

18^e
édition



JOURNÉE TECHNIQUE 2024

**Les matériaux alternatifs
dans les infrastructures
de demain**

AVEC LE SOUTIEN D'INFRA 2050

Pôle de compétitivité de la filière des Travaux Publics



Valorisation des laitiers d'aciérie électriques en enrobés bitumineux



Julien WALIGORA

*Responsable Technique Economie
Circulaire*



Jérôme DHERBECOURT

Directeur Technique Régional

Depuis 2005 : valorisation de 700 000 tonnes / an de laitiers LD



Implantation de SGA sur le site d'ArcelorMittal Dunkerque (59)

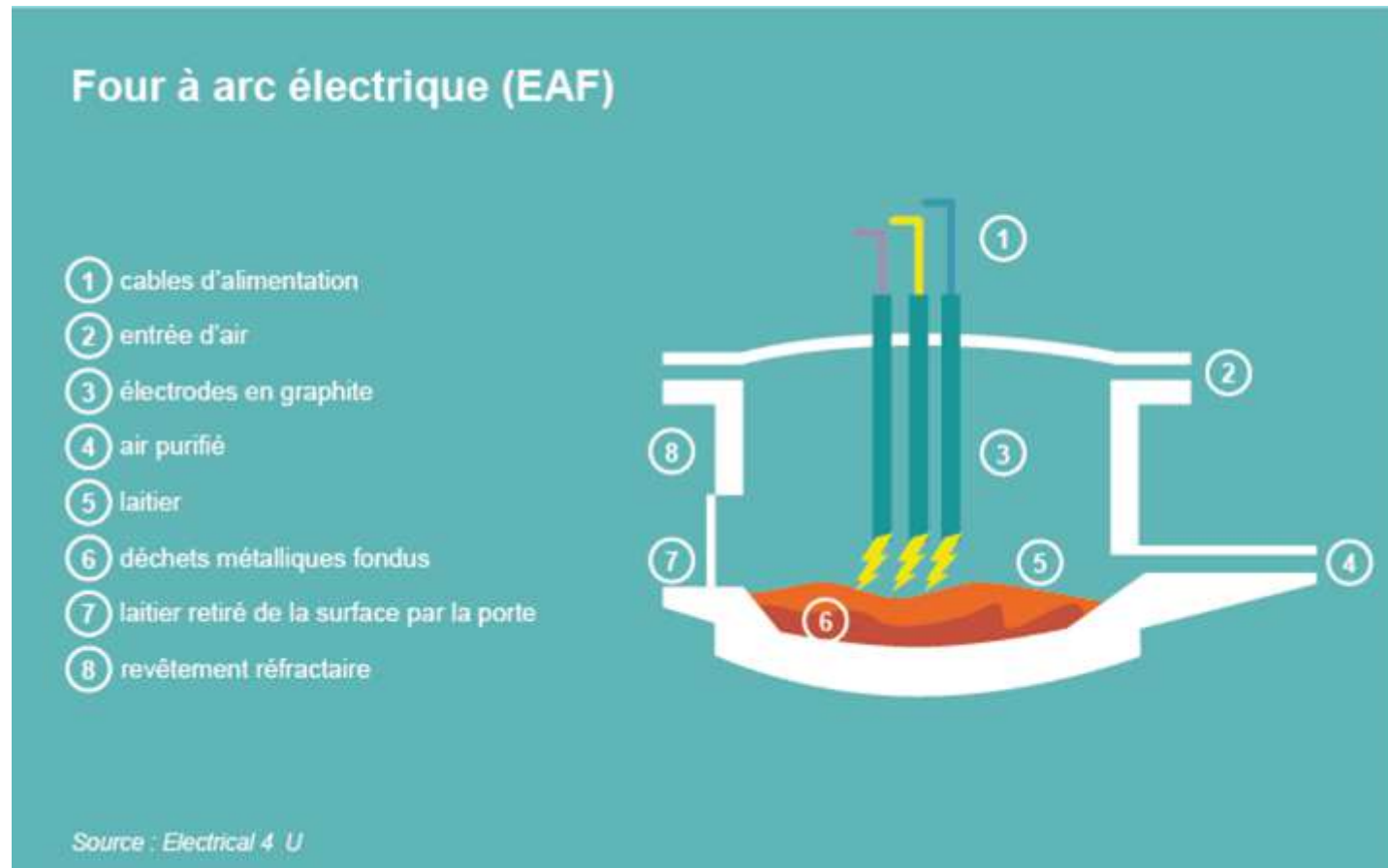
Partenariat scientifique avec



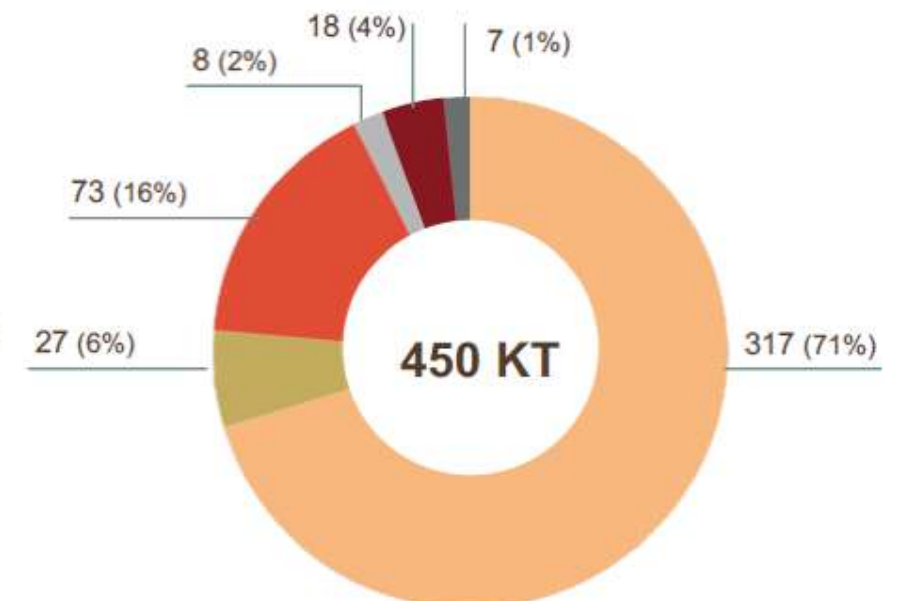
depuis plusieurs années

Les laitiers d'aciérie de fours électriques (LAFE) :

- Issus de la transformation de ferrailles en acier par arc électrique



Filières de gestion des laitiers d'aciérie électrique "carbone" ou faiblement alliés



Unité = kt

2023
Total des filières = 450 KT
provenant de
• la fraîche production = 412 KT
• déstockage = 38 KT
(Stocks est. = 886 KT)

Caractéristiques attendues des LAFE pour enrobés :

- Environnement : guide Sétra laitiers sidérurgiques – octobre 2012 :
- Usages type 1, 2 et 3 :

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

Caractéristiques attendues des LAFE pour enrobés :

- Norme Granulats NF P 18-545 art. 7 et 8 et NF EN 13043 :
- LA, MDE et PSV :

Tableau 22 — Codes des catégories NF EN pour LA, M_{DE} et PSV et pour la compensation LA+M_{DE} des gravillons et de la fraction gravillons des graves pour couche de roulement

Code	LA (1) (2)	M _{DE} (1) (2)	Compensation LA + M _{DE} (1)	PSV (1)
	V _{ss}			V _{si}
A	25	20	35	56
B	25	20	35	50
C	30	25	45	50

- Chaux libre et gonflement (steam test) :

8.9.1 Stabilité volumique des granulats issus de laitiers d'aciéries

- Pour enrobés : V_{ss} = 3,5 % ;
- Pour enduits superficiels : V_{ss} = 6,5 %.

Caractéristiques obtenues :

- **Exemple** de caractéristiques intrinsèques sur granulats laitiers :



Paramètres	Résultats
MVRg – WA ₂₄	3,40 t/m ³ – 2,8 %
LA	21
MDE	11
Environnement	Type 3 (tous usages)
Analyses chimiques	OK
Teneur en chaux libre	1 à 2 %
Gonflement (steam test)	OK

- Plusieurs gisements testés chez

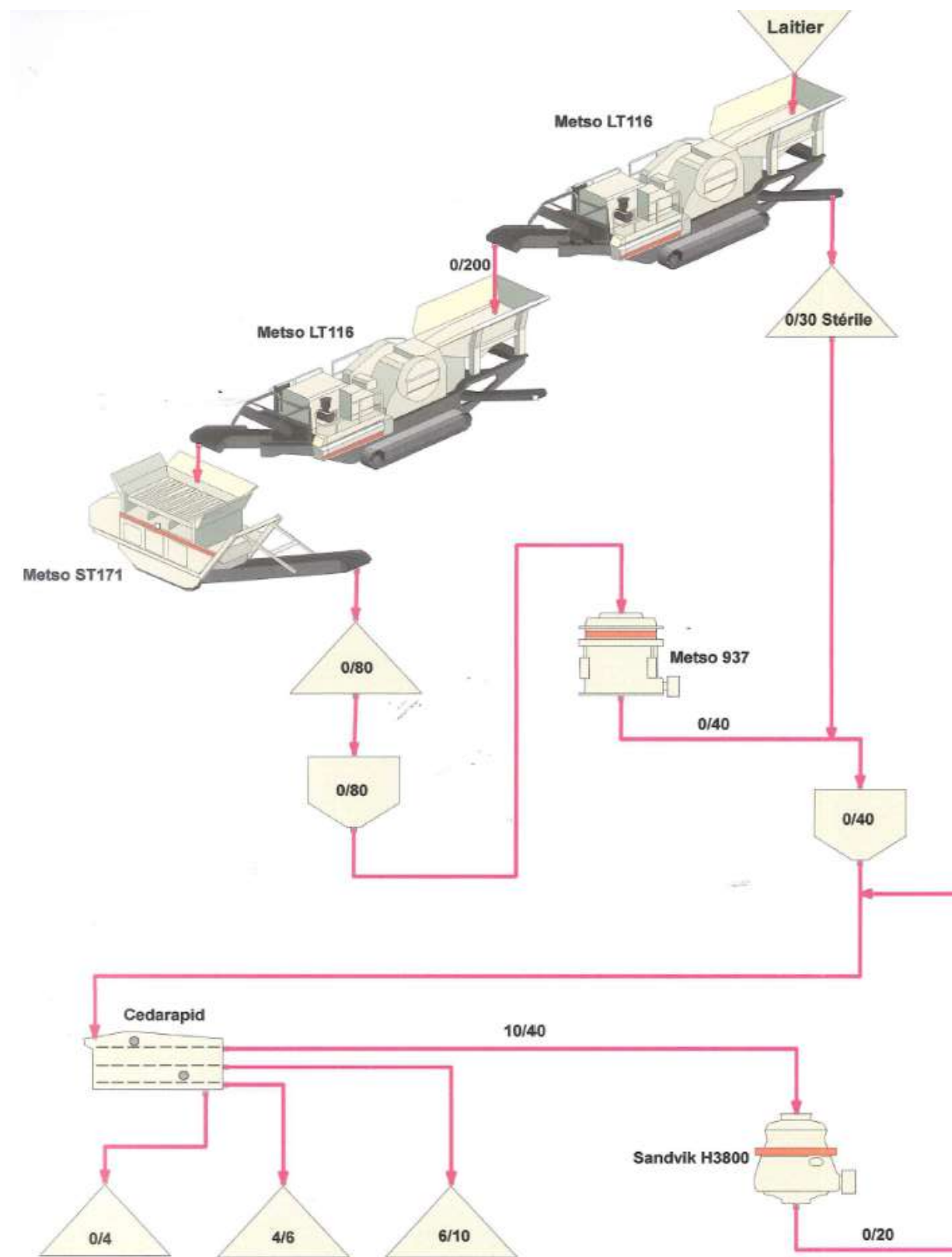


Laitiers à l'état brut



Blocs de Laitiers

Elaboration des granulats laitiers :



Elimination des ferrailles sur 4 points de l'installation avec des overbands électromagnétique

Elaboration des granulats laitiers :



Elaboration d'un laitier 0/200



Elaboration d'un laitier 0/80



Elaboration des différentes coupures de laitier



Éléments issus du déferrailage

Etude de formulation d'enrobés avec LAFE + AE : BBSG 0/10 50/70

Composition de laboratoire				
nature et provenance	classe	dosages (%)	code (P18-545)	
Gravillons Laitier	6/10	47	AIII	
Sable Laitier	0/4	19	a	
Sable silico-calcaire BUDILLON Izeaux	0/2	12	a	
Filler d'apport	Filler	2.4		
AER BUDILLON Izeaux	0/10	15		
Bitume pur	50/70	4.6		
Teneur totale en liant :		5.5 %	catégorie	TL min 5.2

Maniabilité
% vides : 9,1% (5% à 10%)

Résistance à l'orniérage
 P_{orn} : 3,7% à 30000 cycles et à 60°C

Sensibilité à l'eau
Rapport i/C : 96%

Module de rigidité (15°C, 10Hz) : 11 600 MPa

- 81% de recyclés (laitiers + AER) dans la formule !
- Très bonne adhésivité des laitiers avec le bitume (rapport i/C)
- Très bonnes caractéristiques mécaniques : BBME (11 600 MPa)

Etude de formulation d'enrobés avec LAFE + AE : BBDr 0/10 Bip. 83

Composition de laboratoire

nature et provenance	classe	dosages (%)	code (P18-545)
Gravillon 6.3/10 Laitier	6.3/10	50	
Sable 0/2 Silico-calcaire	0/2	7	a
AER BBDr A 43	0/10	38.5	
Biprène 193		3.5	
filler Calcaire		1	

Teneur totale en liant : 5.04 %

Sensibilité à l'eau (méthode B)

éprouvette nombre : 12 ; diamètre moyen : 80 mm ; longueur moyenne : 86 mm

masses volumiques lot sec : 2.308 Mg/m³ lot humide : 2.309 Mg/m³

température d'essai : 18 °C

résistance en compression lot sec C_D : 8780 kPa

résistance en compression lot humide C_w : 8450 kPa

rapport i/C : 96 %

à 88,5 % de recyclés (laitiers + AER) dans la formule !

→ Très bonne adhésivité des laitiers avec le bitume (rapport i/C)

Exemples de chantiers réalisés : BBSG 0/10 50/70



RD36 à Novalaise en 2014



Rues à Lyon en 2016



Exemples de chantiers réalisés : BBSG 0/10 50/70



RN88 à Blavozy (43) en 2018



RD986 à Volvic en 2019





A43 La Tour du Pin (38)



Chantier réalisé en 2015

Etude de formulation :

PCG 40 girations : 23,7% (CCTP : 24 à 28%)

Contrôles chantier :

% de vides sur carottes : 23 - 24%

Vitesse de perméabilité : 1,8 cm/s

Conclusion :

Très bonne drainabilité malgré une faible teneur en vides pour un drainant



Les freins au développement des enrobés avec laitiers :

- ➔ **Réticence des MOA** à utiliser des laitiers, des recyclés...
- ➔ **Variabilité possible des caractéristiques des laitiers** (au sein d'un gisement ou d'un gisement à l'autre)
- ➔ **Masse volumique élevée** comparée à celle des granulats naturels
- ➔ **Prix d'élaboration des granulats** (risque de casse de matériel)
- ➔ **Prix des essais environnementaux et fréquence de contrôles**

Conclusions :

Enrobés aux laitiers



Gamme Enrobés HPE (Haute Performance Environnementale)



Recyclage à fort taux des granulats de laitiers + incorporation d'Agrégats d'Enrobés Recyclés dans les enrobés = **très forte valorisation !**

→ Très bonne affinité entre les laitiers et le bitume
à Très bonnes performances des enrobés bitumineux : i/C, résistance à l'orniérage, rigidité...

à **Durabilité des enrobés avec laitiers**



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Julien WALIGORA
julien.waligora@eiffage.com

Jérôme DHERBECOURT
Jerome.dherbecourt@eiffage.com