Opération visant à mélanger des matériaux, alternatifs ou non, dans des proportions déterminées afin de fabriquer un matériau routier.

Producteur

Industriel à l'origine de la production de la matière brute minérale (laitier brut) à partir de laquelle le matériau alternatif sera ultérieurement élaboré.

Fabricant

Industriel responsable de l'élaboration du matériau alternatif et le cas échéant, de la formulation du matériau routier.

Vendeur

Professionnel responsable de la mise sur le marché du matériau routier dans le respect des spécifications du présent guide.



2 - Description du gisement et des matériaux fabriqués

2.1 - Les laitiers sidérurgiques

2.1.1 - Les laitiers de haut-fourneau (LHF)

Les gisements de laitiers de haut-fourneau actuellement rencontrés sur le territoire sont issus de deux origines :

- les laitiers de « fraîche production » ;
- les laitiers issus de « crassiers » historiques.

Les laitiers de haut-fourneau de « fraîche production »

Le laitier de haut-fourneau est produit par les usines sidérurgiques intégrées, également appelées « en filière fonte ». La fonte sidérurgique est produite au niveau du haut fourneau lors de la réduction des minerais de fer (composés d'oxydes de fer et d'une gangue minérale) par le carbone du coke (figure 1). Les éléments non ferreux du minerai (silice, chaux et alumine) ainsi que les additifs minéraux se retrouvent dans le laitier de haut-fourneau, surnageant sur la fonte par effet de densité. Le laitier est ensuite séparé de la fonte grâce à un siphon.



Figure 1 - Vue générale de deux hauts-fourneaux d'une installation sidérurgique (site Arcelormittal de Fos-sur-Mer, 13)

La fonte est chargée en poches pour être traitée et utilisée ultérieurement, alors que le laitier de haut-fourneau liquide peut être solidifié selon deux voies de traitement :

- le laitier liquide est brutalement refroidi à l'eau (« trempe » dans une piscine, ou par un flux d'eau sous pression) : c'est le **laitier de haut-fourneau granulé** (ou vitrifié) ; il est alors essoré et mis directement en stock sous forme de tas. Le laitier obtenu se présente sous la forme d'un sable de couleur jaune-brun, avec des propriétés de prise hydraulique (figure 2a). Ces propriétés sont largement améliorées par un pré-broyage grossier, ou un broyage fin après séchage.

Le laitier de haut-fourneau granulé est, actuellement, principalement utilisé dans l'industrie de fabrication des liants hydrauliques (ciments, bétons, liants hydrauliques routiers), des bétons et du verre. Il ne rentre pas dans le cadre des spécifications de ce guide ;

- le laitier liquide est directement versé dans une fosse où il est refroidi par arrosage modéré : c'est le **laitier de haut-fourneau cristallisé** (ou refroidi à l'air) dit « hématite », car élaboré à partir d'un minerai riche en oxyde de fer. Il est alors concassé, puis criblé après une séparation préalable des matières métalliques éventuellement présentes. Le laitier cristallisé obtenu se présente sous la forme d'un granulat de couleur gris clair, avec de faibles propriétés de prise hydraulique (figure 2b).

Le laitier de haut-fourneau cristallisé est essentiellement utilisé comme granulat en technique routière et, à ce titre, doit respecter les exigences du présent guide. Il est également utilisé comme constituant de base dans l'industrie de fabrication de laines de roche.



Crédit photo Arcelormittal



Crédit photo Arcelormittal

Figure 2 - Laitiers de haut-fourneau

a) Laitiers de haut-fourneau granulé (vitrifié)

b) Laitiers de haut-fourneau cristallisé de « fraîche production »

Le laitier de haut-fourneau est le principal matériau co-généré par la sidérurgie en termes de tonnage, avec une production d'environ 300 kg par tonne de fonte. La production des laitiers de haut-fourneau est concentrée dans les régions du Nord, de la Provence et de la Lorraine.

En 2010, la production annuelle française était de 3,1 millions de tonnes de laitiers de haut-fourneau issus de « fraîche production », réparties de la façon suivante [2] :

- 2,4 millions de tonnes de LHF granulé,
- 0,7 million de tonnes de LHF cristallisé.

Composition chimique typique (en %)

CaO	35 – 50
SiO ₂	30 – 45
Al ₂ O ₃	5 – 15
Fe ₂ O ₃	1 – 5
MgO	2 – 10
S	0,5 – 1
Alcalins	0,5 – 2

Les laitiers de haut-fourneau issus de « crassiers » historiques

Le haut fourneau moderne vit le jour à la fin du XIX^{ème} siècle avec l'amélioration des techniques de souffleries. Simultanément, les sidérurgistes se préoccupèrent d'enlever du site de production les laitiers de haut fourneau dont les quantités produites ne cessaient de s'accroître.

Ils optèrent pour une solution qui consistait à couler le laitier dans des poches et à les évacuer à l'aide de wagons dans des zones éloignées des hauts-fourneaux. Basculé en bas de remblais, le laitier formait petit à petit des crassiers. Le refroidissement s'opérait ainsi lentement, formant dans ce cas également, des **laitiers de haut-fourneau cristallisés** (ou refroidi à l'air) dits « phosphoreux », car élaborés à partir d'un minerai pauvre en oxyde de fer.

De nos jours, ils peuvent être concassés, puis criblés après une séparation préalable des matières métalliques éventuellement présentes (figure 3). Le laitier cristallisé obtenu se présente sous la forme d'un granulat de couleur gris clair, avec de faibles propriétés de prise hydraulique.



Crédit photo SLAG

Figure 3 - Installation de concassage - criblage de laitier de haut-fourneau phosphoreux (SLAG)



Crédit photo SLAG

Figure 4 - Crassier de Nilvange (SLAG) : laitier « phosphoreux » exploité sous la forme d'une carrière à ciel ouvert (Moselle, 57)

L'exploitation de gisements de laitiers de haut-fourneau cristallisés issus de crassiers historiques est concentrée en Lorraine (crassiers de Nilvange (57), Moyeuve (57), Moulaine (54) et Auboué (54)), berceau de la sidérurgie française, et proche des sites d'exploitation des minerais de fer (« minette » de Lorraine) utilisés pendant plusieurs décennies pour l'alimentation des hauts-fourneaux.

Fin 2010, on estimait les stocks encore disponibles à près de 20 millions de tonnes. Chaque année, c'est entre 1 et 1,5 million de tonnes de matériaux alternatifs qui sortent de ces exploitations. On estime que l'exploitation de ces ressources devrait durer approximativement jusqu'en 2030.

Dans le domaine routier, les laitiers de haut-fourneau trouvent des usages dans toutes les couches des structures de chaussée (remblais routiers, remblais de tranchée, couches de forme, couches de fondation, couches de base, ou encore en couches de roulement et pour la fabrication d'enduits superficiels). A ce titre, ils doivent respecter les exigences du présent guide.

2.1.2 - Les laitiers d'aciérie de conversion (LAC)

Les laitiers d'aciérie de conversion sont générés par les usines sidérurgiques intégrées (également dites « en filière fonte »), lors de la transformation de la fonte sidérurgique en acier. Le convertisseur permet de « convertir » la fonte en acier (figure 5), en injectant de l'oxygène dans la fonte afin d'en extraire le carbone (sous forme de CO et de CO₂) et le silicium (sous forme de SiO₂), et en ajoutant d'importantes quantités de chaux pour en extraire le phosphore. Les « **laitiers de convertisseur** », qui surnagent à la surface du métal liquide, sont récupérés par séparation fondée sur la différence de densité entre les deux matières (6,8 pour la fonte, 7,8 pour l'acier et 2,5 à 3,0 pour les laitiers).

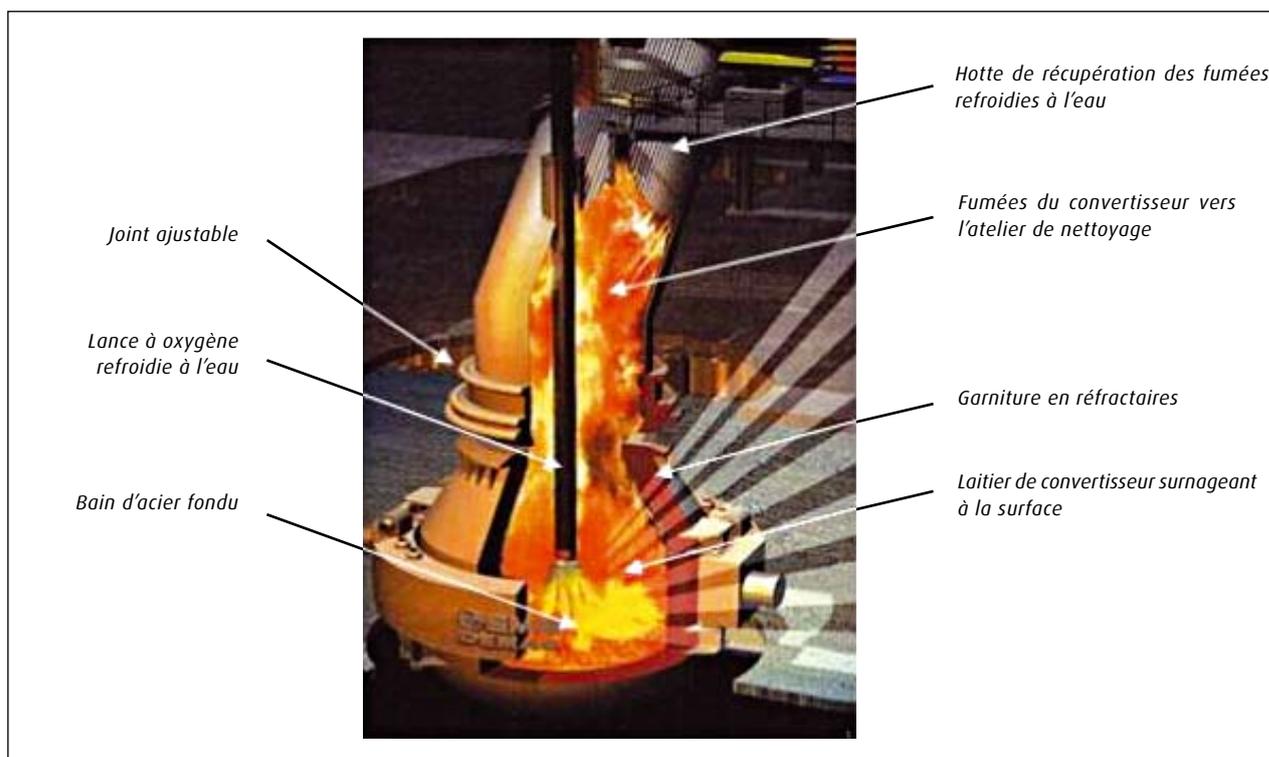


Figure 5 - Schéma de principe d'un convertisseur à oxygène

Par ailleurs, deux autres typologies de laitiers sidérurgiques sont également générées au sein de ces aciéries, mais en faibles quantités :

- les **laitiers de désulfuration de la fonte**, issus de la première étape du process, sont obtenus par ajout de chaux ou de carbure de calcium (CaC₂) pour former des sulfures de calcium (CaS). Ils sont gérés de manière indépendante et ne sont pas valorisés à l'extérieur du site ;
- les **laitiers de métallurgie secondaire** (ou « laitiers de poche ») sont générés lors de la mise à nuance de l'acier après l'étape du convertisseur. Ils sont triés mais ne sont que très rarement utilisés en technique routière ; ils sont en général recyclés dans le process, compte tenu de leur richesse en chaux et en alumine.

Ces laitiers d'aciérie sont les seconds matériaux co-générés par la sidérurgie en termes de tonnage (après le laitier de haut-fourneau), avec une production d'environ 80-150 kg par tonne d'acier. La production des laitiers d'aciérie de conversion est concentrée dans les régions du Nord (Dunkerque), de la Provence (Fos-sur-Mer) et de Lorraine (Florange). En 2010, la production annuelle française était de 1,1 million de tonnes de laitiers de conversion [2].

Seuls les laitiers de convertisseur sont concernés par le présent guide. Ils sont quelquefois appelés laitiers LD (procédé Linz-Donawitz) ou laitiers LWS (procédé Loire-Wendel-Sprunck), en référence au type de convertisseur dans lequel ils sont élaborés.

Ils se présentent sous la forme d'un granulat gris sombre, possédant la particularité de renfermer des teneurs en chaux quelquefois élevées, pouvant potentiellement conduire à une expansion volumique⁽³⁾.

(3) Ce paramètre est d'ailleurs une des spécifications techniques reprise dans les normes produits (cf. NF P 18-545) pour l'utilisation des granulats fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques



Crédit photo SGA



Crédit photo SGA

Figure 6 - Installation d'élaboration des granulats de laitiers de convertisseurs (site SGA)

a) Déversement des LAC en fosse

b) Vue aérienne des installations de criblage/déferrailage

Dans le domaine routier, ce laitier trouve des usages divers : assises de chaussée, couches de forme, remblais. A ce titre, il doit respecter les exigences du présent guide.

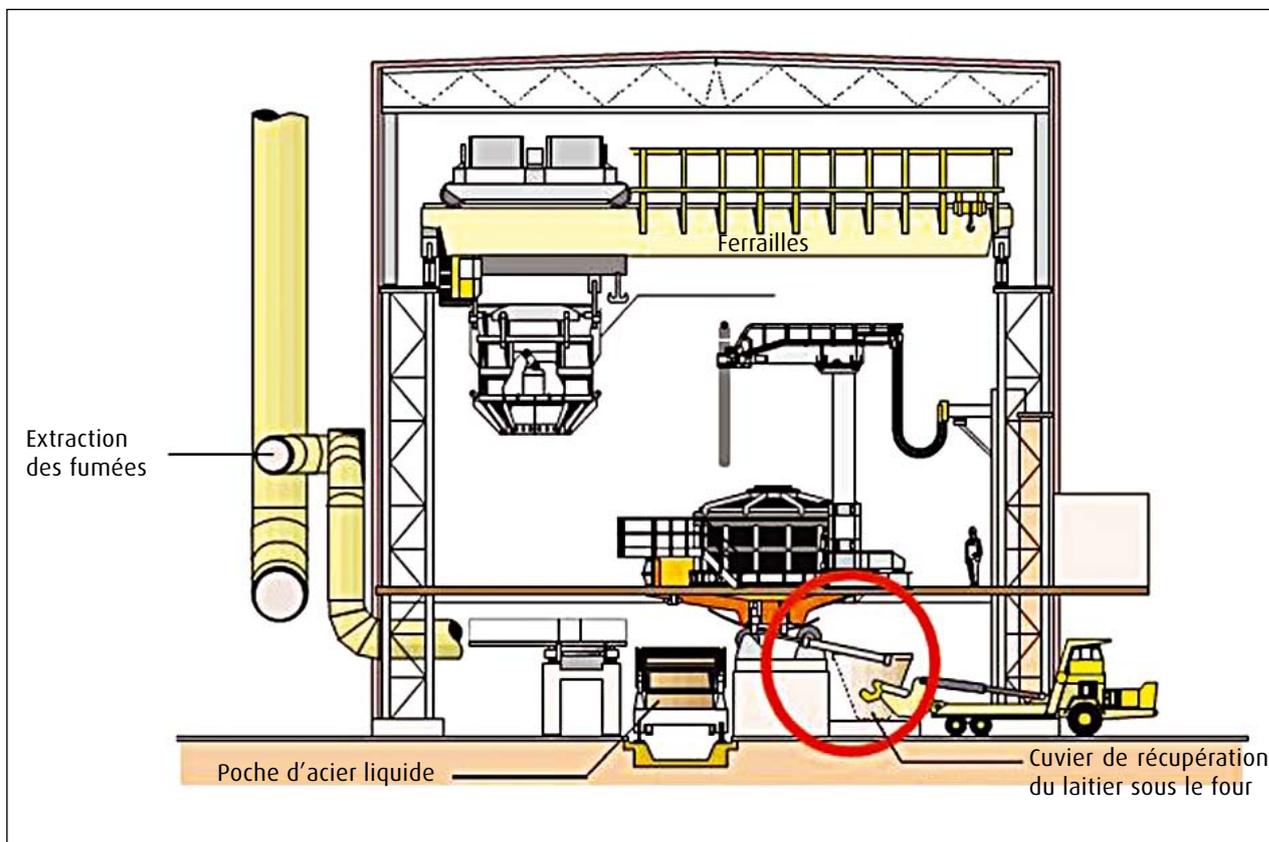
Composition chimique typique (en %)

CaO	40 – 60
SiO ₂	10 – 15
Al ₂ O ₃	1 – 5
Fe ₂ O ₃	5 – 7
MgO	1 – 8
FeO	10 – 25
P ₂ O ₅	0.5 – 3



2.1.3 - Les laitiers d'élaboration d'aciers carbone en filière électrique (LAFE)

L'élaboration d'aciers au carbone en filière électrique, par fusion de ferrailles dans un four électrique (figure 7), co-génère dans le même temps des matières minérales. Compte tenu de leur faible densité relative, ces laitiers flottent à la surface du bain d'acier liquide dans le four électrique et peuvent être séparés par écrémage.



Source : Arcelormittal

Figure 7 - Schéma de fonctionnement d'un four d'aciérie électrique

Le laitier obtenu, appelé aussi **laitier d'aciérie de four électrique** (LAFE ou « laitiers de four »), est la principale matière minérale (en termes de tonnage) générée par ce type d'installation : entre 90 et 130 kg de laitier par tonne d'acier.

Tout comme pour la filière des aciéries de conversion, une autre typologie de laitiers est générée dans un second four dit « d'affinage », lors de la mise à nuance des aciers : les **laitiers de métallurgie secondaire** (ou laitiers « de poche »).

Les aciéries électriques, qui sont des unités industrielles de taille modeste, sont présentes sur l'ensemble de l'hexagone. Leurs laitiers sont donc recensés sur plus d'une dizaine de sites, répartis sur tout le territoire à l'exception notable du quart nord-ouest de la France. En 2010, la production française annuelle était de 600 000 tonnes de laitiers d'élaboration d'aciers carbone en filière électrique [2].



Crédit photo RIVA

a) Déversement des LAFE pour refroidissement



Crédit photo RIVA

b) Plateforme d'élaboration des MA

Figure 8 - Gestion des laitiers d'aciérie électrique en filière carbone (site RIVA/SAM Montereau)

Les laitiers d'aciéries électriques en filière carbone (laitier de four seul ou avec certains laitiers de métallurgie secondaire) sont principalement valorisés dans le secteur des travaux publics pour la construction de remblais routiers, de remblais de tranchée, d'assises de chaussée, voire dans certains cas en formulation pour la réalisation d'enduits superficiels ou de couches de roulement. A ce titre, ils doivent respecter les exigences du présent guide.

Composition chimique typique (en %)

CaO	25 – 45
SiO ₂	15 – 25
Al ₂ O ₃	5 – 13
FeO	25 – 45
MgO	5 – 10
MnO	3 – 8
P ₂ O ₅	0,2 – 1
Cr ₂ O ₃	1 – 3

2.1.4 - Les laitiers d'élaboration d'aciers inoxydables et alliés en filière électrique (LAFE)

L'élaboration d'aciers inoxydables en filière électrique s'effectue généralement en trois étapes, qui génèrent chacune la formation de laitiers :

- fusion dans un four électrique de ferrailles et de ferro-alliages (ferro-chrome, ferro-nickel, etc.) en présence d'un fondant (chaux) ; l'oxydation des éléments du bain conduit à la formation de l'acier liquide brut d'un côté, et du **laitier d'aciérie de four électrique** (LAFE, aussi appelé « laitier de four »), constitué majoritairement des éléments non métalliques du bain (silicium, chaux, ...), surnageant à la surface de l'acier liquide ;
- décarburation et désulfuration de l'acier brut dans une « cornue AOD » : après la fusion, l'acier contient 1,5 à 2% de carbone, ainsi que du soufre, qu'il faut éliminer. Un flux d'oxygène et d'argon est envoyé par le fond de la cornue, permettant l'oxydation du carbone, ce qui nécessite l'addition de ferro-silicium et de chaux, qui permet également d'éliminer le soufre par formation de sulfure de calcium (CaS). Le laitier alors formé est dit « **laitier AOD** » ;
- métallurgie de poche avant coulée : une deuxième injection de chaux peut être réalisée pour poursuivre la désulfuration et la mise à nuance de l'acier. Le laitier alors formé, appelé **laitier de métallurgie secondaire** (ou laitier « de poche »), est très basique et est récupéré après coulée du métal.

Les laitiers liquides sont coulés dans des cuiviers. Après un début de solidification, ils sont transportés vers un « centre de transit », où le contenu des cuiviers est déversé dans un casier (fosse) sous abri (figure 9a), puis arrosé d'eau jusqu'à refroidissement. Sur la plupart des sites de production cela a abouti à une organisation intégrée de collecte et de gestion des laitiers.

Les quantités de laitiers issues de cette filière de production sont beaucoup plus faibles que pour les autres filières (convertisseur, acier carbone, etc.). En 2010, la production française annuelle était de l'ordre de 210 000 tonnes de laitiers d'élaboration d'aciers inoxydables et alliés en filière électrique [2]. Leur présence est recensée sur plus d'une dizaine de sites, généralement de taille modeste et répartis dans le centre de la France et la région Rhône-Alpes.

Les laitiers d'aciéries électriques en filière inox et alliés (laitier de four seul ou en mélange avec les laitiers AOD et/ou de métallurgie secondaire) sont principalement valorisés dans le secteur des travaux publics pour la construction de remblais routiers, de remblais de tranchée, de couches de chaussée, voire dans certains cas en formulation pour la réalisation d'enduits superficiels ou de couches de roulement (figure 9b). A ce titre, ils doivent respecter les exigences du présent guide.



Crédit photo UGITECH



Crédit photo UGITECH

Figure 9 - Gestion des laitiers d'aciérie électrique en filière inox et alliés (site Ugitech)

a) Déversement des laitiers EAF inox

b) Plateforme d'élaboration des MA

Composition chimique typique (en %)

CaO	25 – 55
SiO ₂	20 – 30
Al ₂ O ₃	2 – 10
FeO	1 – 10
MgO	4 – 15
MnO	1 – 5
Cr ₂ O ₃	1 – 15
F total	1 – 5
TiO ₂	0,5 – 2

2.1.5 - Statut réglementaire et classification

Conformément aux dispositions des articles R. 541-7 à R. 541-10 du code de l'Environnement, les laitiers bruts issus de l'industrie sidérurgique sont classés, en fonction des sites, sous les codes « **10 02 01 déchets de laitiers de hauts-fourneaux et d'aciéries** » ou « **10 02 02 laitiers non traités** ».

A l'heure actuelle, ce sont donc des déchets non dangereux et, par conséquent, l'ensemble des productions générées à l'échelle du territoire est susceptible d'être utilisé en technique routière, sous réserve du respect des seules exigences particulières fournies dans le présent guide.

Pour plus d'informations relatives à ces différents laitiers sidérurgiques, des fiches documentaires peuvent être consultées et téléchargées sur le site du CTPL⁽⁴⁾ sous la rubrique « Nos publications ». D'autres informations sont également disponibles sur le site de l'observatoire OFRIR⁽⁵⁾.

2.1.6 - Spécificités des laitiers sidérurgiques

Composés solubilisés à partir des laitiers

Les laitiers, de par leur mode de génération, sont des matériaux riches en chaux. Par conséquent, le contact avec l'eau conduit à une solubilisation de quantités importantes d'ions calcium, qui se retrouvent dans les mesures de la fraction soluble globale.

Par conséquent et afin de juger avec pertinence de la conformité environnementale des matériaux fabriqués à partir des laitiers sidérurgiques, il convient de respecter les valeurs associées aux anions chlorures et sulfates, et non la fraction soluble globale, en accord avec la possibilité offerte par le guide méthodologique du Sétra [1].

En conséquence, ce paramètre ne fera pas l'objet d'exigence spécifique pour ce guide d'application.

Constituants organiques

Le mode de génération des différents types de laitiers sidérurgiques, sous la forme d'une roche minérale en fusion à des températures très élevées (toutes de l'ordre de 1500°C), ne permet pas la présence de constituants organiques au cours de ces procédés industriels.

L'absence de ces éléments a été confirmée lors de la campagne nationale de caractérisation environnementale des laitiers sidérurgiques menée par le CTPL et l'ensemble de ses adhérents entre 2009 et 2011.

En conséquence, ces éléments ne feront l'objet d'aucune exigence de suivi spécifique dans le cadre de ce guide d'application.

(4) <http://www.ctpl.info>

(5) <http://www.ofrir.ifstar.fr>

2.2 - Elaboration des matériaux alternatifs et routiers fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques

2.2.1 - Elaboration des matériaux alternatifs

L'objectif de la phase d'élaboration des matériaux alternatifs est l'atteinte de performances mécaniques, géotechniques et/ou hydrauliques nécessaires au respect des spécifications d'usage normalisées.

Au cours de ces opérations industrielles classiques, les laitiers ne subissent pas de modification de leur composition chimique ou de leur comportement environnemental intrinsèque.

Phase de refroidissement des laitiers

Cette phase de refroidissement des laitiers bruts s'effectue de nos jours directement sur le site sidérurgique, au pied des installations (hauts-fourneaux et aciéries). Les laitiers, qui sortent des installations sous forme liquide/pâteuse à haute température, peuvent alors :

- soit être déversés au pied des installations (en vrac ou dans des fosses prévues à cet effet) pour être refroidis à l'air puis arrosés, et ainsi abaisser progressivement leur température, leur conférant une structure minéralogique majoritairement cristallisée ;
- soit subir une phase de refroidissement rapide par un processus de « trempe » dans une fosse remplie d'eau où ils sont envoyés (ou directement à la source à l'aide d'un granulateur pour les LHF), ce qui leur confère une structure minéralogique plus vitreuse.

Dans les deux cas de figure, une fois le refroidissement achevé, les laitiers sont repris des fosses ou directement au sol pour être transportés vers la plateforme de préparation et éventuellement de maturation. Par le passé, le refroidissement des laitiers bruts se faisait, faute de place et de débouchés, à l'écart des sites sidérurgiques sur des crassiers. Les coulées successives de laitier se refroidissaient lentement, ce qui leur conférait également une structure minéralogique cristallisée.

Phase de fabrication des matériaux alternatifs

Les installations d'élaboration des matériaux alternatifs sont généralement attenantes au site sidérurgique. Cette mission est habituellement confiée à une entreprise spécialisée, dont les installations sont proches du lieu de production des laitiers (haut-fourneau et/ou aciérie). Ainsi qu'il a déjà été signalé, cette étape de fabrication ne modifie pas la composition chimique ou minéralogique des laitiers.

Les laitiers sidérurgiques contiennent en général une quantité non négligeable de fer métal ; leur tri (ou « déferrailage » ou encore « démétallisation ») constitue donc une étape indispensable dans l'élaboration du laitier. Une grande partie de ce fer est recyclée au niveau du process sidérurgique. Le laitier restant à l'issue de cette première opération de déferrailage grossier (primaire) peut alors subir deux filières de préparation différentes :

- **Filière de préparation en voie sèche** : cette méthode de séparation permet d'extraire la grande majorité des particules métalliques encore présentes dans les laitiers. Le laitier primaire (0/300 mm) est traité selon la même filière et les mêmes outils traditionnels que pour les granulats naturels ; le laitier est concassé et/ou criblé en phases successives pour être amené à la granulométrie souhaitée. Après chaque étape de concassage, la grave est progressivement débarrassée des particules métalliques par différentes technologies (séparation magnétique, vis densimétrique, overband, etc.) ;
- **Filière de préparation en voie humide** : cette technique permet d'extraire la grande majorité des particules métalliques présentes dans les laitiers, ainsi qu'une partie des oxydes métalliques également présents dans ces matériaux. Le laitier primaire (0/300 mm) est traité selon la même filière et les mêmes outils traditionnels que pour les granulats naturels ; le laitier est concassé et criblé en phases successives pour être amené à la granulométrie souhaitée (0/80 mm). Après chaque étape de concassage la grave est progressivement débarrassée des particules métalliques par différentes technologies (séparation magnétique, vis densimétrique, overband, etc.). La grave fabriquée (0/80 mm) lors du criblage/concassage subit alors une étape de broyage poussé en milieu humide, indispensable pour l'optimisation de la récupération des métaux oxydes. Le « broyat » (0-100 µm) est finalement versé dans un volume d'eau important, permettant l'opération de séparation densimétrique : les minéraux de faible densité spécifique (environ 2,2) sont maintenus en suspension grâce à la circulation de l'eau alors que les métaux et oxydes dont la

densité est supérieure décantent par gravité et sont collectés. La dernière phase de préparation du matériau alternatif consiste à le séparer de l'eau qui a servi pendant la phase d'extraction. Toutes les technologies de séchage peuvent être utilisées indépendamment du cahier des charges mis en œuvre pour le matériau alternatif : essorage *in situ*, filtre presse, tambour rotatif, etc.

Phase de « maturation » des matériaux alternatifs

Une fois la préparation des laitiers effectuée, une phase de vieillissement/maturation physico-chimique est parfois nécessaire pour certains laitiers, afin de permettre une hydratation ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$) et une carbonatation ($\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$) de la chaux libre potentiellement contenue dans les laitiers. Cela peut parfois être le cas, par exemple, pour les laitiers d'aciérie de convertisseur.

Cette étape peut-être raccourcie/accélérée/améliorée par un arrosage forcé et/ou un retournement régulier des stocks de laitiers soumis à cette étape et est largement dépendante de la teneur en chaux des laitiers considérés.

Nature des matériaux alternatifs fabriqués

La filière de préparation en voie sèche aboutit à la fabrication de sables, de graves 0/D (0/4, 0/6, 0/20, 0/31,5, 0/50 ou 0/80 par exemple) et de gravillons d/D (2/4, 4/6, 6/10, 10/14 par exemple), destinés à la réalisation de remblais, de couches de forme ou d'assises de chaussée (GNT, GTLH, GB, ...), ou encore de couches de roulement (BB, enduits superficiels). Quant à la filière de préparation en voie humide, elle génère un sable de laitier.

Le tableau 1 illustre les principaux matériaux alternatifs fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques.

Tableau 1 - Synthèse des principaux MA fabriqués à partir des différents gisements de laitiers sidérurgiques

	LHF cristallisé	LAC (LD/LWS)	Laitier carbone en filière électrique	laitiers inox et alliés en filière électrique
Graves normalisées et tout venant 0/D	***	***	***	***
Gravillons d/D	***	**	**	**
Fillers	*	*	*	*

*** usage très fréquent ** usage fréquent * usage rare

Dans tous les cas de figure, ces matériaux alternatifs doivent présenter des performances mécaniques conformes aux référentiels de spécifications d'usage en vigueur (normes produits, guides techniques régionaux, etc.), permettant de justifier de leurs usages en technique routière.

2.2.2 - Elaboration des matériaux routiers

Une fois élaborés et caractérisés, les matériaux alternatifs peuvent être mis en œuvre seuls et en l'état (MA = MR), ou utilisés en mélange avec d'autres matériaux (granulats, fillers, liants hydrauliques, liants bitumineux, etc.) après une étape de formulation dans les usages routiers couverts par ce guide (§ 3.1).

Cette étape est réalisée soit sur la plateforme d'élaboration des matériaux alternatifs, soit, plus généralement, directement sur les chantiers ou à proximité des chantiers routiers, en utilisant des centrales de malaxage pour élaborer les formulations adéquates.

Les matériaux routiers fabriqués à partir de matériaux alternatifs issus de gisements de laitiers peuvent être les suivants :

- grave non traitée (GNT) normalisée et tout venant : matériau routier élaboré à l'aide d'une grave de laitier, pouvant intégrer d'autre(s) constituant(s), par exemple en vue de la rectification de la courbe granulométrique ;
- grave traitée au liant hydraulique (GTLH) : matériau routier élaboré pour l'obtention de performances mécaniques élevées, à partir d'une grave de laitier pouvant intégrer d'autre(s) constituant(s), en mélange avec un liant hydraulique routier ou du ciment (CEM I ou CEM III par exemple) ;
- grave bitume (GB) et enrobé à module élevé (EME) : matériau routier à faible teneur en liant, constitué à partir d'une grave ou de granulats de laitier enrobés à l'aide d'un liant hydrocarboné (type bitume), et destiné aux couches de fondation ou de base, d'une épaisseur comprise entre 8 et 14 cm ;
- béton bitumineux (BB) et béton bitumineux à module élevé (BBME) : matériau routier riche en bitume, constitué à partir d'une grave ou de granulats de laitier enrobés à l'aide d'un liant hydrocarboné (type bitume), et utilisé principalement pour les couches de roulement, c'est-à-dire pour les couches supérieures de la chaussée, d'une épaisseur comprise entre 2 et 8 cm ;
- enduit superficiel : matériau routier constitué d'une alternance de couches de liant hydrocarboné et de granulats de laitiers, répandues successivement. Il s'agit d'une couche de roulement réalisée en place sur la structure routière existante, d'une épaisseur comprise entre 1 à 2 cm en fonction des cas.



3 - Domaines d'emploi et limitations d'usage

3.1 - Usages routiers pris en compte

Dans le cadre du présent guide d'application relatif à la valorisation des laitiers sidérurgiques, trois types d'usages routiers sont autorisés.

Les paragraphes suivants détaillent plus précisément les usages routiers autorisés.

3.1.1 - 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 »⁽⁶⁾, tels que :

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

La figure 10 illustre les différents usages routiers pris en compte dans le « type 1 ».

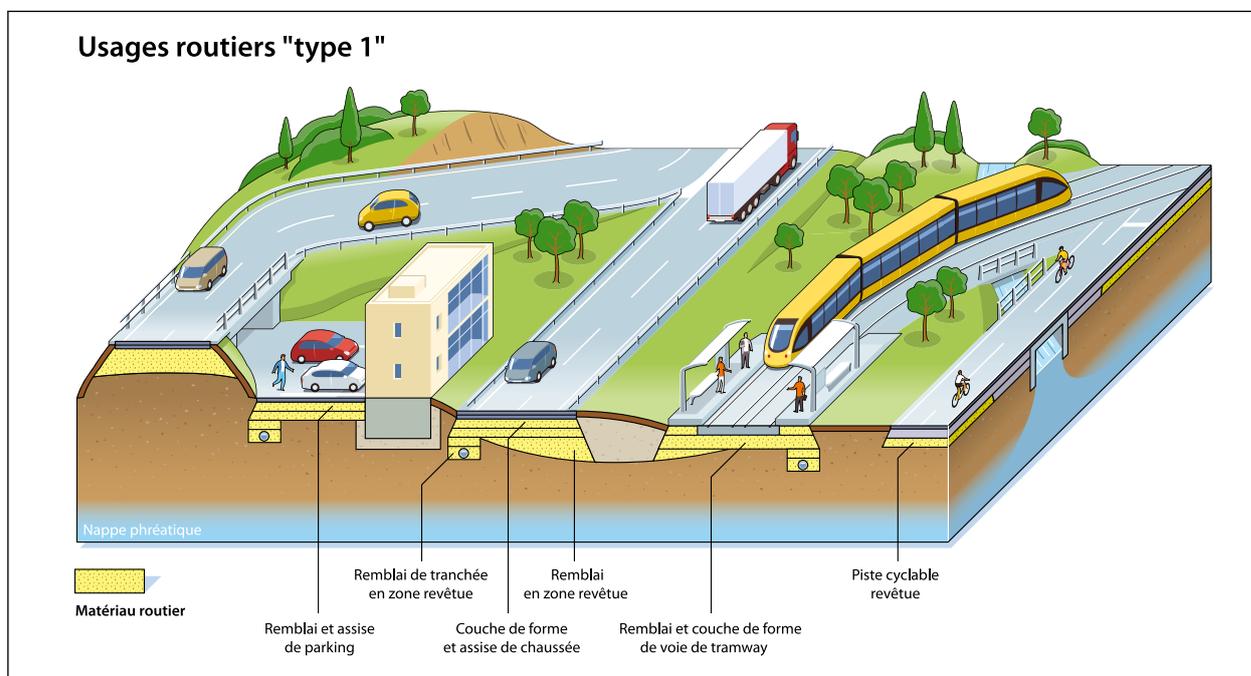


Figure 10 - Usages routiers de "type 1"

(6) 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 - 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 (ex : plateforme, tranchée, merlon de protection phonique, etc.) ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers « recouverts »⁽⁷⁾.

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 »⁶.

La figure 11 illustre les différents usages routiers pris en compte dans le « type 2 ».

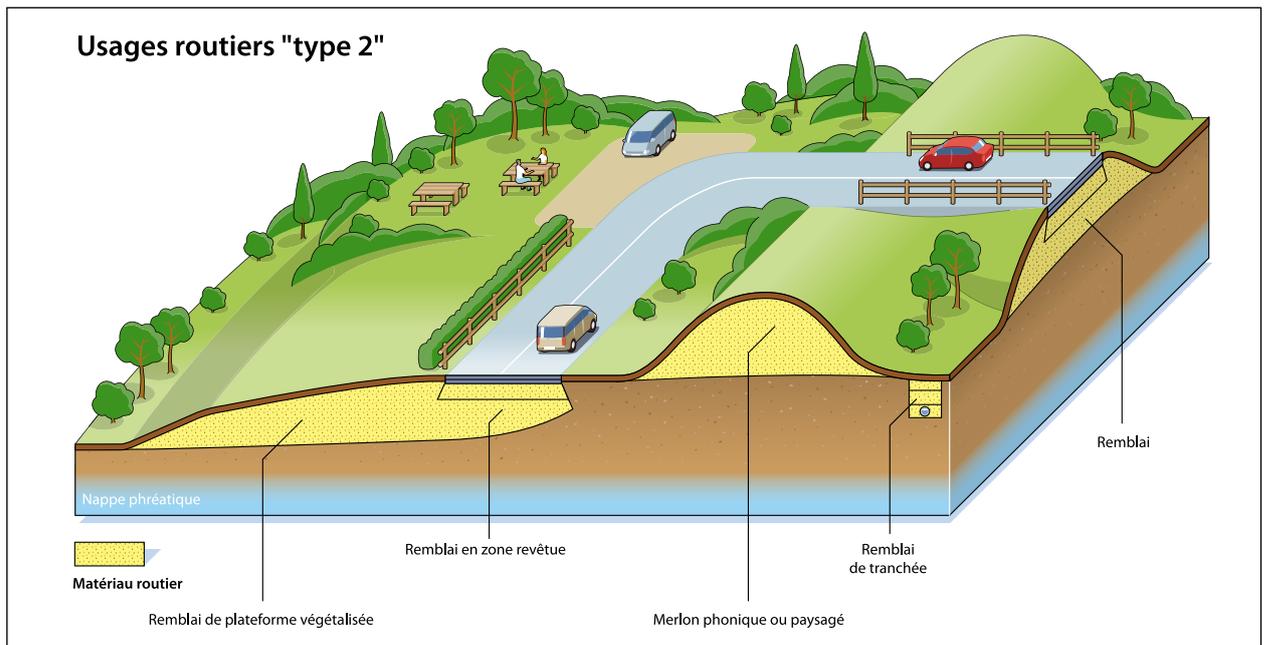


Figure 11 - Usages routiers de « type 2 »

(7) 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%.

3.1.3 - 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 (ex : 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 ...) ;
- en remblai de pré-chargement nécessaire à la construction d'une infrastructure routière ;
- en système drainant (ex : tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir).

Reentre 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.

La figure 12 illustre les différents usages routiers pris en compte dans le « type 3 ».

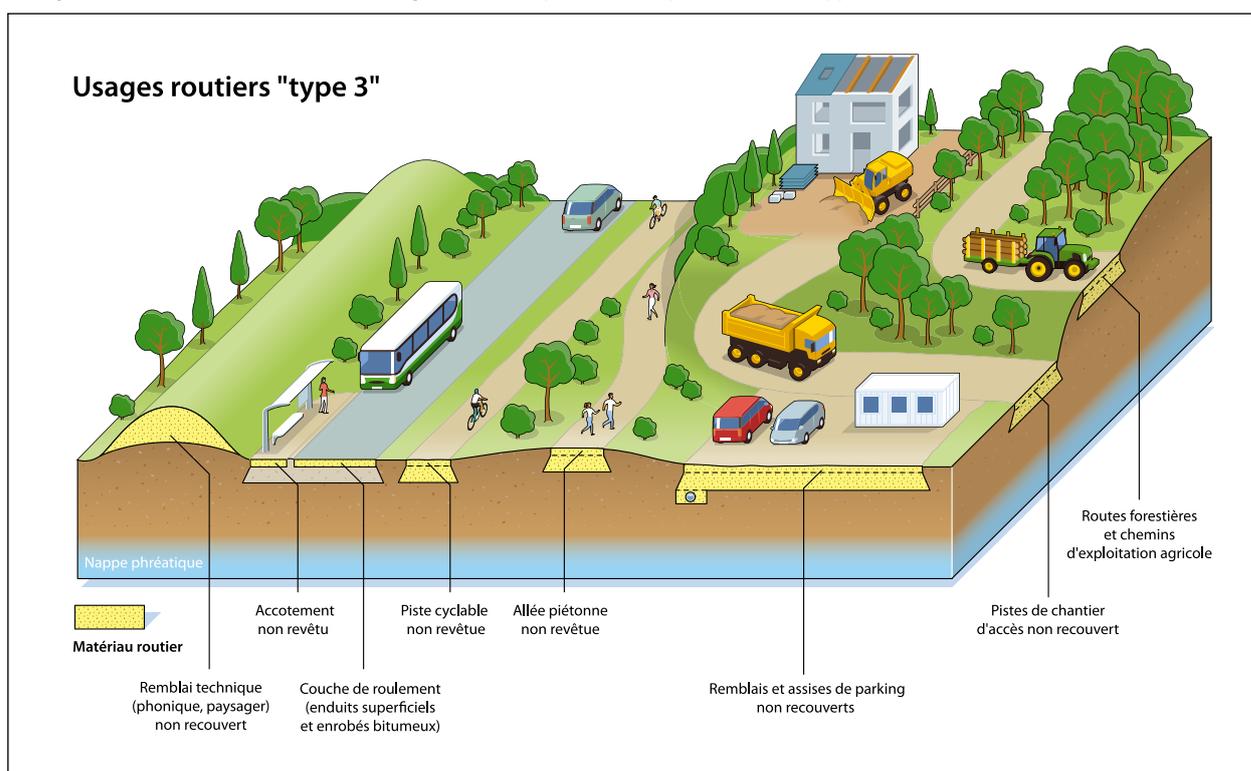


Figure 12 - Usages routiers de « type 3 »

Les performances géotechniques à respecter pour les matériaux rentrant dans la construction de ces ouvrages sont fournies dans les normes « produit » d'usage (NF P 18-545 [6], NF P 11-300 [7], NF EN 13242 [8], NF EN 13043 [9]).

Pour tout autre usage routier envisagé, une étude spécifique menée conformément à la méthodologie du guide Sétra [1] devra être produite et soumise à la DREAL contrôlant l'installation d'élaboration des matériaux alternatifs, afin d'en valider l'usage.

3.2 - 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 parcs nationaux, les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée au titre de la protection de la ressource en eau, ou encore les zones de karsts affleurants.

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 valorisés. Dans ce cas de figure, l'hydrogéologue-expert sollicité devra impérativement avoir contracté une assurance professionnelle couvrant son activité professionnelle.

La grille d'acceptabilité environnementale du § 3.4 fournit pour chacun des cas les limitations d'usage associées au référentiel correspondant.

3.3 - Limitations d'usage liées à la mise en œuvre du matériau routier (MR)

Les stockages temporaires de laitiers sidérurgiques concernent les MA et/ou MR fabriqués et déposés à-même le sol, pour une durée limitée dans le temps, dans le but de constituer des pré-stocks de matériaux de terrassement ou matériaux routiers, mais aussi de construire les infrastructures d'accès (pistes) aux chantiers, certaines plateformes de stockages chantier, ou encore pour servir dans des ouvrages en remblai de pré-chargement pour consolidation des sols, etc.

Il s'agit donc de matériaux non liés en situation non recouverte, mais dont on connaît les caractéristiques géotechniques et environnementales.

Dans ce cas, les limitations d'usage sont également variables et doivent directement être reliées au référentiel d'acceptabilité environnementale auquel satisfont les matériaux. Plus le référentiel est sévère, moins les limitations sont restrictives compte tenu de la sécurité accrue.

La grille d'acceptabilité environnementale du § 3.4 fournit pour chacun des cas les limitations d'usage associées au référentiel correspondant.

3.4 - Grille synthétique de lecture pour l'acceptabilité environnementale des laitiers et limitations associées

Le tableau suivant fournit la grille de lecture synthétique pour l'acceptabilité environnementale de laitiers sidérurgiques utilisés en technique routière.

Cette grille fournit également les limitations associées à l'environnement immédiat du site, et pour la mise en œuvre lors de la phase chantier.

Tableau 2 - Grille de lecture des usages routiers autorisés et de leurs limitations

Référentiel d'acceptabilité environnementale	Limitations liées à la nature des usages routiers	Limitations liées à l'environnement immédiat	Limitations liées à la mise en œuvre
Annexe A Tableau A1	Usages routiers de « type 1 » (§ 3.1.1)	Sauf avis contraire d'un hydrogéologue-expert, l'utilisation des matériaux alternatifs est interdite : - dans les zones inondables et à moins de 50 cm des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues - à moins de 30 m de tout cours d'eau, y compris 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	Capacité de stockage temporaire limitée à 1000 m ³ Au-delà de 1000 m ³ avis d'un hydrogéologue-expert
Annexe A Tableau A2	Usages routiers de « type 2 » (§ 3.1.2)	- dans les périmètres de protection rapprochée (PPR) des captages d'alimentation en eau potable (AEP) - dans les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, en application de l'article L.211-12 du code de l'environnement, au titre de la protection de la ressource en eau - dans les zones de karsts affleurants L'utilisation des matériaux alternatifs est interdite dans les parcs nationaux ⁽⁸⁾	
Annexe A Tableau A3	Usages routiers de « type 3 » (§ 3.1.3) si pH ≤ 12 ⁽⁹⁾	L'utilisation des matériaux alternatifs est interdite dans les parcs nationaux ⁽⁸⁾	Pas de limitations
	Usages routiers de « type 3 » (§ 3.1.3) si pH > 12 ⁽⁹⁾	Sauf avis contraire d'un hydrogéologue-expert, l'utilisation des matériaux alternatifs est interdite : - 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 - dans les périmètres de protection rapprochée (PPR) des captages d'alimentation en eau potable (AEP) - dans les zones couvertes par une servitude d'utilité publique instituée, en application de l'article L.211-12 du code de l'environnement, au titre de la protection de la ressource en eau L'utilisation des matériaux alternatifs est interdite dans les parcs nationaux ⁽⁸⁾	

Lorsque les matériaux alternatifs présentent des valeurs supérieures aux valeurs limites du tableau A1 de l'annexe A, l'acceptabilité environnementale de ces matériaux devra faire l'objet d'une étude spécifique, menée conformément à la méthodologie du guide Sétra [1], dont les résultats seront soumis à la DREAL contrôlant l'installation d'élaboration des matériaux alternatifs.

Dans ce cas de figure, les usages routiers autorisés, ainsi que les limitations liées à l'environnement immédiat de l'ouvrage et à la mise en œuvre des matériaux en phase chantier devront être étudiés au cas par cas et validés par la DREAL.

(8) La liste des parcs nationaux français est disponible sur le site internet <http://www.parcsnationaux.fr>

(9) Mesuré sur l'éluat issu d'un essai de lixiviation NF EN 12457-4 mené sur le MA.

4 - Assurance de la 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 environnemental (ou à défaut, du système de management de la qualité) déployé par les entreprises produisant et mettant sur le marché les matériaux.

L'approche « processus » permet d'acquérir des connaissances sur le procédé ayant généré le laitier afin de mieux appréhender les conséquences potentielles sur ses caractéristiques et sur celles du matériau alternatif résultant.

Les exigences décrites dans ce guide aux paragraphes 4.1 à 4.6 précisent les conditions minimales de maîtrise de la qualité des matériaux fabriqués à partir de gisements de laitiers sidérurgiques. Par conséquent, elles font partie intégrante de l'établissement et du suivi de la procédure d'assurance de la qualité (AQ) environnementale et doivent être documentées.

4.1 - Description du processus laitier

Afin de s'assurer de la pérennité du processus d'élaboration du matériau alternatif final, la procédure AQ décrit les étapes principales de la fabrication et des traitements du matériau alternatif à partir du gisement initial de laitiers bruts (i.e. évacuation, refroidissement, déferriation, concassage, criblage, maturation éventuelle, contrôle, etc.).

Elle intègre également la description de l'étape de commercialisation et précise les usages routiers habituels des matériaux fabriqués, compte tenu de leurs caractéristiques physico-chimiques, environnementales et géotechniques.

4.2 - Ressources et responsabilités

Le producteur des laitiers sidérurgiques doit s'engager à respecter et faire respecter les exigences contenues dans la procédure AQ, ainsi qu'à mettre en œuvre tous les moyens nécessaires.

En cas de sous-traitance ou d'externalisation des traitements associés au processus laitier, un contrat est établi et identifie les responsabilités de l'ensemble des acteurs dont l'activité a une incidence sur les étapes du processus de production des laitiers, de fabrication/élaboration des matériaux alternatifs, de formulation des matériaux routiers, et/ou de commercialisation des matériaux.

En particulier, sont précisés par écrit les acteurs responsables de la qualité du matériau alternatif d'un point de vue des caractéristiques physico-chimiques, environnementales et géotechniques, et les obligations de traçabilité pour assurer la conservation de la mémoire des chantiers.

Un responsable, mandaté par le Producteur des laitiers sidérurgiques, s'assure que les prescriptions de la procédure AQ sont bien respectées par le biais d'audits à une fréquence minimale annuelle.

Les limitations d'usage et recommandations à observer pour la mise en œuvre du matériau sont communiquées par écrit par le Fabricant à l'aide de la fiche de traçabilité des matériaux fabriqués, ainsi que de la fiche de données environnementales des lots constituant le chargement (annexe D). Elles doivent être remises par le vendeur aux utilisateurs.

4.3 - Evaluation de la conformité environnementale

Les paramètres environnementaux et les valeurs limites (VL) du présent guide (Annexe A tableaux A1, A2 et A3), permettant de statuer sur la conformité des matériaux alternatifs issus de laitiers, sont clairement mentionnés dans la procédure AQ. Afin de vérifier que les exigences relatives au matériau alternatif sont satisfaites, ses caractéristiques sont surveillées et mesurées régulièrement.

Les résultats obtenus sont comparés aux valeurs limites du présent guide (Annexe A) pour évaluer la conformité environnementale des lots de matériaux alternatifs fabriqués par l'installation, et déterminer la destination et les conditions d'usage appropriées de ces matériaux. Les limites de détection et de quantification associées aux méthodes d'analyse ne doivent pas empêcher cette évaluation (Annexe B).

Les contrôles de conformité (routine) des matériaux alternatifs fabriqués correspondent à une qualification initiale complète de l'ensemble des paramètres mentionnés dans les tableaux A1, A2 et A3 de l'Annexe A à une périodicité P telle qu'indiquée dans le tableau 3, compte tenu des caractéristiques de fabrication de l'installation. Les mesures du pH et de la conductivité électrique sont également reportées dans les bordereaux des résultats obtenus.

Dans le cas où différents matériaux alternatifs (gamme complète de coupures de granulats : sables, gravillons, graves, etc.) seraient fabriqués à partir d'un même lot (mensuel, trimestriel ou semestriel) de laitiers bruts, le Fabricant réalisera la vérification de conformité sur la coupure dont la granulométrie correspond à la fraction commercialisée la plus fine.

En cas de formulation, la vérification de conformité devra être menée conformément aux dispositions du paragraphe 4.4.

Compte tenu des résultats obtenus au cours de cette période initiale, la périodicité P et la liste des paramètres à suivre pourront être modifiées et adaptées pour la suite de la surveillance de la conformité environnementale du gisement de matériaux alternatifs élaborés par l'installation. Le tableau suivant fournit les possibilités d'évolution des contrôles de conformité dans les différents cas de figure.

Tableau 3 - Périodicité de la vérification de la conformité environnementale des MA, et évolutions possibles

Capacité* de l'installation élaborant les MA	Périodicité P minimale des contrôles	Evolution des contrôles	
		Périodicité**	Liste des paramètres
Installation < 30 000 t/an*	1 échantillon par trimestre pendant la période de fonctionnement de l'installation	Si 12 échantillons d'affilée sont tous < VL usage associé, possibilité de passer à 1 échantillon par semestre	Si 12 échantillons d'affilée sont tous ≤ (VL usage associé)/2, possibilité d'analyser ces paramètres 1 fois par an
Installation > 30 000 t/an*	1 échantillon par mois pendant la période de fonctionnement de l'installation	Si 12 échantillons d'affilée sont tous < VL usage associé, possibilité de passer à 1 échantillon par trimestre	Si 12 échantillons d'affilée sont tous ≤ (VL usage associé)/2, possibilité d'analyser ces paramètres 1 fois par an

* capacité évaluée sur la base de l'année n-1 pour des contrôles effectués au cours de l'année n

** uniquement pour les installations utilisant une procédure de conformité avec acceptabilité environnementale préalable

Les essais de lixiviation sont à effectuer selon la norme NF EN 12457-4 [3] sur un échantillon représentatif de la période P couverte. La procédure d'échantillonnage est effectuée selon les recommandations de l'annexe C. Cette méthode vise à garantir la représentativité de l'échantillon par rapport à l'ensemble des matériaux alternatifs fabriqués au sein du lot constitué sur la période P.

L'acceptabilité environnementale vis-à-vis des scénarios d'usage des lots de matériaux alternatifs fabriqués par l'installation peut ainsi être démontrée par le vendeur au client pour tout lot, ou partie de lot, sortant de l'installation sur la base de la fiche de données environnementales délivrée par le Fabricant.

La vérification de la conformité environnementale préalablement à la cession du matériau routier est la règle générale. Cependant, lorsque la capacité de stockage des matériaux fabriqués est restreinte, la vérification de la conformité environnementale postérieurement à leur cession peut être tolérée si les conditions suivantes sont réunies :

- le gisement de matériaux alternatifs a démontré, pour 12 lots consécutifs, la conformité environnementale de l'ensemble des paramètres au référentiel associé aux usages routiers de « type 3 » (tableau A3 de l'Annexe A) ;
- la périodicité P minimale des contrôles du gisement est maintenue.

La réduction de la liste des paramètres telle qu'indiquée dans le tableau 3 demeure, elle, toutefois possible.

Dans ce cas et sous réserve des conditions mentionnées précédemment, il sera possible pour ces installations d'utiliser les matériaux fabriqués sans vérification préalable dans les usages routiers de « type 3 », et bien entendu si les performances techniques le permettent, pour les usages routiers de « type 2 » et/ou de « type 1 ».

La fiche de données environnementales des lots de MA concernés sera adressée au client au plus tard 2 mois après la livraison des MR sur chantier ; si l'analyse des caractéristiques n'est pas en conformité avec l'usage routier, le fabricant en informe le client et une analyse des risques associés devra être faite.

Le plan de surveillance et de mesure, ainsi que la procédure d'échantillonnage figurent dans la procédure AQ. Les résultats de surveillance et de mesure font l'objet d'enregistrements lisibles et accessibles.

4.4 - Cas de la vérification de la conformité des MA et MR élaborés et formulés à partir de mélanges de MA

Si le matériau routier (MR) est formulé à partir de matériaux, alternatifs (MA) ou non, dont au moins un MA est fabriqué à partir d'un gisement de laitiers sidérurgiques, la procédure de vérification de la conformité environnementale doit se dérouler selon trois cas de figure :

- le MR a été fabriqué à partir d'un MA issu d'un gisement de laitier sidérurgique, mais l'ensemble des autres constituants de la formulation sont des matériaux d'origine naturelle, des liants hydrauliques routiers ou des liants hydrocarbonés. Dans ce cas, la conformité du MR est déclarée sur la seule base de la conformité environnementale du MA fabriqué à partir des laitiers sidérurgiques ;
- le MR a été fabriqué à partir de plusieurs MA issus de différents gisements de laitiers sidérurgiques (ex : un laitier de haut fourneau cristallisé + un laitier d'aciérie électrique en filière carbone), mais tous les autres constituants de la formulation sont des matériaux d'origine naturelle, des liants hydrauliques routiers ou des liants hydrocarbonés. Dans ce cas, la conformité du MR est déclarée sur la seule base de la conformité environnementale des différents MA, jugés individuellement. Les usages possibles sont alors ceux qui sont autorisés pour tous les MA ;
- le MR a été fabriqué à partir d'un ou plusieurs MA issus de différents gisements de laitiers sidérurgiques, et d'autres constituants de la formulation sont des MA d'origine non sidérurgique (ex : MIDND, cendres volantes, ...). Dans ce cas, une étude spécifique menée conformément à la méthodologie du guide Sétra [1] devra être produite et soumise à la DREAL contrôlant l'installation d'élaboration des matériaux alternatifs, afin d'en valider l'utilisation.

4.5 - Traitement des non conformités et anomalies

Les modalités de traitement des lots de MA non conformes figurent dans la procédure AQ. Les matériaux alternatifs qui ne respectent pas les valeurs limites peuvent faire l'objet d'un nouveau contrôle (par exemple une contre-analyse) et sont alors mis, par tout moyen adapté, en attente de résultat de ce nouveau contrôle.

Lorsque la non conformité est confirmée, les lots concernés doivent être identifiés et maîtrisés par le Fabricant de façon à empêcher leur utilisation dans l'élaboration des MR prévus. La destination des laitiers non conformes est choisie conformément à la réglementation en vigueur.

4.6 - Documentation et traçabilité

La procédure AQ recense l'ensemble des documents et des données internes et externes liés au processus laitier (par exemple : procédures, rapports d'analyses, plan de stockage, tickets de pesée, enregistrement des tonnages traités et expédiés par destination, fiche technique produit (Annexe E), fiche de données environnementales (Annexe D)).

Ces documents et données, gérés de façon maîtrisée, permettent de :

- suivre ou contrôler le matériau tout au long de sa réalisation ;
- prouver sa conformité aux exigences du présent guide ;
- connaître sa destination finale et identifier les différents acteurs garants de la traçabilité du matériau alternatif.

La traçabilité des flux est assurée dans le respect de la réglementation en vigueur, telle que mentionnée dans l'arrêté ministériel du 29 février 2012 (J.O. du 9 mars 2012).

Le vendeur doit s'assurer de la compatibilité entre les caractéristiques du matériau routier et les usages routiers déclarés, et remettre au tiers concerné la fiche de données environnementales des lots constituant le chargement.

Les enregistrements permettant d'apporter la preuve de la conformité aux exigences du présent guide (sur papier ou sur support numérique) sont établis et conservés. La destination finale déclarée des matériaux routiers est enregistrée et archivée, en précisant au minimum le destinataire (nom, adresse postale), la quantité et la date d'expédition. Un exemple de documentation de suivi de la traçabilité et de la qualité des matériaux est fourni dans l'annexe D.

L'ensemble de la documentation est conservé pendant au moins 3 ans et est tenu à la disposition de l'inspection des installations classées (art. 7 de l'Arrêté du 29 février 2012).



Annexes

Annexe A : critères environnementaux à respecter pour la valorisation des laitiers sidérurgiques en technique routière

La valorisation des matériaux alternatifs fabriqués à partir de gisements de laitiers sidérurgiques est contrôlée en évaluant le comportement à la lixiviation des matériaux alternatifs rentrant dans l'usage routier visé. Cette évaluation est menée en mesurant le potentiel de relargage conformément à la norme NF EN 12457-4 [3] (ou NF X30402-4) sur un échantillon représentatif⁽¹⁰⁾ du lot à caractériser.

Les valeurs limites indiquées dans les tableaux A1, A2 et A3 suivants correspondent à des quantités relarguées à un ratio liquide sur solide L/S=10 l/kg, telles que calculées selon les exigences fournies dans la norme NF EN 12457-4 et exprimées en mg/kg de matière sèche.

Les mesures du pH et de la conductivité électrique sont obligatoires tel que spécifié dans les chapitres 5.2 et 7.2 de la norme NF EN 12457-4. Elles sont également reportées dans les bordereaux des résultats obtenus.

(10) L'annexe C fournit les procédures à respecter pour la constitution d'échantillon représentatif en fonction de la situation rencontrée

Tableau A1 – Valeurs limites à respecter pour les usages routiers de « type 1 »

Paramètre	Valeur limite (mg/kg de MS)
As***	0,6
Ba	36
Cd***	0,05
Cr total**	4
Cr hexavalent**	1,2
Cu***	3
Hg***	0,01
Mo	5,6
Ni***	0,5
Pb***	0,6
Sb***	0,08
Se	0,50
Zn***	5
Fluorures	60
Chlorures*	10000
Sulfates*	10000

* Pour être jugé conforme, il convient seulement de respecter les valeurs associées aux anions chlorures et sulfates. La conformité à la valeur limite pour la fraction soluble globale du guide Sétra (mars 2011) [1] n'est pas pertinente pour les MA et MR fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques (cf. §2.1.6).

** Si la valeur du Cr hexavalent est supérieure à celle du Cr total, la valeur à retenir par défaut pour le chrome hexavalent est celle obtenue pour le Cr total.

*** Dans le cas où la valeur limite serait dépassée pour ce paramètre, il sera possible de réaliser un essai de percolation afin de démontrer la conformité du lot aux seuils du guide méthodologique du Sétra (mars 2011) [1].

Tableau A2 – Valeurs limites à respecter pour les usages routiers de « type 2 »

Paramètre	Valeur limite (mg/kg de MS)
As***	0,6
Ba	25
Cd***	0,05
Cr total**	2
Cr hexavalent**	0,6
Cu***	3
Hg***	0,01
Mo	2,8
Ni***	0,5
Pb***	0,6
Sb***	0,08
Se	0,40
Zn***	5
Fluorures	30
Chlorures*	5000
Sulfates*	5000

* Pour être jugé conforme, il convient seulement de respecter les valeurs associées aux anions chlorures et sulfates. La conformité à la valeur limite pour la fraction soluble globale du guide Sétra (mars 2011) [1] n'est pas pertinente pour les MA et MR fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques (cf. § 2.1.6).

** Si la valeur du Cr hexavalent est supérieure à celle du Cr total, la valeur à retenir par défaut pour le chrome hexavalent est celle obtenue pour le Cr total.

*** Dans le cas où la valeur limite serait dépassée pour ce paramètre, il sera possible de réaliser un essai de percolation afin de démontrer la conformité du lot aux seuils du guide méthodologique du Sétra (mars 2011) [1].

Tableau A3 – Valeurs limites à respecter pour les usages de « type 3 »

Paramètre	Valeur limite (mg/kg de MS)
As	0,6
Ba	25
Cd	0,05
Cr total	0,6
Cu	3
Hg	0,01
Mo	0,6
Ni	0,5
Pb	0,6
Sb	0,08
Se	0,1
Zn	5
Fluorures	13
Chlorures*	1000
Sulfates*	1300

* Pour être jugé conforme, il convient seulement de respecter les valeurs associées aux anions chlorures et sulfates. La conformité à la valeur limite pour la fraction soluble globale du guide Sêtra (mars 2011) [1] n'est pas pertinente pour les MA et MR fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques (cf. § 2.1.6).



Annexe B : prescriptions pour les laboratoires d'essai

L'annexe B fournit les recommandations pour les laboratoires d'analyse qui seront en charge des essais de lixiviation et des analyses subséquentes des paramètres spécifiés dans les tableaux A1, A2 et A3 de l'Annexe A, réalisés lors de la vérification de la conformité des MA et MR.

Procédure de séchage

- délai maximum entre la réception au laboratoire et le début du séchage : 24 heures ;
- température de séchage : $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sous atmosphère normale ;
- durée du séchage : 24 heures, ou à défaut jusqu'à « poids constant » (variation de masse $<1\%$ entre deux pesées successives à 2h d'intervalle, avec reprise du séchage entre les deux pesées).

Normes d'analyses et d'essais à utiliser

Essai de lixiviation

- NF EN 12457-4 [3] (décembre 2002) : Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 4 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 10 mm (sans ou avec réduction de la granularité).

Analyse des éluats

- NF EN 16192 [4] : Caractérisation des déchets - Analyse des éluats.

NF EN 15192 [5] : Caractérisation des déchets et des sols - Dosage du chrome (VI) dans les matériaux solides par digestion alcaline et chromatographie ionique avec détection spectrophotométrique.⁽¹¹⁾

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 12457-4 [3]. 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 les tableaux A1, A2 et A3 de l'Annexe A.

Flaconnages

Flaconnages adéquats pour chaque analyse à fournir par le laboratoire. Privilégier les lignes directrices spécifiées dans la norme NF EN ISO 5667-3 (juin 2004) : Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 3 : lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau

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

Engagement à préciser au demandeur lors de la proposition.

⁽¹¹⁾ Pour ce qui concerne l'analyse du chrome hexavalent dans les éluats, seule la partie analytique (chromatographie ionique avec détection spectrophotométrique) de la norme est à prendre en considération ; la partie relative à la digestion alcaline n'est pas pertinente.

Détails des normes d'essai pour les analyses des éluats

Lixiviation NF EN 12457-4		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 ⁽¹²⁾
As	0,5	NF EN ISO 11885 ou EN ISO 11969	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
Cr hexavalent	0,1	NF EN 15192	NF EN ISO 18412 ou NF T90-043 ou NF EN ISO 23913
Cu	1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Hg	0,005	NF EN 1483	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 pr NF ISO 17378-1 ou pr NF ISO 17378-2
Se	0,05	NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2 ou pr NF ISO 17379-1 ou pr NF ISO 17379-2
Zn	1	ISO 8288 ou NF EN ISO 11885	NF EN ISO 17294-2
Fluorures	1	EN ISO 10304-1 ou ISO 10359-1	-
Chlorures	10	ISO 9297 ou EN ISO 10304-1 ou EN ISO 10304-2	-
Sulfates	10	EN ISO 10304-1 ou EN ISO 10304-2	-

(12) 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.

Annexe C : procédure d'échantillonnage des laitiers sidérurgiques

L'annexe C fournit la procédure à respecter pour la constitution d'échantillons représentatifs en fonction de la situation rencontrée.

Ces recommandations sont basées sur les prescriptions fournies par le guide du CTPL relatif à la caractérisation environnementale des gisements de laitiers (juillet 2009), les normes d'échantillonnage sur les déchets NF EN 14899 (avril 2006) et FD CEN/TR 15310 parties 1 à 5 (mars 2007), ainsi que la norme relative à l'échantillonnage des granulats NF EN 932-1 (décembre 1996). Ces recommandations, relatives à l'échantillonnage sur flux et sur tas, utilisent également le retour d'expérience des protocoles d'échantillonnage des mâchefers d'usine d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) édités par le SVDU.

De manière générale, la stratégie d'échantillonnage d'un lot de matériaux alternatifs fabriqué à partir de laitiers sidérurgiques visera à la constitution d'un échantillon représentatif composite (de masse M), à base de prélèvements élémentaires (de masse m) échantillonnés statistiquement.

La masse M de l'échantillon composite, ainsi que la taille m des prélèvements élémentaires seront fonction de la granularité maximale (95% du passant = d95) du matériau alternatif échantillonné. Empiriquement, on retiendra les trois cas de figure suivants en fonction de la granularité des particules du MA :

- d95 > 50 mm : M = 120 kg et m = 5 kg, soit au minimum 24 prélèvements élémentaires pour constituer l'échantillon composite représentatif du lot
- 20mm < d95 < 50 mm : M = 60 kg et m = 2,5 kg, soit au minimum 24 prélèvements élémentaires pour constituer l'échantillon composite représentatif du lot
- d95 < 20 mm : M = 25 kg et m = 1 kg, soit au minimum 25 prélèvements élémentaires pour constituer l'échantillon composite représentatif du lot

Sur cette base, l'échantillonnage des lots de laitiers peut être effectué selon les modalités suivantes, compte tenu du mode d'élaboration du matériau alternatif par l'installation.

1) Echantillonnage des installations fabricant des matériaux alternatifs en flux continu

- cas de constitution d'un échantillon représentatif d'une installation contrôlée à une périodicité mensuelle : effectuer au moins 1 prélèvement élémentaire de masse m chaque jour au cours de la période de fabrication ;
- cas de constitution d'un échantillon représentatif d'une installation contrôlée à une périodicité trimestrielle : effectuer au moins 2 prélèvements élémentaires de masse m chaque semaine au cours de la période de fabrication ;
- cas de constitution d'un échantillon représentatif d'une installation contrôlée à une périodicité semestrielle : effectuer au moins 1 prélèvement élémentaire de masse m chaque semaine au cours de la période de fabrication.

L'échantillon composite global sera alors (au minimum) constitué d'au moins 20 prélèvements individuels et pourra alors être soumis à la caractérisation des laboratoires d'essai et d'analyse. Pour ce faire, la réduction de la taille de cet échantillon (sous-échantillonnage) pourra être réalisée par pelletage alterné, quartage manuel ou en utilisant un diviseur automatique d'échantillon afin d'obtenir la quantité ad hoc d'échantillon pour essai nécessaire pour envoi au laboratoire (minimum 2 kg pour les échantillons d95 < 20 mm, minimum de 4 kg pour les échantillons 20 mm < d95 < 50 mm et minimum de 8 kg pour les échantillons d95 > 50 mm).

2) Echantillonnage des installations fabricant des matériaux alternatifs gérés en stocks

Dans ce cas de figure, quelle que soit la périodicité de contrôle de conformité des lots de matériaux alternatifs fabriqués, les recommandations sont les mêmes. L'échantillonnage sera effectué sur un lot de matériau alternatif fabriqué et stocké en tas représentatif d'une période définie (1 mois, 1 trimestre ou 1 semestre). L'objectif est de disposer d'un échantillon représentatif de ce tas de MA.

Effectuer (au minimum) sur ce tas 24 prélèvements de masse m (1 kg, 2,5 kg ou 5 kg selon la granularité maximale des MA), répartis autour et à l'intérieur du tas selon les bonnes pratiques en la matière. Chaque prélèvement unitaire est effectué de manière aléatoire dans le lot afin de couvrir l'ensemble du volume considéré, dans les différentes zones du tas et à différentes profondeurs.

Les recommandations du guide CTPL, de la norme NF EN 932-1 et du protocole pour l'échantillonnage des MIOM donnent des exemples détaillés de méthodes pratiques en fonction de la forme du tas (conique, allongée, en banane, etc.).

L'échantillon composite global sera alors (au minimum) constitué d'au moins 24 prélèvements individuels et pourra alors être soumis à la caractérisation des laboratoires d'essai et d'analyse. Pour ce faire, la réduction de la taille de cet échantillon (sous-échantillonnage) pourra être réalisé par pelletage alterné, quartage manuel ou en utilisant un diviseur automatique d'échantillon afin d'obtenir la quantité ad hoc d'échantillon pour essai nécessaire pour envoi au laboratoire (minimum 2 kg pour les échantillons $d_{95} < 20$ mm, minimum de 4 kg pour les échantillons $20 \text{ mm} < d_{95} < 50$ mm et minimum de 8 kg pour les échantillons $d_{95} > 50$ mm).



Annexe D : documentation qualité permettant d'assurer la traçabilité et la qualité environnementale des matériaux fabriqués

La documentation de suivi de la traçabilité et de la qualité environnementale des flux de matériaux fabriqués à partir de gisement de laitiers sidérurgiques constitue un des aspects primordial pour la valorisation de matériaux en technique routière.

La présente annexe fournit des exemples de documents permettant de s'assurer du suivi et de la qualité des matériaux fabriqués.

La fiche de traçabilité permet ainsi de disposer d'un document rassemblant l'ensemble des coordonnées des principaux industriels impliqués dans la filière de valorisation ; producteur du laitier, plateforme d'élaboration fabricant le matériau. Elle reprend également, lorsque les informations sont connues, l'usage final des matériaux routiers, les données relatives aux coordonnées du chantier où les matériaux ont été mis en œuvre, ainsi qu'à l'entreprise chargée de cette mise en œuvre.

Les annexes techniques complètent ces données en indiquant le listing des bons de pesée, la quantité et la qualité environnementale des matériaux livrés, ainsi que la ou les fiches de données environnementales des lots constituant le chargement.

Logo du
Fabricant

Fiche de traçabilité des matériaux élaborés à base de laitiers sidérurgiques valorisés en technique routière

ENSEMBLE PARTICIPONS A PRESERVER LES RESSOURCES NATURELLES PAR L'EMPLOI DE MATERIAUX ALTERNATIFS

1- PRODUCTEUR

Site sidérurgique ayant généré les laitiers	Nom
	Adresse

2- FABRICANT

Installation ayant fabriqué le matériau alternatif	Nom
	Adresse

3- RESPONSABLE DE LA MISE EN ŒUVRE

Nom

Adresse

4- CHANTIER (SI VALEURS > VL ASSOCIÉES AUX USAGES DE « TYPE3 » (CF. ANNEXE 3))

Adresse

Date	Autres informations
------------	---------------------------

Nature de l'ouvrage

5- 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 pré-chargement	<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"/>
Pistes de chantier	<input type="checkbox"/>				
Routes forestières	<input type="checkbox"/>				
Chemins d'exploitation agricole	<input type="checkbox"/>				
Chemins de halage	<input type="checkbox"/>				
Autre, précisez :	<input type="checkbox"/>				

6- MATERIAU ROUTIER FABRIQUE

Nom :	Norme Produit :
-------	-----------------

Grave non traitée 0/D <input type="checkbox"/>	Grave traitée LH <input type="checkbox"/>	Grave bitume ou EME <input type="checkbox"/>
Béton bitumineux ou BBME <input type="checkbox"/>	Enduit superficiel <input type="checkbox"/>	Tout venant <input type="checkbox"/>

Visa du fabricant :	Date :
---------------------	--------

7-PRESRIPTIONS REGLEMENTAIRES DU GUIDE D'APPLICATION LAITIERS SIDERURGIQUES (SETRA, REF.1226, OCTOBRE 2012)

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 :

- o remblai sous ouvrage,
- o couche de forme,
- o couche de fondation,
- o 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 (ex : plateforme, tranchée, merlon de protection phonique ...) 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 :

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

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

- o de pistes de chantier,
- o de routes forestières,
- o de chemins d'exploitation agricole,
- o 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 routiers de « Type 1 » et de « 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 dans les zones désignées comme zone de protection des habitats des espèces, de la faune et de la flore sauvages en application de l'article L.414-1 du code de l'environnement ;
- en dehors des périmètres de protection 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 affleurants.

Dans tous les cas, l'utilisation doit se faire en dehors des parcs nationaux.

Pour les matériaux routiers de « Type 3 » ayant un **pH ≤ 12**, l'utilisation doit se faire en dehors des parcs nationaux.

Sauf avis contraire d'un hydrogéologue-expert, pour les matériaux routiers de « Type 3 » ayant un **pH > 12**, l'utilisation doit se faire :

- 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 dans les zones désignées comme zone de protection des habitats des espèces, de la faune et de la flore sauvages en application de l'article L.414-1 du code de l'environnement ;
- en dehors des périmètres de protection 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 ;

Dans tous les cas, l'utilisation doit se faire en dehors des parcs nationaux.

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

Pour les **matériaux routiers de « Type 3 »**, pas de limitation.

Pour les **matériaux routiers de « Type 1 » et de « Type 2 »**, la mise en œuvre de matériaux routiers doit être effectuée de façon à limiter les contacts avec les eaux météoriques, superficielles et souterraines.

A ce titre, 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 m³.

8-VISA DU RESPONSABLE DE LA MISE EN ŒUVRE

En signant ce document j'atteste de la véracité des informations précisées et de l'adéquation de l'emploi des matériaux élaborés à base de laitiers sidérurgiques sur mon chantier avec les prescriptions d'emploi rappelées au point 7.

Nom (personne responsable du chantier ou de la mise en œuvre) :

Date :

Visa et tampon :

Annexe 3 – Exemple de fiche de données environnementales d'un lot de matériau alternatif élaboré à partir de laitiers sidérurgiques

Fiche de données environnementales d'un lot de matériau alternatif élaboré à partir de laitiers sidérurgiques

Usine sidérurgique/plate-forme d'élaboration	Lot
Xxxxxx/Yyyyyy	Mois/Année
Domaine d'emploi environnemental	Type 1 ou Type 2 ou Type 3

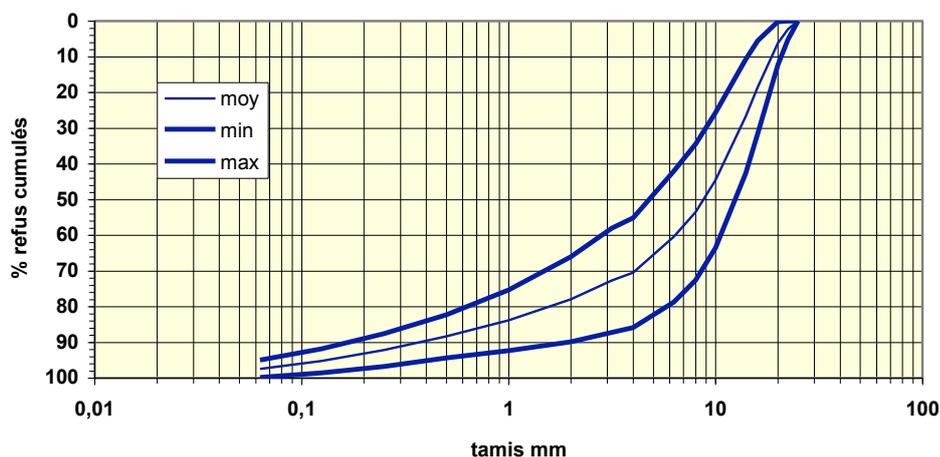
Paramètre (lixiviation NF EN 12457-4)	Valeur limite à respecter (en mg/kg de matière sèche)			Résultat de l'essai
	Usages routiers de « Type 1 »	Usages routiers de « Type 2 »	Usages routiers de « Type 3 »	
As/Arsenic	0,6			
Ba/Baryum	36	25		
Cd/Cadmium	0,05			
Cr total/Chrome total	4	2	0,6	
Cr ^{VI}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

* Pour être jugé conforme, il convient seulement de respecter les valeurs associées aux anions chlorures et sulfates. La conformité à la valeur limite pour la fraction soluble globale du guide Sétra (mars 2011) [1] n'est pas pertinente pour les MA et MR fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques (cf. §2.1.6).

Annexe E : exemple de fiche technique produit des matériaux fabriqués

Modèle selon la norme NF P 18-545, 2011

Logo du Fabricant	Matériau routier : grave de laitier 0/20 mm
Désignation	Grave non traitée
Nature pétrographique/origine	Laitier cristallisé des hauts-fourneaux du site xxxx
Référence normative	Conforme à la NF P 18-302, laitier de type H
Caractéristique du produit	MA industriel stable et inerte assimilé à un Granulat Artificiel et à un Matériau rocheux
Stabilité volumique	Aucune expansion à l'essai de vapeur, gonflement nul selon NF EN 1744-1 article 19.3



Utilisation	Couches de Forme, Plates - formes , reprofilage
--------------------	---

Caractéristiques du produit	
D Max	< 50 mm
Passants à 2 mm	< 70 %
Passants à 80 µm	< 12 %
Classification GTR	F8 assimilable à D 21 Insensible à l'eau
Densité mis en place	≅ 2 t/m ³
Masse volumique en vrac	1,5 t/m ³

Caractéristiques intrinsèques	
Masse volumique réelle	2,42 t/m ³
Absorption d'eau	3,8 %
Catégorie de dureté	Code E
Valeur de bleu MB sur fraction 0/2 mm	< 0,25 g/kg
Selon NF P 18-545	LA < 45 et MDe < 28
Teneur en sulfates NF EN 1744-1 art . 10	0,04 % SO ₃

Annexe F : acronymes

Organismes

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFNOR	Association française de normalisation
CEN	Comité européen de normalisation
CETE	Centres d'études techniques de l'équipement
CTPL	Centre technique et de promotion des laitiers sidérurgiques
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
FFA	Fédération française de l'acier
IFSTTAR	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable, et de l'énergie
OFRIR	Observatoire français du recyclage en infrastructure routière
Sétra	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
SVDU	Syndicat national du traitement et de la valorisation des déchets urbains et assimilés

Termes techniques

AOD	Procédé argon-oxygène-décarburation
AQ	Assurance qualité
BB	Béton bitumineux
BBME	Béton bitumineux à module élevé
EME	Enrobé à module élevé
EN	Norme européenne (homologuée)
FD	Fascicule de documentation
FTP	Fiche technique produit
GB	Grave bitume
GNT	Grave non traitée
GTLH	Grave traitée au liant hydraulique
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement

Termes techniques (suite)

LAC	Laitier d'aciérie de conversion
LAFE	Laitier d'aciérie de four électrique
LD	Procédé linz-donawitz
LHF	Laitier de haut-fourneau
LWS	Procédé loire-wendel-sprunk
MA	Matériau alternatif
MIDND	Mâchefers d'incinération de déchets non dangereux
MIOM	Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères
MR	Matériau routier
NF	Norme française (homologuée)
PAQ	Plan assurance qualité
CEN/TS	Spécification technique européenne (statut équivalent à la norme expérimentale française)
XP	Norme française expérimentale



Bibliographie

Guide

- [1] Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière - Évaluation environnementale. Sétra (Réf. 1101), mars 2011, 32 p.

Article de périodique

- [2] Que sont devenus les laitiers sidérurgiques ? CTPL, Revue « Laitiers sidérurgiques », octobre 2011, n° 98, pp. 27-29.

Normes

- [3] Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 4 : Essai en bâchée unique avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 10 mm (sans ou avec réduction de la granularité). Norme NF EN 12457-4. AFNOR, décembre 2002.
- [4] Caractérisation des déchets - Analyse des éluats. Norme NF EN 16192, AFNOR, mars 2012.
- [5] Caractérisation des déchets et des sols - Dosage du chrome (VI) dans les matériaux solides par digestion alcaline et chromatographie ionique avec détection spectrophotométrique. Norme NF EN 15192, AFNOR, janvier 2007.
- [6] Granulats - Éléments de définition, conformité et codification. Norme NF P 18-545, AFNOR, septembre 2011.
- [7] Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Norme NF P 11-300, AFNOR, septembre 1992.
- [8] 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, AFNOR, mars 2008.
- [9] Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation. Norme NF EN 13043, AFNOR, août 2003.

Sites internet

- Site internet du Centre technique et de promotion laitiers sidérurgiques: <http://www.ctpl.info>
- Site internet de l'Observatoire français sur les ressources pour les infrastructures de transport : <http://www.ofrir.ifsttar.fr>



L'objectif du présent guide d'application est de favoriser le recyclage des laitiers sidérurgiques en indiquant aux producteurs de laitiers sidérurgiques les conditions dans lesquelles ils peuvent les valoriser sans mettre en danger la santé humaine et sans nuire à l'environnement. Il sera également un guide pour les services de l'Etat pour fixer des critères de valorisation dans les arrêtés préfectoraux d'autorisation des installations sidérurgiques.

Par ailleurs, le présent 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 exigences opérationnelles relatives à l'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques, et destinés à être utilisés en technique routière. Ces spécifications doivent ainsi permettre aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre d'élaborer des cahiers des charges de projets ou d'analyser les variantes proposées dans le cadre d'appels d'offres.

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 répond aux objectifs communautaires en matière de valorisation des déchets, ainsi que de réduction de leur stockage.



Document disponible au bureau de vente du Sétra
110, rue de Paris - 77171 SOURDUN - France
téléphone : 33(0)1 60 52 31 31 - télécopie : 33 (0)1 60 52 31 69
Référence : **1226** - Prix de vente : **16 €**

*Couverture - crédit photos : SCREG/COGESUD ;
vignettes : SGA - UGITECH - CTPL.
Mise en page : Domigraphic - 17 avenue Aristide Briand - 91550 Paray-Vieille-Poste.
Impression : JOUVE - 1 rue du Docteur Sauvé - 53100 Mayenne.
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document
© 2012 Sétra - Dépôt légal : 3ème trimestre 2012 - ISBN : 978-2-11-129881-1*

*Ce document participe à la protection de l'environnement.
Il est imprimé avec des encres à base végétale sur du papier écolabellisé PEFC.*



**Service d'études
sur les transports,
les routes
et leurs aménagements**

110, rue de Paris
77171 Sourdun - France
tél : 33 (0)1 60 52 31 31
fax : 33 (0)1 60 52 31 69

**Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique du MEDDTL**

