

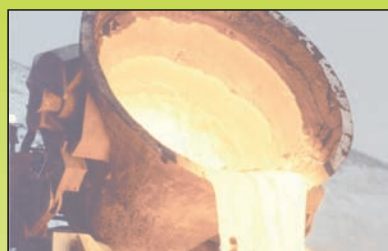
# → Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière



■ Guide calcaire



■ Guide cendres



■ Guide laitier d'aciérie de four électrique



■ Guide laitier haut fourneau



■ Guide matériaux de démolition



■ Guide schiste

## SOMMAIRE

I. INTRODUCTION :	2
II. CHAPITRE 1 : LES LAITIERS DE HAUT FOURNEAU CRISTALLISES DE FRAICHE PRODUCTION	3
A. Les gisements de laitiers de haut fourneau:	3
B. Origine, formation et élaboration des laitiers de haut fourneau :	3
B.1. Origine :	3
B.2. Elaboration :	5
C. Caractérisation des laitiers de HF :	7
C.1. caractéristiques chimiques	7
C.2. Caractéristiques géotechniques	8
C.3. Caractéristiques environnementales	9
C.4. Maîtrise de la qualité	9
D. Domaines d'emploi et références de chantier :	11
D.1. Domaine d'emploi :	12
D.2. Référence – exemple de chantier en remblai et couche de forme	13
D.3. Référence – exemple de chantier en assises de chaussées	14
D.4. Référence – exemple de chantier en enrobés et bétons bitumineux :	15
E. Les Avantages, particularités et dérogations locales	16
III. CHAPITRE 2 : LES LAITIERS DE HAUT FOURNEAU ISSUS DE CRASSIERS	17
A. Les gisements de laitiers de haut fourneau	17
B. Origine, formation et élaboration des laitiers de haut fourneau	18
B.1. Origine	18
B.2. Elaboration	18
C. Caractérisation des laitiers de HF	20
C.1. 3.1 caractéristiques chimiques	20
C.2. Caractéristiques géotechniques	21
C.3. Caractéristiques environnementales	21
D. Domaines d'emploi et références de chantier	22
D.2. Référence – exemple de chantier en remblai et couche de forme	24
D.3. Référence – exemple de chantier en assises de chaussées	25
D.4. Référence – exemple de chantier en enrobés et bétons bitumineux	25
E. Les avantages, particularités et dérogations locales	26

### I. INTRODUCTION :

Les laitiers de haut fourneau sont des co-produits formés lors de l'élaboration de la fonte à partir de minerai de fer. Selon le processus de refroidissement du laitier en fusion, on distingue deux familles :

- ✓ le laitier vitrifié obtenu par un refroidissement brutal à l'eau, lui confère une structure vitreuse. Cela lui permet de développer des propriétés hydrauliques. Ce laitier refroidi à l'eau est appelé 'laitier granulé'
- ✓ le laitier cristallisé, obtenu par un refroidissement lent à l'air, est une roche dure artificielle et chimiquement stable. Seules les laitiers de haut fourneau cristallisés sont abordés dans ce guide.

Selon le décret 2002 – 540 du Ministère chargé de l'environnement relatif à la classification des déchets, les laitiers de haut fourneau sont classés comme déchet non dangereux provenant de procédés thermiques ; ils ne sont ni DND, ni même DD. Ils font l'objet de normes techniques européennes de définitions, de classifications et spécifications et entrent dans la composition de produits normalisés d'usage routier. Ainsi, le laitier cristallisé est destiné à être concassé et élaboré en granulats selon la norme XP P 18-545 et le laitier vitrifié est utilisé principalement en tant que liant hydraulique selon la norme NF P 98-106.

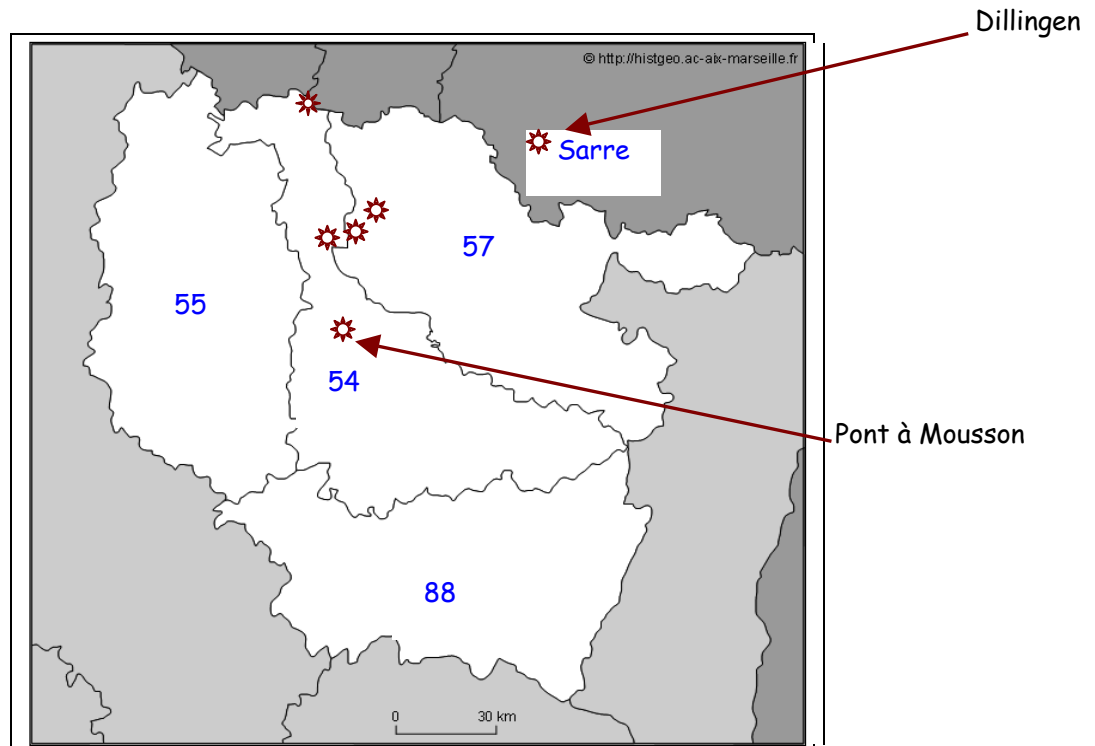


Haut fourneau n° V de ROGESA Dillingen, Allemagne

## II. CHAPITRE 1 : LES LAITIERS DE HAUT FOURNEAU CRISTALLISES DE FRAICHE PRODUCTION

### A. LES GISEMENTS DE LAITIERS DE HAUT FOURNEAU :

- ROGESA Dillingen (Allemagne) : Deux haut fourneaux, n° IV et n° V d'une capacité annuelle de 300 000 tonnes de laitier cristallisé et 900 000 tonnes de laitier granulé.
- Pont à Mousson (54) : Une fraîche production de 120 000 tonnes de laitier cristallisé produits par 2 ou 3 haut fourneaux.

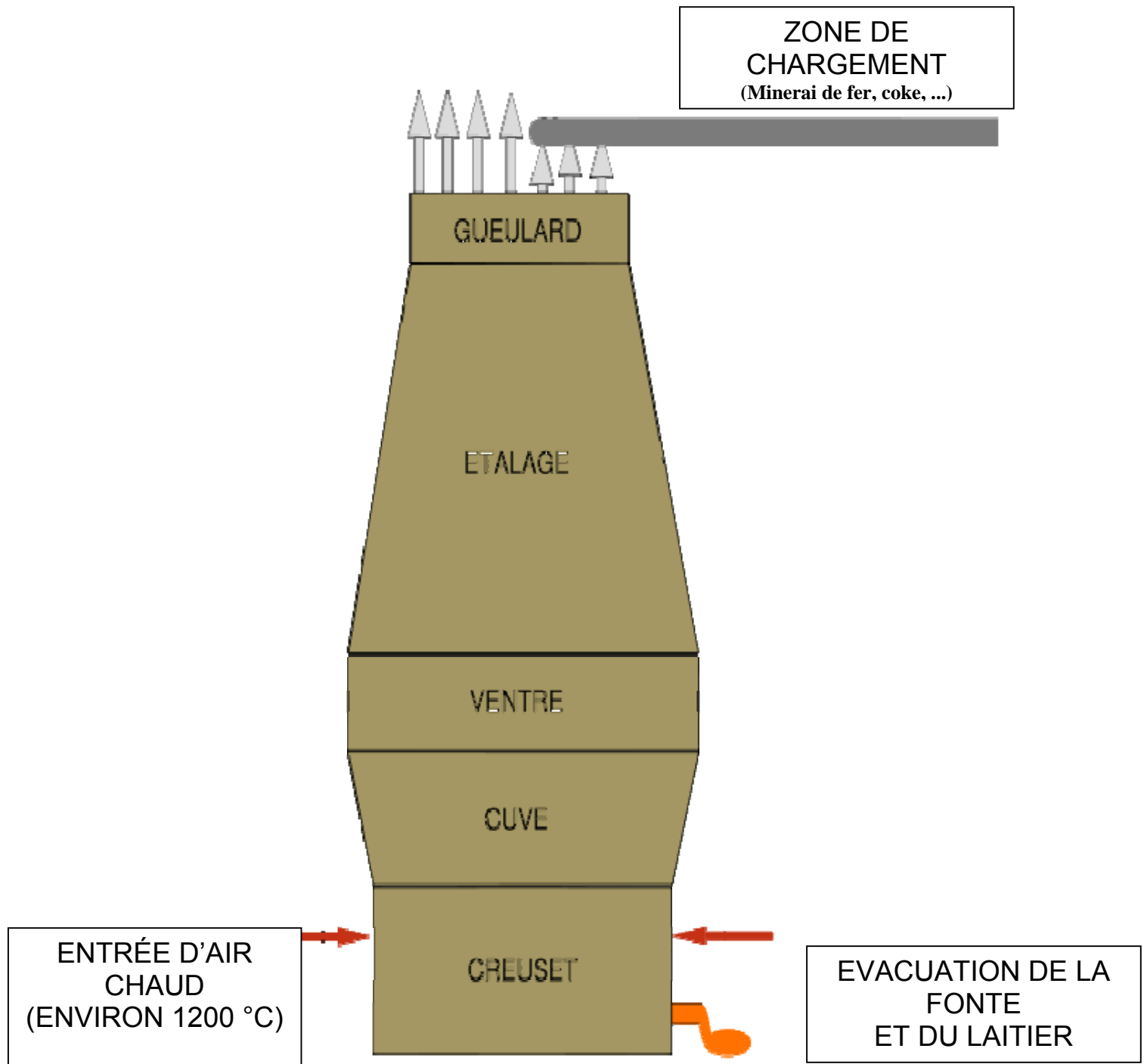


### B. ORIGINE, FORMATION ET ÉLABORATION DES LAITIERS DE HAUT FOURNEAU :

#### B.1. Origine :

Le fer provient du minerai de fer, composé d'une gangue (parties non métalliques) et d'oxydes de fer. Ce minerai, combiné à du coke comme combustible et à de la chaux comme fondant, alimente un haut fourneau, four vertical à la base duquel est soufflé de l'air chaud. Ce processus est continu. Le fer extrait du minerai par fusion s'accumule au fond du haut fourneau sous forme de fonte par gravité. Il est recouvert par une couche de résidus (gangue, et chaux) plus légère : le laitier.

Le laitier de haut-fourneau, est une roche liquide composée des parties non métalliques des minerais ainsi que d'un certain nombre de produits minéraux d'ajout. Après séparation d'avec la fonte, plus lourde, le laitier est conduit vers des fosses où il va refroidir à l'air et cristalliser sous forme de roche.





### ***B.2. Elaboration :***

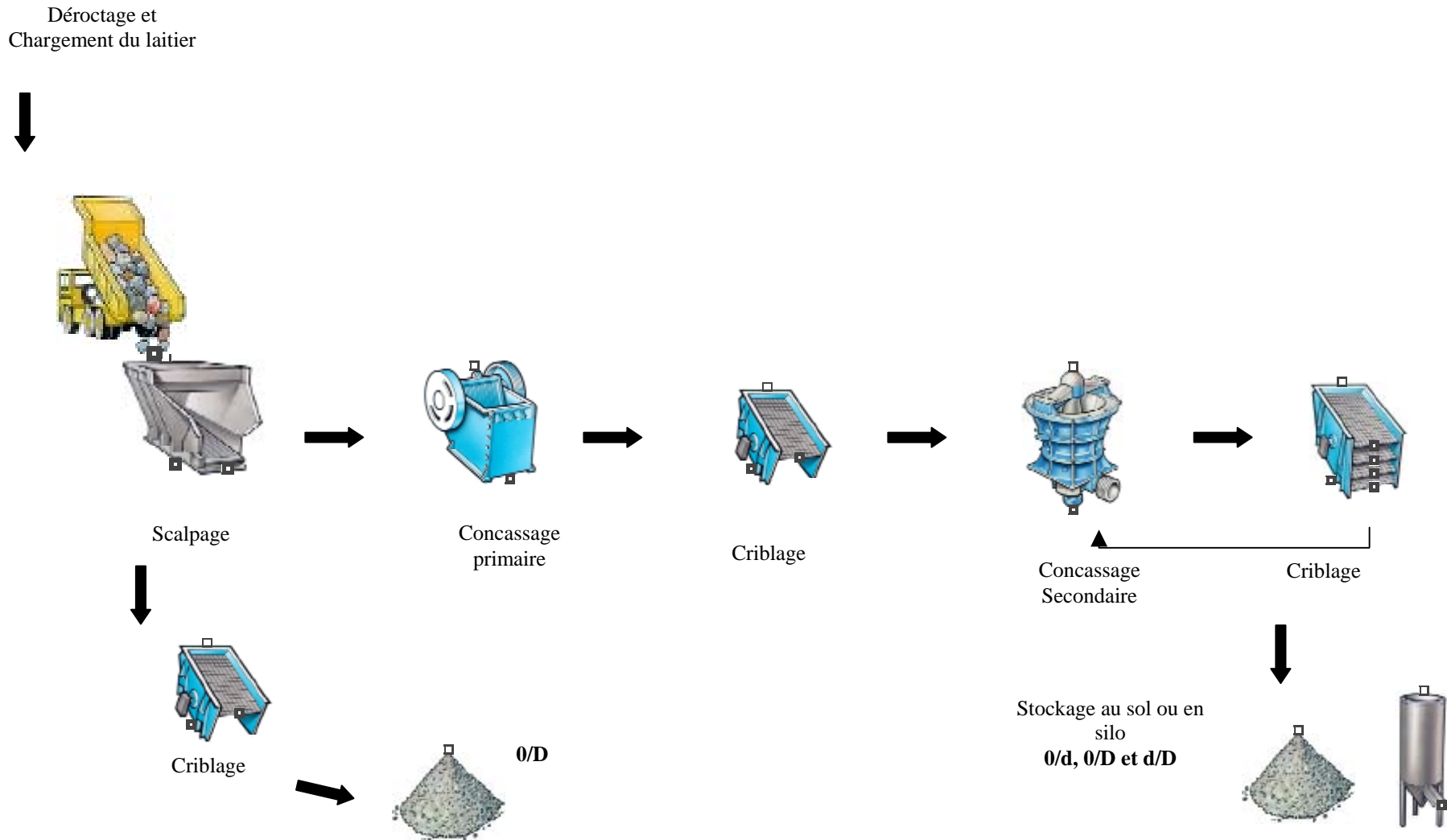
Après refroidissement en fosse, le laitier cristallisé brut est concassé et criblé pour produire des granulats au sens de la norme française XP P 18-545.

Les différents matériaux élaborés à partir des LHF cristallisés sont :

- ✓ Des granulats d/D en toutes granulométries,
- ✓ Des granulats 0/D, 0/d en toutes granulométries.



### Principe de traitement des laitiers de haut fourneau



### C. CARACTÉRISATION DES LAITIERS DE HF :

Les granulats produits à partir des laitiers cristallisés HF sont caractérisés par les normes :

- NF EN 13242 : Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées.
- NF EN 13043 : Granulats pour mélanges bitumineux et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation.
- XP P 18 545 articles 7, 8, 9 et 10 :  
Granulats – Eléments de définition, conformité et codification.
- P 18-302 : Laitier cristallisé de haut-fourneau
- NF EN 13139 : Granulats pour mortiers
- NF EN 12620 : Granulats pour bétons hydrauliques.

#### C.1. caractéristiques chimiques

##### a) Caractéristiques chimiques

Les laitiers HF contiennent essentiellement quatre éléments dont l'expression conventionnelle en oxydes représente 95 à 97 % des constituants du laitier : chaux (CaO), silice (SiO<sub>2</sub>), alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnésie (MgO). Les autres constituants sont des oxydes secondaires tels que FeO et MnO ainsi que des composés sulfurés. Ils ne contiennent ni argile et matière organique.

Éléments	matière sèche (%)
Chaux (CaO)	38 à 48
Silice (SiO <sub>2</sub> )	29 à 41
Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9 à 18
Magnésie (MgO)	1 à 9
Manganèse (MnO)	0.4 à 0.7
Fer (FeO)	0.2 à 4
TiO <sub>2</sub>	0.4 à 0.9
Na <sub>2</sub> O	0.2 à 0.5
K <sub>2</sub> O	0.3 à 0.9
Soufre (S)	0.6 à 1.5



### b) Classification

Les laitiers HF de Dillingen sont classés d'après la norme P 18-302 de type H,  $C_2S\beta = 0$

D'un point de vue minéralogique, les constituants des laitiers de haut fourneau sont essentiellement des silicates ou des silico-aluminates de chaux. Il s'agit d'une forme minéralogique stable. Dans ces LHF cristallisés, on trouve également des oxydes et des sulfures.

Tout risque d'instabilité volumique est écarté pour le laitier cristallisé car il ne contient ni magnésie libre (MgO), ni chaux libre (CaO).

### C.2. Caractéristiques géotechniques

#### a) Caractéristiques géotechniques

Le laitier de haut-fourneau de fraîche production est nommé hématite du fait de l'utilisation de minerais de fer importés de type hématite.

Les propriétés des granulats sont reprises dans le tableau suivant :

Essais	Normes	Pont-à-Mousson Fraîche production	Dillingen fraîche production
<b>Caractéristiques intrinsèques</b>			
PSV	NF EN 1097-8	NA	50 à 52
LA	NF EN 1097-2	19 à 30	34 à 49
MDE	NF EN 1097-1	9 à 13	21 à 33
MVR	NF EN 1097-6	2.55 à 2.73	2.4 à 2.7
<b>Caractéristiques de production</b>			
Granularité	NF EN 933-1	0/31.5	0/31.5
Forme des gravillons	NF EN 933-3	-	2 à 7
Gel	NF EN 1367-1	< 1	< 2
MB	NF EN 933-9	< 2	< 2
Désintégration du silicate bicalcique	NF EN 1744-1 Article 19.1	90 %	100%
Désintégration du fer	NF EN 1744-1 Article 19.2	100 %	100 %

### b) Classification

Les laitiers HF de Dillingen sont classés d'après les normes NF EN 13242 et XP P 18-545 article 7 (Granulats pour chaussées : couches de fondation, de base et de liaison) :

**GA 85, f<sub>7</sub>, LA<sub>50</sub>, MDE<sub>35</sub>, FI<sub>20</sub>, F<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>**

Les laitiers HF de Pont à Mousson sont classés d'après les normes NF EN 13242, 13043 et XP P 18-545 article 7 (Granulats pour chaussées : couches de fondation, de base et de liaison) :

**Gc 85/20, f4, LA<sub>35</sub>, MDE<sub>20</sub>, FI<sub>20</sub>, F<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>**

### **C.3. Caractéristiques environnementales**

Les co-produits sidérurgiques que sont les laitiers ne font pas à ce jour l'objet de réglementation nationale en matière de protection de l'environnement. Et ce, sans doute, parce que l'expérience que l'on a de leur valorisation en technique routière depuis des décennies n'a jamais montré d'impact négatif sur l'environnement.

Actuellement, en l'absence de textes réglementaires relatifs à la caractérisation environnementale des sous-produits industriels et pour **les laitiers de haut fourneau cristallisés de Dillingen**, l'innocuité environnementale est jugée en faisant référence aux seuils de la circulaire du 9 mai 1994 (DPPR/SEI/BPSIED N° 94-IV-1) relative aux Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères (MIOM de catégorie V). Ces laitiers sont donc soumis à un essai de lixiviation selon la norme NF X 31-210. Les critères retenus afin de juger de cette innocuité sont les suivants : les teneurs en mercure, plomb, cadmium, arsenic, chrome VI, sulfates, et COT, ainsi que la fraction soluble et le taux d'imbrûlés

### **C.4. Maîtrise de la qualité**

#### **a) Contrôle chimique**

Une analyse chimique est réalisée pour chaque coulée au haut-fourneau. Le contrôle de la conformité de la coulée se fait au regard de l'indice de classement de la norme P 18-302.

#### **b) Les contrôles du système de maîtrise de la production ( marquage CE 2+) selon la norme NF EN 13242 effectués sur les granulats et autres contrôles effectués sur les mélanges**

### - Essais et fréquences d'essais réalisés sur les matériaux produits par Dillingen:

Essais	Laboratoire de contrôle (i)	Norme	Granulats (LC 0/32mm)	Grave (ROMAC)	Grave Laitier (LAROGRIVE)
<i>Echantillonnage</i> **)	1		1 / sem.	1 / sem.	1 / sem.
<b>caractéristiques géométriques, mécaniques et physiques des granulats</b>					
<i>Granularité, Teneur en fines</i>	1	NF EN 933-1	1 / sem.	1 / sem.	1 / sem.
<i>Coefficient d'aplatissement</i>	1	NF EN 933-3	1 / mois	1 / mois	1 / mois
<i>Valeur au Bleu (qualification des fines) (MB)</i>	1	NF EN 933-9 (MB)	1 / sem.	1 / sem.	
<i>Micro Deval (MDE) *</i>	1	NF EN 1097-1	6 / an	6 / an	
<i>Los angeles (LA) *</i>	1	NF EN 1097-2	6 / an	6 / an	
<i>Teneur en eau</i>	1	NF EN 1097-5	1 / sem.	1 / sem.	1 / sem.
<i>Masse Vol. réelle ; Coeff. d'abs. d'eau</i>	2	NF EN 1097-6	1 / an	1 / an	1 / an
<i>Réactivité</i>	2	P 18-302			
<b>Essais pour déterminer les propriétés thermiques et d'altérabilité des granulats</b>					
<i>Gel</i>	2	NF EN 1367-1	1 / 2 ans	1 / 2 ans	1 / 2 ans
<b>Propriétés chimiques des granulats</b>					
<i>Soufre total</i>	1	NF EN 1744-1 (11)	1 / an	1 / an	1 / an
<i>Désintégration du Silicate bicalcique</i>	1	NF EN 1744-1 (19.1)	2 / an	2 / an	2 / an
<i>Désintégration du fer</i>	1	NF EN 1744-1 (19.2)	2 / an	2 / an	2 / an
<i>Lixiviation /Taux d'imbrulés /Fraction soluble /pH/ Conduc.élec./Hg/Pb/Cd/As/Cr<sup>6-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/COT</i>	1	NF EN 12457-2	4 / an	4 / an	
<b>Autres Essais</b>					
<i>OPM</i>	2	NF P 98-231-1	1 / an	1 / an	1 / an
<i>Rtd</i>	2	NF EN 13-286-40			1 / an

\*) Essais effectués sur échantillon global, constitué par le mélange de 10 prélèvements élémentaires.

Détermination sur la fraction 10 - 14 mm

\*\*\*) au minimum par tranche de 5 jours de production. (i) Laboratoire de contrôle: 1= Dillingen ; 2 = Sous-traitant

### - Essais et fréquence d'essais réalisés sur les matériaux finis pour Pont à Mousson

Essais , Caractéristiques du Marquage CE 2 +	Laboratoire de contrôle (i)	Norme	Sable 0/6.3cc	Gravillon 6.3/20cc	Gravillon 6.3/14cc	Graves
<b>caractéristiques géométriques, mécaniques et physiques des granulats</b>						
<i>Granularité, teneur en fines</i>	1	NF EN 933-1	1 / sem.	1 / sem.	1 / sem.	1 / sem.
<i>Coefficient d'aplatissement</i>	1	NF EN 933-3		1 / mois	1 / mois	
<i>Valeur au Bleu (qualification des fines) (MB)</i>	1	NF EN 933-9 (MB)	1 / sem.			1/ mois
	1	NF EN 933-9 (MBF)		1 / sem.	1 / sem.	
<i>Micro Deval (MDE)</i>	1	NF EN 1097-1			2 / an	
<i>Los angeles (LA)</i>	1	NF EN 1097-2			2 / an	
<i>Teneur en eau</i>	1	NF EN 1097-5	1 / sem.	1 / sem.	1 / sem.	1 / sem.
<i>Masse Vol. réelle ; Coeff. d'abs. d'eau</i>	1	NFEN 1097-6 (an;A)		1 / 2 ans	1 / 2 ans	
	1	NFEN1097-6(art8+9)	1 / an	1 / an	1 / an	
<b>Essais pour déterminer les propriétés thermiques et d'altérabilité des granulats</b>						
<i>Gel</i>	1	NF EN 1367-1			1 / 2 ans	
<b>Propriétés chimiques des granulats</b>						
<i>Soufre total</i>	1	NF EN 1744-1 (11)	1 / 2 ans			
<i>Désintégration du Silicate bicalcique</i>	3	NF EN 1744-1 (19.1)				2 / an
<i>Désintégration du fer</i>	3	NF EN 1744-1 (19.2)				2 / an

\*) sur fraction 8/16 criblée en laboratoire

(i) Laboratoire de contrôle: 1= Pont à Mousson ; 3 = laboratoire SCREG EST Nancy

### D. DOMAINES D'EMPLOI ET RÉFÉRENCES DE CHANTIER :

Les granulats produits à partir des laitiers cristallisés HF et les mélanges élaborés avec ces granulats sont caractérisés par les normes :

#### ➤ Pour les laitiers de Dillingen :

Pour les Granulats (dénomination de produit « LC 32 ») :

NF EN 13242 : Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées.

Classification selon NF EN 13242 :

**GA 85, f<sub>7</sub>, LA<sub>50</sub>, MDE<sub>35</sub>, FI<sub>20</sub>, F<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>**

Pour la GNT (dénomination de produit « ROMAC ») :

NF EN 13285 : Graves non traitées – Spécifications.

Classification selon NF EN 13285 :

**GB, LF<sub>4</sub>, UF<sub>9</sub>, LA<sub>40</sub>, MDE<sub>25</sub>, FI<sub>20</sub>, F<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>**

Pour la GTLH (tout laitier) (dénomination de produit « LAROGRAVE ») :

NF EN 14227-2 : Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 2 : Mélanges traités au laitier.

Classification selon NF EN 14227-2 :

**A2, LA<sub>50</sub>, MDE<sub>35</sub>, FI<sub>20</sub>, F<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>**

#### ➤ Pour les laitiers de Pont à Mousson :

NF EN 13242 : Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées.

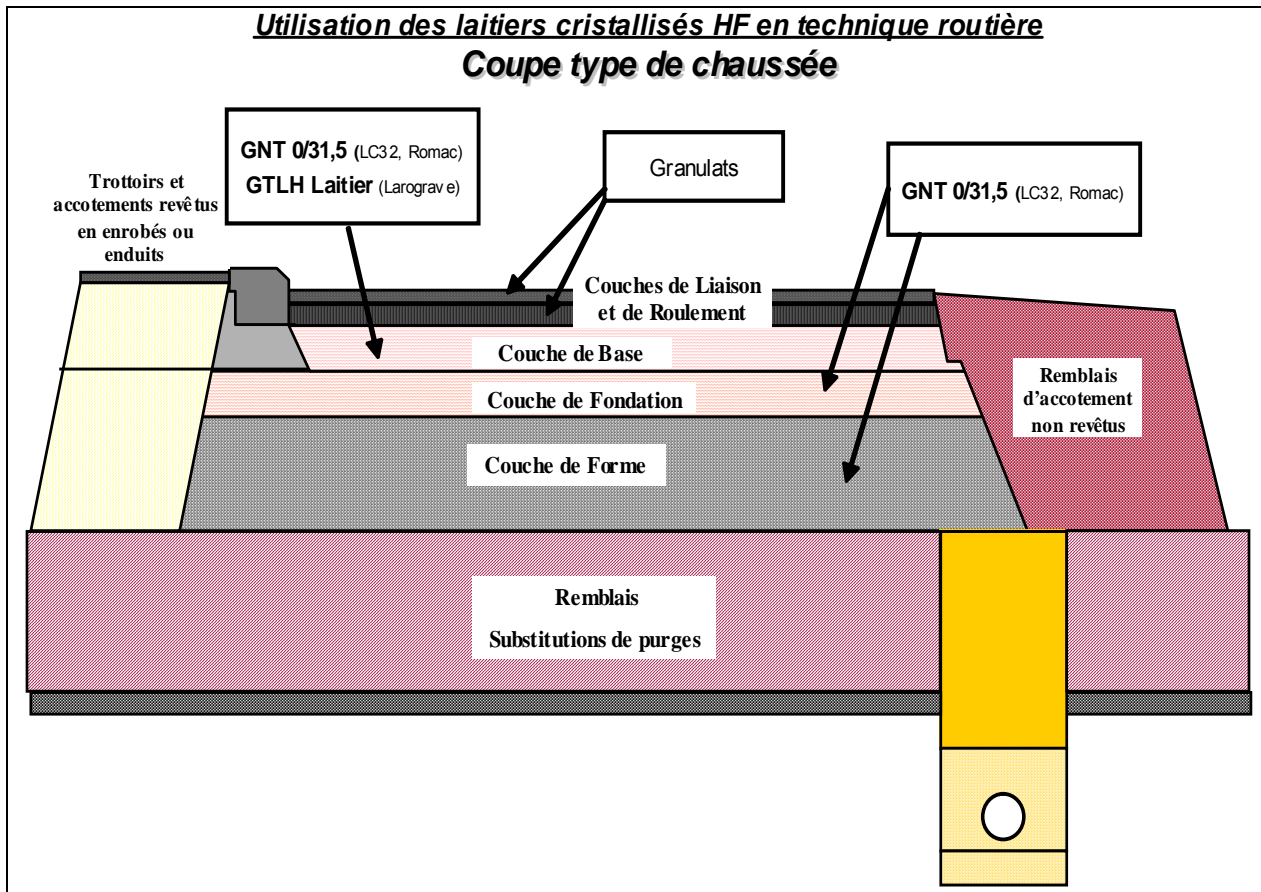
NF EN 13043 : Granulats pour mélanges hydrocarbonés

XP P 18545 : Granulats – Eléments de définition, conformité et codification.

NF P 11300 : Matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

### D.1. Domaine d'emploi :

La figure ci-dessous présente les domaines d'emploi possible des laitiers cristallisés HF en technique routière:



### D.2. Référence – exemple de chantier en remblai et couche de forme

Ci-dessous des exemples d'utilisation, certains étant des références CFTR avec dossier (étude, contrôle, suivi) constitué et conservé.

Produits , Classification	Usages		Trafic	Contrôle chantier
<b>LAITIERS DE DILLIGEN</b>				
GNT 0/31.5 (Avec LC 32)	Couche de forme	<b>1999 :</b> Contournement de Bitche D 620 12 000 t	T0	LRPC Nancy
		<b>1997 :</b> Voie euro express D35A Frontière – Bitche 28 000 t	T1	LRPC Nancy
GNT 0/31.5 (Avec ROMAC )	Couche de forme	<b>2001 – 2003 :</b> Plate forme Europôle Sarreguemines (57) 238 000 T	T2	LRPC Nancy
<b>LAITIERS DE PONT A MOUSSON</b>				
GNT 0/60 ou 0/31.5	Couche de fondation et base	<b>2000</b> Salle socio culturelle Pont a Mousson (54) 10000 T	T 5	Conseil général  LRPC Nancy  Apave  Véritas
		<b>2001</b> Déviation de Maidieres (54) 18000 t		
		<b>2002</b> Bertelsmann Atton (54) 10000 t	T 3	
		<b>2003</b> Aéroport Louvigny (54) Plate forme DHL 17000 t	T 3	
		<b>2006</b> Gare tgv Louvigny (54) 8000 T	T 3	
<b>2006</b> Centre de Tri de Pagny les goins (57) 8000 T	T 2			

### D.3. Référence – exemple de chantier en assises de chaussées

Ci-dessous des exemples d'utilisation, certains étant des références CFTR avec dossier (étude, contrôle, suivi) constitué et conservé.

Produits , Classification	Usages	Trafic	Contrôle chantier
<b>LAITIERS DE DILLIGEN</b>			
GTLH (tout Laitier) (« LAROGRAVE »)	Couche de base	2005 – 2006 : RD divers Gréming Guébenhouse, ect 17 000 T	T3 LABOROUTE
		2004 : RD 36 Petit Réderching-Enchenberg (renforcement) 22 000 T	T2 LRPC Nancy
		1999 : D 620 , Contournement de Bitche 26 000 T	T0 LRPC Nancy
		1998 : RN3, Contournement de ST Avoild – de St Avoild à Folschviller 38 000 T	T0 LRPC Nancy
		1996 – 1997 : Voie Euro Express RD 35 A Frontière – Bitche 33 000T	T1 LRPC Nancy
		1992 – 1993 : Voie rapide (4 voies) Forbach-Sarreguemines 108 000 T	T0 LRPC Nancy
<b>LAITIERS DE PONT A MOUSSON</b>			
GTLH 0/20	Couche de base	2004 Déviation de Faulquemeont 110000 T	T 0 LRPC Nancy
		2005 Rd 999 Ars Laquenexy (57) 23000 T	T1 LRPC Nancy
GNT B 0/20	Couche fondation	2005 Taxiway aéroport de Louvigny	T 3 Groupe J



### D.4. Référence – exemple de chantier en enrobés et bétons bitumineux :

Ci-dessous des exemples d'utilisation, certains étant des références CFTR avec dossier (étude, contrôle, suivi) constitué et conservé.

Produits , Classification	Usages		Trafic	Contrôle chantier
LAI TIERS DE PONT A MOUSSON				
Granulats (toutes granulométries), XP P 18 545 articles 7 et 8	Graves bitumes 0/14	<u>2001</u> Voie accès carrière Socoman 1000 t	T2	Laboratoire Screg
		<u>2003</u> RD 1 Thiaucourt (54) 1500 t	T 3	





### E. LES AVANTAGES, PARTICULARITÉS ET DÉROGATIONS LOCALES

- ✓ Insensibles à l'eau, les LHF peuvent être mis en œuvre par tout temps.
- ✓ Il est recommandé de ne pas employer le laitier HF en zones inondables ou dans le périmètre de captage d'eau potable.
- ✓ Pour une utilisation en béton bitumineux, la structure alvéolaire des LHF implique un apport en liant légèrement supérieur relativement aux granulats traditionnels.

Cette même structure alvéolaire a l'avantage, au fur et à mesure de l'usure de l'ouvrage, de découvrir de nouvelles arrêtes, assurant une bonne adhérence à long terme pour les LHF présentant les caractéristiques requises pour une utilisation en enrobés.

- ✓ Ces laitiers possèdent un très bon angle de frottement les rendant particulièrement efficaces dans les couches de roulement (orniérage).
- ✓ L'élaboration de granulats de laitier génère des fines qui adhèrent aux gravillons de structure alvéolaire. Ces fines possèdent les mêmes caractéristiques que les gravillons et ne sont nullement comparables à des argiles. Ces fines ne sont donc pas nocives et peuvent au contraire limiter l'apport en filler nécessaire dans les formulations de béton bitumineux.

Par dérogation :

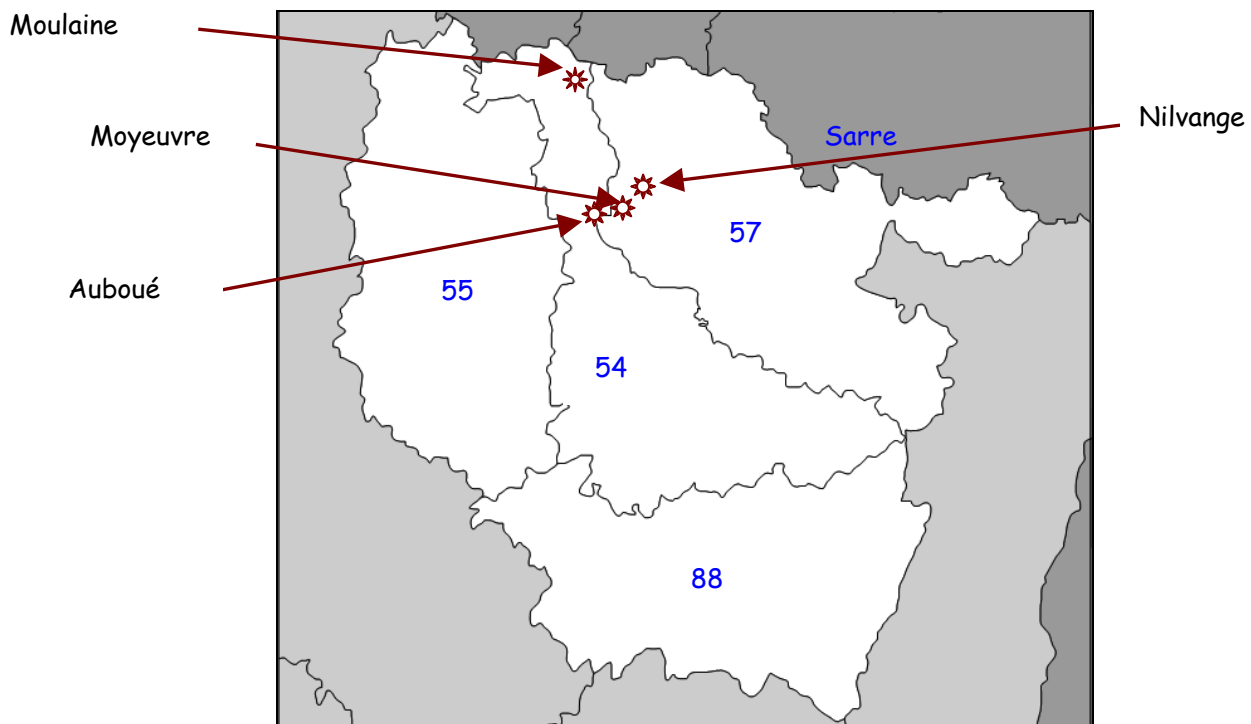
- Utilisations des laitiers GTLH (LAROGRIVE) de granularité 0/32 en couche de base pour des trafics élevés (T1, T0), sous contrôle permanent du LRPC de Nancy depuis le 1er mars 1994.
- ✓ Compte tenu de leur caractère frottant, lors de la mise en œuvre de matériaux à base de LHF traités ou non traités aux liants hydrauliques, il est important d'utiliser un atelier de compactage adapté afin d'éviter la création de fines superficielles, tout en assurant la densification requise.



## III. CHAPITRE 2 : LES LAITIERS DE HAUT FOURNEAU ISSUS DE CRASSIERS

### A. LES GISEMENTS DE LAITIERS DE HAUT FOURNEAU

- Nilvange (57) : un crassier d'une production de 700 000 T/an
- Moyeuvre (57) : un crassier d'une production de 1 500 000 T/an
- Moulaine (54) : un crassier d'une production de 250 000 T/an
- Auboué (54) : un crassier d'une production de 100 000 T/an



### **B. ORIGINE, FORMATION ET ÉLABORATION DES LAITIERS DE HAUT FOURNEAU**

#### ***B.1. Origine***

Le haut fourneau moderne vit le jour à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle lorsque la puissance de la soufflerie atteint 1000 °C. Simultanément, les sidérurgistes se préoccupèrent d'enlever du site de production de laitier de haut fourneau dont les quantités produites ne cessaient de s'accroître, posant un réel problème d'évacuation. Ils optèrent pour une solution qui consistait à couler le laitier dans des poches et 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.

#### ***B.2. Elaboration***

On obtient ainsi du laitier cristallisé brut, qui peut alors être concassé et criblé pour produire des granulats au sens de la norme française XP P 18-545.

Différents matériaux sont élaborés à partir des LHF cristallisés (crassiers et fraîches productions donnent différentes classes granulaires) :

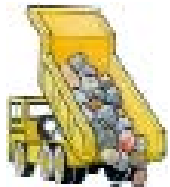
- ✓ le laitier tout-venant 0/D: les granulométries sont de l'ordre de 0/300 mm ;

Il s'agit plutôt d'un matériau de remblais ou de couche de forme.

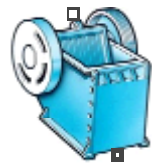
- ✓ Le laitier concassé 0/D, 0/d et d/D en toutes granulométries .

### Principe de traitement des laitiers de haut fourneau

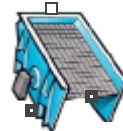
Déroctage et  
Chargement du laitier



Scalpage



Concassage  
primaire



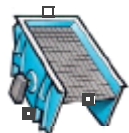
Criblage



Concassage  
Secondaire



Criblage



Criblage



0/D

Stockage au sol ou en  
silo  
0/d ,0/D et d/D



### C. CARACTÉRISATION DES LAITIERS DE HF

Les granulats produits à partir des laitiers cristallisés HF sont caractérisés par les normes :

NF EN 13242 : Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées.

NF EN 13043 : Granulats pour mélanges bitumineux et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aéroports et d'autres zones de circulation.

NF EN 13139 : Granulats pour mortiers

NF EN 12620 : Granulats pour bétons hydrauliques.

XP P 18 545 articles 7, 8, 9 et 10 : Granulats –  
Éléments de définition, conformité et codification.

#### C.1. 3.1 caractéristiques chimiques

Les laitiers HF contiennent essentiellement quatre éléments dont l'expression conventionnelle en oxydes représente 95 à 97 % des constituants du laitier : chaux (CaO), silice (SiO<sub>2</sub>), alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnésie (MgO). Les autres constituants sont des oxydes secondaires tels que FeO et MnO ainsi que des composés sulfurés. Ils ne contiennent ni argile et matière organique.

Éléments	matière sèche (%)
Chaux (CaO)	38 à 48
Silice (SiO <sub>2</sub> )	29 à 41
Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9 à 18
Magnésie (MgO)	1 à 9
Manganèse (MnO)	0.4 à 0.7
Fer (FeO)	0.2 à 4
TiO <sub>2</sub>	0.4 à 0.9
Na <sub>2</sub> O	0.2 à 0.5
K <sub>2</sub> O	0.3 à 0.9
Soufre (S)	0.6 à 1.5

D'un point de vue minéralogique, les constituants des laitiers de haut-fourneau sont essentiellement des silicates ou des silico-aluminates de chaux. Il s'agit d'une forme minéralogique stable. Dans ces LHF cristallisés, on trouve également des oxydes et des sulfures.

Tout risque d'instabilité volumique est écarté pour le laitier cristallisé car il ne contient ni magnésie libre (MgO), ni chaux libre (CaO).

### C.2. Caractéristiques géotechniques

Les producteurs de granulats de LHF sont tenus de fournir à leurs clients une FTP résumant les exigences de la norme et les caractéristiques mesurées du produit définies dans les normes XP P 18-545 et NF EN 13043. Les contrôles du système de maîtrise de la production (marquage CE 2+) sont réalisés selon le référentiel de la norme NF EN 13242 sur les produits finis.

Les propriétés des granulats sont reprises dans le tableau suivant :

Essais	Normes	Moyeuivre	Nilvange	Moulaine	Auboué
<b>Caractéristiques intrinsèques</b>					
PSV	NF EN 1097-8	50 à 56	49 à 54	50 à 52	-
LA	NF EN 1097-2	18 à 23	15 à 22	16 à 22	25
MDE	NF EN 1097-1	11 à 15	8 à 13	10 à 12	17
MVR	NF EN 1097-4	2.81 à 2.92	2.82 à 2,98	2.84 à 2.94	2.81 à 2.92
<b>Caractéristiques de production</b>					
Gel	NF EN 1367-1	< 2	< 2	< 2	18
MB	NF EN 933-9	< 2	< 2	< 2	< 2
MBf	NF EN 933-9	< 10	< 10	< 10	< 10
Désintégration du silicate bicalcique	NF EN 1744-1 Article 19.1	96 à 100 %	90 à 100 %	96 à 100 %	93 %
Désintégration du fer	NF EN 1744-1 Article 19.2	100 %	100 %	100 %	100 %

### C.3. Caractéristiques environnementales

Les co-produits sidérurgiques que sont les laitiers ne font pas à ce jour l'objet de réglementation nationale en matière de protection de l'environnement. Et ce, sans doute, parce que l'expérience que l'on a de leur valorisation en technique routière depuis des décennies n'a jamais montré d'impact négatif sur l'environnement.

Les différents essais réalisés jusqu'à maintenant ont permis de classer les laitiers HF comme non dangereux pour la faune, la flore et pour l'environnement.

## **D. DOMAINES D'EMPLOI ET RÉFÉRENCES DE CHANTIER**

Les granulats produits à partir des laitiers cristallisés HF et les mélanges élaborés avec ces granulats sont caractérisés par les normes :

NF EN 13043 : Granulats pour mélanges bitumineux et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation.

XP P 18 545 articles 7, 8, 9 et 10 :  
Granulats – Eléments de définition, conformité et codification.

NF EN 13242 : Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées.

NF EN 13285 : Graves non traitées – Spécifications.

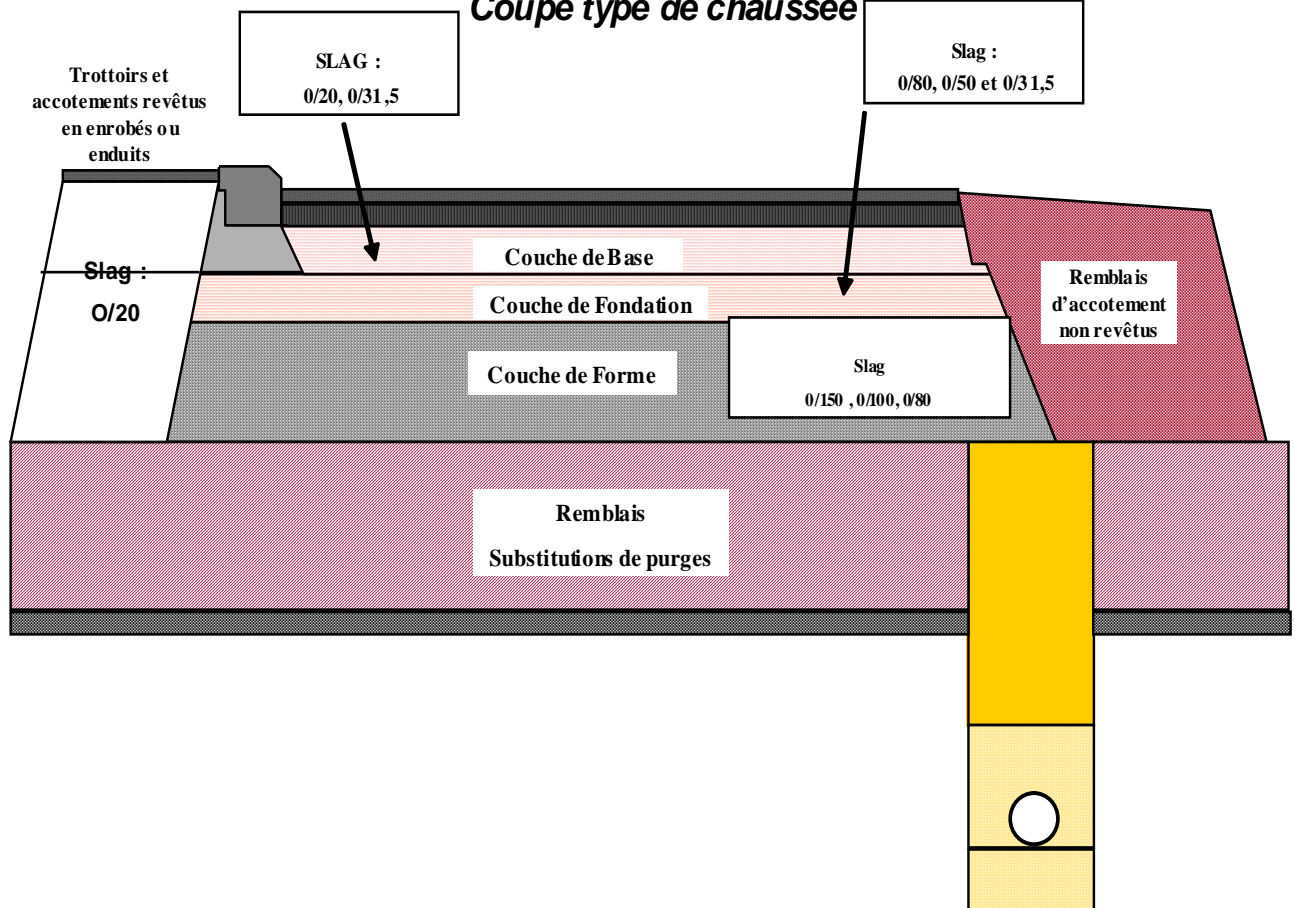
NF EN 14227-2 : Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 2 : Mélanges traités au laitier

### **a) Domaine d'emploi**

Les figures ci-dessous présentent les domaines d'emploi possible des laitiers cristallisés HF en technique routière:

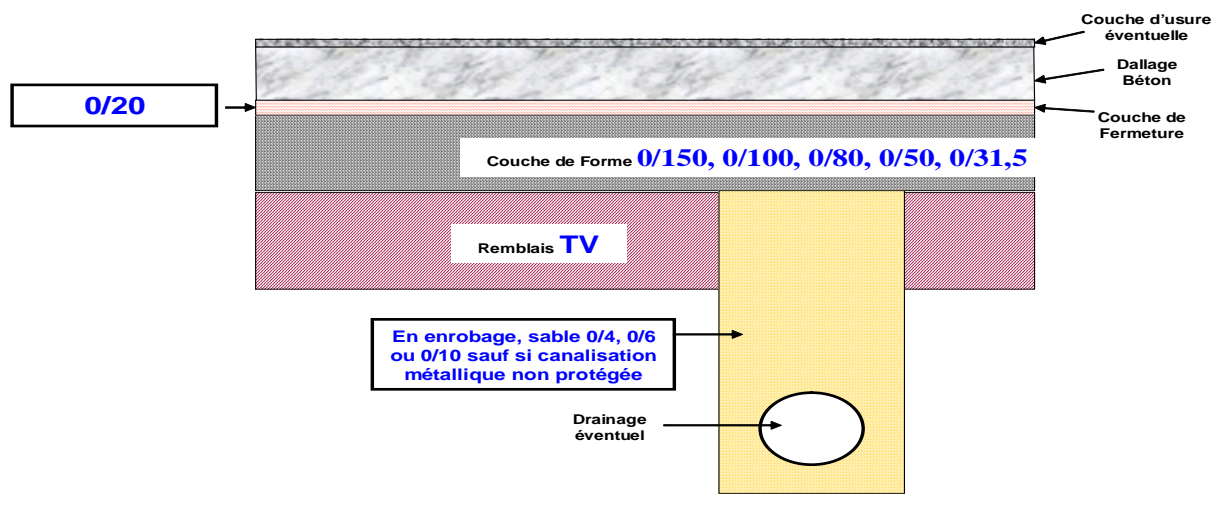
**Utilisation des laitiers cristallisés HF en technique  
routière**

**Coupe type de chaussée**





COUPE TYPE SOUS BATIMENT



**D.2. Référence – exemple de chantier en remblai et couche de forme**

Ci-dessous des exemples d'utilisation, certains étant des références CFTR avec dossier (étude, contrôle, suivi) constitué et conservé.

Produits	Classification	Usages	Références
0 / 150	Selon NF P 11 300 D31 (origine Moyeuivre)	Remblais	<b>2002 – 2005 :</b> Pont à Mousson – Tragny (lot 34 A) 770 000 T <b>2001 – 2003 :</b> VR 52 Fameck – Vitry sur Orne (57) 174 000 T
0/ 31.5	Selon XP P 18 545 Code b (origine Moyeuivre)	Couche de forme	<b>2002 – 2005 :</b> Tragny – Baudrecourt (lot 34 B) Jaulny – Vandières (lot 33) 100 000 T

### D.3. Référence – exemple de chantier en assises de chaussées

Ci-dessous des exemples d'utilisation, certains étant des références CFTR avec dossier (étude, contrôle, suivi) constitué et conservé.

Produits	Classification	Usages	Références
<b>Grave laitier tout laitier</b>	T3 (origine Moyeuve)	Couche de base	2001 – 2003 : VR 52 Fameck – Vitry sur Orne (57) 96 000 T 2003 – 2004 : Rocade Sud de Metz (57) 205 000 T

### D.4. Référence – exemple de chantier en enrobés et bétons bitumineux

Ci-dessous des exemples d'utilisation, certains étant des références CFTR avec dossier (étude, contrôle, suivi) constitué et conservé.

Produits	Classification	Usages	Références
<b>Granulats (toutes granulométries)</b>	Selon XP P 18 545 articles 7 et 8 Code B III pour les gravillons et code a pour les sables	Granulats pour enrobés bitumineux	<b>2007 :</b> Base aérienne 113 – St Dizier (51) 23 000 T <b>2006 :</b> Aéroport Metz – Nancy – Lorraine 36 000 T Louvigny (57) 37 000 T Entretien des RD de Moselle <b>2001 – 2003 :</b> VR 52 Fameck – Vitry sur Orne (57) 25 000 T <b>2003 – 2004 :</b> Rocade Sud de Metz (57) 68 000 T

### E. LES AVANTAGES, PARTICULARITÉS ET DÉROGATIONS LOCALES

- ✓ Insensibles à l'eau, les LHF peuvent être mis en œuvre par tout temps.
- ✓ Pour une utilisation en béton bitumineux, la structure alvéolaire des LHF implique un apport en liant légèrement supérieur relativement aux granulats traditionnels.

Cette même structure alvéolaire a l'avantage, au fur et à mesure de l'usure de l'ouvrage, de découvrir de nouvelles arrêtes, assurant une bonne adhérence à long terme pour les LHF présentant les caractéristiques requises pour une utilisation en enrobés.

- ✓ Ces laitiers possèdent un très bon angle de frottement les rendant particulièrement efficaces dans les couches de roulement (orniérage).
- ✓ L'élaboration de granulats de laitier génère des fines qui adhèrent aux gravillons de structure alvéolaire. Ces fines possèdent les mêmes caractéristiques que les gravillons et ne sont nullement comparables à des argiles. Ces fines ne sont donc pas nocives et peuvent au contraire limiter l'apport en filler nécessaire dans les formulations de béton bitumineux.

Par dérogation :

- pour un usage en béton bitumineux, la teneur en fines ( $< 63 \mu\text{m}$ ) des laitiers généralement admise est de 3 voire 4 % au lieu des 1 % définis dans les normes.
- pour un usage en enduit superficiel, la teneur en fines ( $< 63 \mu\text{m}$ ) des laitiers peut être de 1 % au lieu des 0.5 % définis dans les normes.
- ✓ Compte tenu de leur caractère frottant, lors de la mise en œuvre de matériaux à base de LHF traités ou non traités aux liants hydrauliques, il est important d'utiliser un atelier de compactage adapté afin d'éviter la création de fines superficielles, tout en assurant la densification requise.