

LAITIERS sidérurgiques

N°108

Décembre 2017

page 10

RETOURS D'EXPÉRIENCES Des laitiers aptes à bien des usages

page 6

Actualaitiers

page 26

Que sont devenus les laitiers en 2016 ?

Enquête sur les flux de laitiers et
leurs principales filières d'utilisation



CTPL

CENTRE TECHNIQUE
ET DE PROMOTION
DES LAITIERS SIDÉRURGIQUES

ecart



Cher Père Noël !

Ce nouveau numéro de la revue «Laitiers Sidérurgiques» a pour objectif de rafraîchir les mémoires pour les plus expérimentés d'entre nous et de faire découvrir, aux plus jeunes, certains des meilleurs usages des laitiers sidérurgiques dans la construction, la technique routière et, plus généralement les travaux publics.

Les performances, qui ne sont plus à démontrer, des laitiers sidérurgiques employés comme liants hydrauliques dans la fabrication des bétons et dans la stabilisation des sols, comme granulats à haute performance dans les enduits bitumineux, ainsi que les volumes respectifs mis en œuvre depuis de nombreuses années, justifient à eux seuls la demande de sortie du statut de déchets de ces substances pour les usages pré-cités. Ce dossier, actuellement en cours d'instruction par le MTES, devrait parvenir à son terme courant 2018.

L'usage de laitiers d'aciérie en couche support de dallage industriel est en revanche beaucoup plus novateur. En effet, le D.T.U. 13-3, qui définit les conditions de réalisation de ces ouvrages, n'intègre pas à ce jour la possibilité de l'emploi de laitiers sidérurgiques autres que les laitiers de haut-fourneau cristallisés dans ces structures... Il proscriit d'ailleurs l'emploi de tout matériau alternatif d'origine industrielle... Quel gâchis ! Même si le devoir de précaution est souvent revendiqué, et à juste raison, dans la rédaction de textes normatifs, il arrive hélas tout aussi souvent que la volonté de se simplifier la tâche ou d'éviter d'endosser une responsabilité technique conduise à des exclusions catégoriques et péremptoires qu'il est difficile de justifier.

On peut en effet ainsi déplorer que ce D.T.U. ait préféré procéder à l'exclusion sine die de certains matériaux plutôt que de favoriser une approche performancielle. Tous les dallages de bâtiment n'ont pas vocation à satisfaire aux mêmes exigences : le dallage d'un hangar agricole ou d'un bâtiment industriel de logistique n'a sans doute pas à être aussi performant que celui d'un laboratoire de métrologie... par voie de conséquence, cela devrait sans doute également s'appliquer à la structure sous dallage.

Noël approchant, et mon grand âge m'ayant redonné une âme d'enfant, je souhaite que le Père Noël apporte cette année dans sa hotte une version révisée du DTU 13-3 qui prenne (enfin !) en compte les gisements que représentent les matériaux artificiels (dont les laitiers d'aciérie) et contribue à une utilisation plus responsable de ces ressources renouvelables. A l'heure où l'économie circulaire est un objectif politique, économique et social, il serait temps.

Et si j'osais ??...

S'il lui reste encore un peu de place dans la hotte, et comme cela prend peu de place, la publication d'un arrêté de sortie de statut de déchet pour les laitiers sidérurgiques employés pour les ouvrages routiers et de travaux publics rendrait ces fêtes de fin d'année encore plus merveilleuses.

Joyeux Noël à tous !

Jacques Reynard
Président du CTPL

page **6** **Actualaitiers**

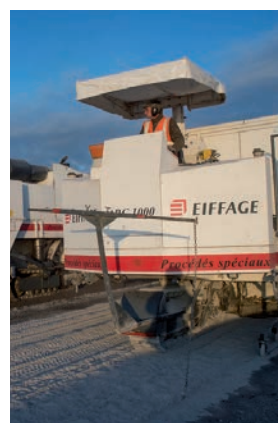
page **10** **Vu et pratiqué :
retours d'expériences**

Bien que présents dans les usages en génie civil français depuis plus de 50 ans, les laitiers sont l'objet d'un paradoxe. Ils sont codifiés dans la normalisation française et européenne, mais leur utilisation est parfois en butte à des préjugés souvent liés à une méconnaissance.

Il n'y a pas un, mais des laitiers et les techniques susceptibles de les employer sont variées. Depuis leur dureté jusqu'à leur résistance chimique, leurs qualités intrinsèques les rendent parfois meilleurs que les granulats naturels.

Nous vous présentons aujourd'hui quatre retours d'expériences réussis, qui confirment bien que l'emploi des laitiers, une fois ceux-ci sélectionnés et mis en œuvre correctement, permet des réalisations remarquables :

- Le laitier moulu, une solution d'avenir
- Granulac®... un granulat artificiel d'exception
- Sous le béton, les laitiers
- Sidmix® : liant hydraulique écologique et polyvalent pour matériaux routiers



Que sont devenus les laitiers en 2016 ?



Comme chaque année et pour la douzième année, le Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (CTPL) a lancé en 2017 l'enquête nationale relative aux flux de laitiers sidérurgiques produits sur le territoire national en 2016. Cette enquête vise également à recueillir les données relatives à leurs principales filières d'utilisation par différents secteurs industriels.

Pascal Leconte - CTPL

LAITIERS SIDÉRURGIQUES

71^{ème} année

Revue éditée et diffusée
gratuitement par le CTPL

Directeur de la publication

Jérémy DOMAS,
Délégué Général

Rédacteur en chef

Pascal LECONTE,
Directeur

Rédaction

CTPL
Site ArcelorMittal de Fos
Aile 1 - Bureau 120
13776 Fos-sur-Mer cedex

Siège social du CTPL

6, rue André Campra
Immeuble Le Cézanne
93212 La Plaine
Saint-Denis cedex
www.ctpl.info

Conception - Réalisation

BC Consultants :
01 30 74 09 00

Les articles publiés
n'engagent que
la responsabilité de leurs
auteurs.

Crédit photos :
Fotolia

N° ISSN 1166 - 3138

Dépôt légal :

4^{ème} trimestre 2017

Fonctionnement du CTPL

Réunion du CA du CTPL

La dernière réunion du Conseil d'Administration (CA) du CTPL s'est tenue le jeudi 16 novembre 2017 au siège du CTPL à Saint-Denis. L'occasion de faire le point avec nos Administrateurs sur les actions techniques, réglementaires et normatives réalisées depuis le début de l'année, et de proposer les pistes de réflexion et les aspects budgétaires pour l'année 2018.

Le développement et le renforcement des travaux techniques et scientifiques sont tout particulièrement des axes ciblés pour les années à venir. Les prochaines réunions du Conseil et de l'Assemblée Générale seront programmées au mois d'avril 2018.

International

Conseil d'Administration d'EUROSLAG

Le prochain Conseil d'Administration d'EUROSLAG se tiendra le lundi 27 novembre prochain au FEHS à Duisbourg. M. Jérémie DOMAS y participera.

Réunion des Groupes de Travail d'EUROSLAG

L'Assemblée Générale de l'Association européenne des producteurs et opérateurs de laitiers sidérurgiques, EUROSLAG, se tiendra le mardi 28 novembre 2017 au FEHS à Duisbourg. L'occasion pour le CTPL de faire le point avec l'ensemble des acteurs de la profession des laitiers sur les problématiques normative et réglementaire, et d'échanger sur les actions techniques en cours au sein des Etats Membres de l'UE.

Conférence EUROSLAG

La 9^{ème} conférence européenne sur les laitiers s'est tenue à Metz du 11 au 13 octobre 2017. Organisée cette année en France par EUROSLAG et soutenue par l'AFOCO, cette conférence inter-

ationale a réuni près de 200 experts internationaux impliqués dans la gestion des laitiers sidérurgiques.

Des interventions d'un excellent niveau technique ont permis de faire partager les dernières expériences et les technologies innovatrices en termes de gestion et de valorisation des laitiers.

A cette occasion, le CTPL a présenté la situation réglementaire concernant le statut juridique des laitiers sidérurgiques en France, et les évolutions majeures obtenues à l'initiative du CTPL au cours de ces deux dernières années. Un franc succès et une totale réussite pour cette manifestation organisée en France !

Pour plus d'information sur les attendus de la conférence EUROSLAG, vous pouvez vous reporter à l'adresse suivante :

www.euroslag2017.evenementcom.net

Réglementation nationale et européenne

Statut juridique des laitiers sidérurgiques

Depuis la publication de notre dernier numéro (N°107, juin 2017) de la revue Laitiers Sidérurgiques, le CTPL continue de suivre de très près avec l'Administration les différents dossiers dans le cadre de la modification du statut juridique de déchet des laitiers sidérurgiques.

Le projet d'arrêté ministériel de SSD relatif au statut juridique des laitiers (d'aciérie de conversion) utilisés en tant qu'amendements minéraux basiques est toujours en cours de consultation et sa publication officielle est attendue prochainement.

Le dossier déposé en mai 2016 concernant la sortie du statut de déchet (SSD) pour les laitiers de haut-fourneau cristallisés et les laitiers d'aciérie (filières convertisseur et électrique) utilisés en technique routière et en travaux publics a été finalisé. Une réunion de concertation avec les industriels concernés par ce dossier (AFOCO et USIRF) a ainsi été organisée par le Ministère de la Transition Ecolo-

gique et Solidaire (MTES) le 18 octobre 2017 afin de présenter un premier projet d'arrêté ministériel définissant les conditions et les critères de SSD des laitiers utilisés pour ces usages. La concrétisation de ce texte constitue d'ores et déjà une avancée très importante pour l'ensemble de la profession, et l'occasion de partager avec les acteurs présents lors de cette réunion des meilleures dispositions à retenir afin de refléter l'ensemble des pratiques existantes sur les sites français.

Après une instruction longue et complexe, les services instructeurs du MTES et l'ensemble de la profession semblent donc être prêts et motivés pour que le statut juridique des laitiers sidérurgiques puisse enfin rejoindre et reconnaître les pratiques connues sur le terrain depuis très longtemps !

Révision du guide SETRA

En parallèle de notre dossier de demande de SSD pour les laitiers sidérurgiques utilisés en technique routière et en TP, nous lançons la démarche de demande de révision du guide SETRA d'acceptabilité environnementale pour les laitiers paru en 2012. Cette procédure, presque concomitante à l'AM, doit nous permettre d'harmoniser les pratiques avec les autres matériaux alternatifs et d'intégrer la dernière note du ministère adressée aux DREAL justifiant l'élargissement de l'application du guide.

Guide méthodologique sur la construction

Dans le même esprit que le guide d'acceptabilité environnementale en technique routière, l'administration souhaite lancer l'établissement d'un guide destiné à l'emploi de matériaux alternatifs dans la construction dans le milieu du bâtiment. La démarche n'en est encore qu'au début et les parties prenantes doivent se réunir en décembre.

Groupe de travail du Conseil National de l'Industrie «Cycle de vie des produits»

Ce groupe, sous l'organisation conjointe du MTES/DGPR et de la Direction Générale des Entreprises (DGE) du Ministère de l'Economie et des Finances, vise à identifier les points de blocage dans les réglementations relatives aux déchets et aux produits, et de proposer des actions concrètes afin d'encourager et d'améliorer la réduction de la mise en décharge et la valorisation.

Dans ce cadre, quatre ateliers ont été programmés et organisés :

- 12 septembre 2017 – Clarifications réglementaires,
- 10 octobre 2017 – Valorisation des déchets sous statut de déchet,
- 7 novembre 2017 – Sortie du statut de déchet
- 5 décembre 2017 – Notion et interprétation de sous-produit

Le CTPL participe activement au GT et aux différents ateliers programmés. Les échanges entre les différentes parties prenantes permettent à chacun d'exprimer sa position et ses propositions afin de simplifier un peu les procédures administratives et de promouvoir les filières de valorisation.

Dossier d'enregistrement des laitiers sidérurgiques dans REACH

Le REACH Ferrous Slag Consortium continue de travailler à la révision du chemical safety report (CSR), afin de mieux prendre en considération les caractéristiques des gisements produits en Europe, mais également d'intégrer les évolutions des recommandations de l'Agence européenne (ECHA).

La prochaine Assemblée Générale du RFSC se tiendra le 22 mars prochain à Düsseldorf.

Révision du Règlement européen n° 2003/2003 sur les fertilisants

La révision sur le Règlement européen relatif aux fertilisants progresse lentement mais sûrement au sein des instances européennes. La Commission, le Parlement et le Conseil devraient ainsi pouvoir démarrer l'année prochaine les discussions en «trilogie»

afin de trouver une issue pour la publication de ce nouveau Règlement, qui ne sera pas publié avant 2019.

A noter que le Conseil est présidé à tour de rôle par chaque Etat pour une durée de six mois (janvier-juin ou juillet-décembre) selon un ordre pré-établi. Actuellement, c'est l'Estonie qui a la Présidence et les prochains pays à suivre d'ici fin 2020 seront : la Bulgarie (janvier-juin 2018), l'Autriche (juillet-décembre 2018), la Roumanie (janvier-juin 2019), la Finlande (juillet-décembre 2019), la Croatie (janvier-juin 2020) puis l'Allemagne (juillet-décembre 2020).

Par rapport à la version de 2003, les principales évolutions concerneront des modifications importantes sur les catégories, et l'incorporation de valeurs limite en éléments traces. Cependant, rien n'est encore figé et les discussions sont intenses !

Normalisation

CEN/TC 51 – Ciment et liants hydrauliques

Les travaux du groupe miroir français continuent à travers les travaux de la commission P15A. Actuellement, les plus gros travaux portent sur la mise en conformité des normes par rapport au mandat M114 sur les produits de construction. Beaucoup de normes sont bloquées, car l'annexe ZA n'est pas conforme au mandat. En particulier, la NF EN 13282-2 qui concerne les spécifications pour les liants hydrauliques routiers (dont le SIDMIX), bien que disponible, n'est pas officiellement parue au JOUE. La situation devrait se clarifier d'ici la fin de l'année 2017 pour une reprise d'un fonctionnement normal en 2018.

CEN/TC104 – Bétons

Les travaux des commissions P18B et P18C continuent. Ils sont essentiellement orientés vers la révision des normes européennes. A noter : un sujet potentiel pour les laitiers à savoir la mise au point de liants spéciaux de type ciment sur-sulfaté pour les milieux à risques (tunnels dans des horizons gypseux).

CEN/TC154 – Granulats

Les normes européennes sont en cours de révision. A noter la relance des travaux du WG12 consacré aux ressources secondaires pour lesquelles une réunion est prévue à Bruxelles en janvier 2018. Cela concerne l'intégration dans les normes granulats des laitiers.

CEN/TC227 – Assises de chaussées

Le groupe miroir français CNAC ne s'est pas réuni récemment. La prochaine réunion est prévue le 29 novembre 2017 à La Défense. Les derniers sujets abordés concernaient essentiellement le comportement au gel de certains matériaux traités et des sujets de dimensionnement en lien avec la norme NF P 98-086 sur les structures de chaussées.

CEN/TC396 – Terrassements

Le groupe miroir français suit de près les travaux de normalisation européenne qui doit voir d'ici quelques mois l'envoi au vote formel des normes européennes de la série EN 16907 parties 1 à 6. Ces normes traitent des activités du terrassement au travers des essais d'identification, des contrôles, de la mise en œuvre, du traitement de sols. Il y aura un impact sur le GTR, et celui-ci devra être mis à jour en conséquence. A noter :

- La publication d'un guide de réalisation des barrières d'étanchéité pour lequel il est possible d'utiliser des laitiers,
- La création d'un working group WG7 consacré aux matériaux alternatifs dans lequel le CTPL participe activement.

DTU 13.3 – Dallages industriels

Depuis la rentrée, le CTPL a rejoint la commission de normalisation du BN TEC en charge de la révision du D.T.U. 13.3 consacré aux dallages industriels et aux maisons individuelles. Ce document, très important dans le milieu du bâtiment, puisqu'il est lié à la garantie décennale, entre en processus de révision. Le CTPL prévoit d'apporter des contributions à l'ouverture des pratiques pour l'utilisation de laitiers en support de dallage. Plusieurs réunions sont planifiées sur les 6 prochains mois.

IDRRIM

Le CTPL est un des membres actifs du Comité Méthodologie de l'IDRRIM, et participe à ses travaux consacrés essentiellement à la rédaction de guides techniques, de notes d'information, d'organisation de manifestations et de communications. Les dernières publications validées par le comité méthodologique portent sur :

- Le dimensionnement des chaussées à faible trafic
- Le guide des mélanges bitumineux coulés à froid
- Les enduits superficiels d'usure

A venir : la révision des GTR et GTS, en lien avec la normalisation européenne et les travaux de Terdouest.

Modification du fonctionnement du BN TRA

Le bureau de normalisation BNTRA, qui gère les granulats (TC 154), les assises de chaussées (TC 227) et les terrassements (TC 396) a engagé une modification de ses règles de fonctionnement et d'assistance aux commissions qui dépendent de lui. Il envisage de faire payer l'assistance à ces dites commissions sous la forme de jetons de présence, en lien avec le nombre de sièges et de groupes miroirs. La situation devient conflictuelle avec les autres représentants professionnels (UNPG, SYN-TEC). Il n'est pas exclu que les choses soient amenées à changer en 2018.

CEN/TC 260 – Engrais et amendements minéraux basiques

Travaux français du BN FERTI

La révision de la norme française NF U44-001 par le groupe de travail dédié aux Amendements Minéraux Basiques (AMB) a été achevée, n'incluant malheureusement que les laitiers d'aciérie de conversion moulus, et une valeur limite en chrome hexavalent de 4 mg/kg. Sa publication au journal officiel est attendue début 2018.

Les travaux de la Commission Dénomination, Spécifications et Marquage (DSM) se sont poursuivis concernant la révision de la norme européenne prEN 14069 (2015) - Amendements minéraux basiques - Dénominations, spécifications et étiquetage. Le vote formel au niveau européen a été positif,

malgré l'opposition de principe de la France, ce qui confirme dans ce texte l'inclusion en plus des laitiers d'aciérie de conversion moulus, des laitiers d'aciérie de conversion criblés, et des laitiers de métallurgie secondaire. Dans ce cas, une valeur en chrome hexavalent de 2 mg/kg a été retenue.

Preuve une fois encore que l'harmonisation des spécifications nationales et européennes est difficile.

CEN/TC351 – Emission de substances dangereuses réglementées à partir de produits de construction

WG3 – Radioactivité des Produits de Construction

Fin octobre 2017, le rapport technique relatif à «la détermination de l'estimation dosimétrique et classification en fonction de l'émission de rayonnement gamma » a été publié par le CEN. Pour l'instant, ce rapport technique ne sera pas repris au catalogue AFNOR.

La publication du projet de norme TS 00351014 relatif à la «Détermination des concentrations d'activité des radioéléments 226Ra, 232Th et 40K par spectrométrie de rayons gamma (Y)» n'est pas encore effective à cette date. Le lancement du vote formel est attendu d'ici la fin de l'année.

Communication

Pour mieux suivre l'actualité des laitiers, **le CTPL se dote d'un compte twitter**, destiné à compléter la palette de ses outils de communication. Ce compte, alimenté de manière continue, doit permettre de diffuser de l'information à une cadence différente du site internet et de la revue Laitiers Sidérurgiques. Véritable complément aux informations à nos Adhérents et à la lettre info, il est sensé apporter une touche de dynamisme et de diffusion élargie de nos activités.

Retrouvez-nous sur : @CTPLinfo

Nouvelle mise à jour de notre site internet

sur la banque de données des produits fabriqués à base de laitiers et commercialisés en France

Le CTPL met sur son site internet à la disposition du public une base de données regroupant les produits disponibles en France sous la forme d'un regroupement régional dans une optique de valorisation en technique routière.

Le CTPL a sollicité ses adhérents afin qu'ils fournissent une mise à jour de leurs produits disponibles avec les Fiches Techniques Produits (FTP) et les Fiches de Données Environnementales (FDE) associées. La publication de la mise à jour finalisée est prévue pour la fin de l'année 2017.

Pour en savoir plus sur ces produits et leurs performances techniques et environnementales, vous pouvez bien sûr consulter notre site :

www.ctpl.info/trouver-un-produit/

UN SITE RICHE ET RÉGULIÈREMENT ACTUALISÉ, DÉDIÉ À LA PROMOTION DES LAITIERS SIDÉRURGiques

Présentation du CTPL,

de ses missions et de ses adhérents
(producteurs, transformateurs...).

Publications et documentation :

- revue Laitiers Sidérurgiques avec un historique des parutions sur plus de 15 ans,
- statistiques sur l'utilisation des laitiers,
- réglementation,
- archives...

Tout savoir sur les laitiers sidérurgiques :

présentation,
filières d'utilisations,
propriétés et atouts.

Trouver un produit commercialisé

Utilisez la base régulièrement actualisée des produits élaborés à partir de laitiers* disponibles sur le marché pour identifier leur fournisseur, tout savoir sur leurs caractéristiques techniques et environnementales. Pour faciliter votre recherche, vous pouvez sélectionner une catégorie de produit et une région.

* Produits élaborés à partir de laitiers provenant des sites sidérurgiques adhérents au CTPL et fabriqués et commercialisés par ses membres associés

Vu et pratiqué : retours d'expériences

Bien que présents dans les usages en génie civil français depuis plus de 50 ans, les laitiers sont l'objet d'un paradoxe. Ils sont codifiés dans la normalisation française et européenne, mais leur utilisation est parfois en butte à des préjugés souvent liés à une méconnaissance.

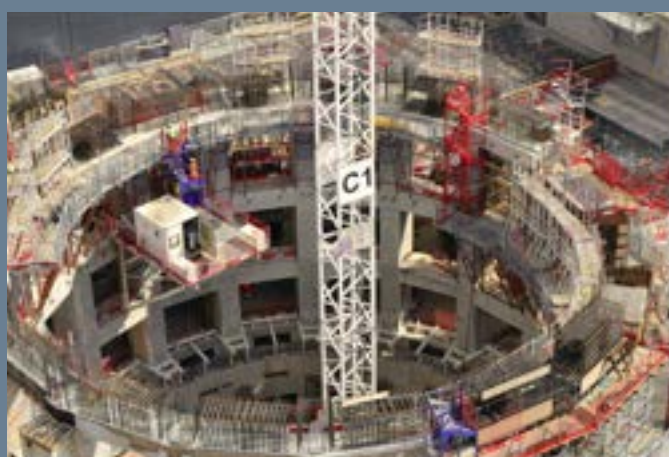
Il n'y a pas un, mais des laitiers et les techniques susceptibles de les employer sont variées. Depuis leur dureté jusqu'à leur résistance chimique, leurs qualités intrinsèques les rendent parfois meilleurs que les granulats naturels.

Nous vous présentons aujourd'hui quatre retours d'expériences réussis, qui confirment bien que l'emploi des laitiers, une fois ceux-ci sélectionnés et mis en œuvre correctement, permet des réalisations remarquables :

- l'emploi de laitiers de haut-fourneau vitrifiés moulus permet de produire un liant hydraulique, véritable alternative au ciment portland traditionnel, possédant des propriétés particulières de durabilité et de résistance aux agressions chimiques, avec une empreinte carbone réduite,
- des gravillons de laitiers d'aciérie de four électrique, incorporés dans des Mélanges Bitumineux Coulés à Froid (MBCF) et en Enduit Superficiels d'Usure (ESU), comptant parmi les techniques de revêtement de chaussées les plus exigeantes au niveau des granulats, notamment pour des raisons liées à la sécurité des usagers de la route,

page 10

Le laitier de haut-fourneau moulu, une solution d'avenir



page 13

Granulac® ... un granulat artificiel d'exception

- la réalisation d'un dallage industriel sur un terrassement à base de laitiers d'aciérie de four électrique, avec de véritables enjeux structurels et de durabilité, sur un marché (celui des dallages de bâtiment) où les exigences en matière de stabilité sont surveillées rigoureusement par les bureaux de contrôles, mettant en jeu des conditions d'assurance et de garantie décennale,

- la production et la mise en œuvre d'un liant hydraulique routier pour traitement de sols, qui permet à la fois de travailler avec des laitiers d'aciérie de convertisseur, et de réaliser des chantiers de terrassement avec des matériaux locaux, dans des conditions techniques, économiques et environnementales très intéressantes pour le maître d'ouvrage.

L'ambition de ces témoignages est de démontrer que les laitiers sont susceptibles d'offrir une large gamme d'applications, avec à la clé des ouvrages performants, remarquables et pérennes dans le temps.

page 20

Sidmix® : liant hydraulique écologique et polyvalent pour matériaux routiers



page 16

Sous le béton, les laitiers



Le laitier de haut-fourneau moulu, une solution d'avenir

CE QU'IL FAUT RETENIR :

- **Type de laitier** : Laitier de haut-fourneau granulé moulu,
- **Emploi** : liant hydraulique dans la fabrication du béton,
- **Enjeu** : valoriser les propriétés particulières de durabilité et de résistance aux agressions chimiques des laitiers de HF tout en offrant une empreinte carbone réduite.



Contexte technique

Développer l'économie circulaire

ECOCEM France continue son implantation en France avec la construction de sa nouvelle usine à Dunkerque, dont l'ouverture est prévue en 2018. La pièce maîtresse, le broyeur vertical, est identique à celui déjà en fonctionnement à Fos sur Mer.



Bien que ce soit un équipement déjà très économe en énergie, ECOCEM Materials a voulu s'inscrire davantage dans l'économie circulaire en concevant un site de production capable de valoriser les gaz des hauts-fourneaux d'ArcelorMittal.

Dans le cadre de l'économie circulaire et de la préservation des ressources, c'est donc une activité exemplaire de par la valorisation du laitier granulé de haut-fourneau, et de l'utilisation des gaz des hauts-fourneaux.

Le groupe ECOCEM investit beaucoup dans la R&D afin de diversifier l'utilisation du laitier moulu dans d'autres secteurs que celui de l'industrie du béton. Les résultats sont prometteurs dans les produits formulés (liants, colles), dans la valorisation des sédiments, et la protection incendie.



Applications et réalisations

Utilisé dans la formulation des bétons...

Aujourd'hui, le laitier moulu, utilisé majoritairement dans la formulation des bétons, est certifié et répond à la norme européenne NF EN 15167-1, laitier granulé de haut-fourneau moulu pour utilisation dans le béton, mortier et coulis. Dans la formulation du liant, il s'utilise en substitution partielle des ciments Portland CEM I et ciments Portland composés CEM II dans des proportions adaptées aux exigences de l'ouvrage, qui peuvent être techniques et environnementales. Les avantages qu'il apporte en matière de résistances mécaniques et de durabilité sont reconnus par les acteurs du génie civil. De par sa communication et celle de ses clients et prescripteurs, il est de plus en plus connu et recherché par les acteurs du bâtiment en quête de solutions bas carbone exigées par les labels environnementaux E+C-, BBCE (Bâtiment Bas Carbone), bdM (Bâtiment Durable Méditerranée). Le laitier moulu est aussi référencé dans le BIM (Building Information Model) comme solution bas carbone et suscite un grand intérêt des prescripteurs.

... les plus exigeants en terme de performance !

En illustration, quelques références réalisées avec du laitier moulu dans différents secteurs.



Énergie

• Fondations et bâtiments du TOKAMAK ITER à St-Paul-lès-Durance (13)

ITER est un projet de réacteur de recherche civil à fusion nucléaire. Le cœur du dispositif est le Tokamak, une chambre torique de confinement magnétique destinée à étudier la possibilité de la production d'énergie par fusion nucléaire. Le dimensionnement hors norme de la structure en béton de plus d'un mètre d'épaisseur de la dalle principale et des murs a nécessité des bétons à faible chaleur d'hydratation, ce qu'apporte le laitier moulu avec un dosage dans le liant de plus de 40%.

• Fondations d'éoliennes

Pour ce type d'ouvrage où beaucoup de béton est coulé en très peu de temps, on recherche aussi des bétons à faible chaleur d'hydratation avec un liant dosé à plus de 40 %.





Transport

- **Les voussoirs du métro de Rennes**

Un béton aux bonnes résistances mécaniques compatibles avec le process de préfabrication et résistant aux attaques chimiques du sous-sol. Les bétons ont été réalisés avec 30 % d'Ecocem.

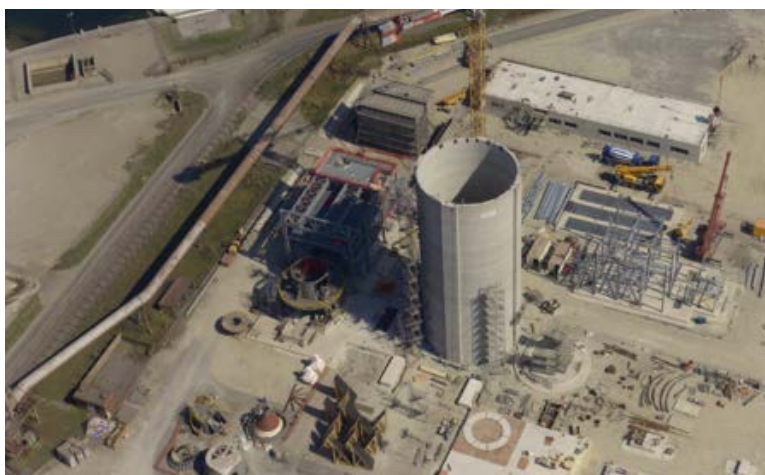
Immeuble de grande hauteur

- **Le noyau de la tour La Marseillaise de l'architecte Jean Nouvel à Marseille**

Un béton pompable avec 40 % d'Ecocem pour une mise en œuvre à plus de 135 mètres de haut et une réponse aux labels environnementaux français HQE et américain LEED.

Industrie

- **Silos bétons ECOCEM France**, fondations et voiles réalisés avec plus de 50 % d'Ecocem dans le liant. Les voiles périphériques d'une épaisseur de 45 cm ont été réalisées avec un coffrage glissant à une cadence de 13 cm/heure, soit environ 3,5 m³/heure.



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ces nombreux exemples de réalisations mettant en œuvre du laitier de haut-fourneau moulu dans la fabrication de bétons dans des proportions adaptées démontrent notamment les avantages qu'il procure en matière de résistances mécaniques et de durabilité. Ce matériau alternatif est également de plus en plus plébiscité par les acteurs du bâtiment en quête de solutions bas carbone.

Granulac®... un granulat artificiel d'exception



CE QU'IL FAUT RETENIR :

- **Type de laitier** : LAFE,
- **Emplois** : couches de roulement (EB, MBCF, ESU, ...),
- **Enjeu** : l'utilisation de LAFE pour des revêtements de chaussées proposant des caractéristiques particulières : haute adhérence, absorption acoustique.

Contexte technique

L'aventure Granulac®

L'aventure Granulac® commence en février 1989. A cette date, la société COGESUD, qui exploite depuis de nombreuses années les laitiers de haut-fourneau du site de Neuves-Maisons en Meurthe-et-Moselle (photo 1), reçoit pour évaluation quelques dizaines de tonnes des laitiers du four électrique nouvellement installé en remplacement des hauts-fourneaux arrêtés en 1986.

Rapidement, COGESUD prend conscience des qualités exceptionnelles de cette roche artificielle tant au niveau de ses qualités géomécaniques, chimiques que morphologiques, et qu'aucune roche naturelle locale ne peut égaler.



Photo 1

Vue générale du site de Neuves-Maisons

Photo 2
Granulac® vu de près



L'installation de concassage existante est alors modifiée pour permettre de valoriser tout le potentiel de ce produit. Après des opérations de concassage, criblage, déferailage et lavage, ce laitier (LAFE) montre des singularités propres (photo 2) qui permettent d'imaginer des domaines d'emploi nouveaux et nettement différenciés des granulats traditionnellement employés dans la construction locale.

Applications et réalisations

Des caractéristiques particulières pour des routes plus sûres et plus confortables

Tout d'abord, et compte tenu d'une valeur hors norme de PSV (appelé CPA à l'époque), les granulats élaborés sont utilisés pour les techniques de revêtement de surfaces routières à haute adhérence. A l'usage, cette adhérence est pérenne, et ce, grâce à la combinaison de quatre facteurs :

- la très bonne tenue aux chocs des grains,
- leur tenue exemplaire à l'attrition,
- l'adhésivité de haut niveau des grains aux liants d'enrobage (ce qui limite les déchaussements),
- mais aussi grâce à la tortuosité des grains qui présentent, jusque dans leurs plus fines dimensions, des aspérités (Tableau 1).

La géométrie particulière de surface des granulats de l'aciérie électrique de Neuves-Maisons a également permis d'imaginer leur emploi dans des techniques d'absorption acoustique tels que les enrobés phoniques.

CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES	MOYENNE	MINI	MAXI
PSV	62	56	69
LA	15	11	18
MDE	7	4	9
Gel (F)	0.4	0.0	0.8

Tableau 1
Tableau des caractéristiques intrinsèques du Granulac® entre 1989 et 2016



Photo 3
Application en ESU sur Route Départementale

En effet, l'aspect alvéolaire, à toutes les échelles, permet de diffracter efficacement les sons sur un large spectre de fréquences. Une technique d'enrobé formulée à partir de ces granulats a d'ailleurs été primée par le Décibel d'Or en 1992.

Depuis 2004, les productions de sables et de gravillons de ce site de production sont marqués CE en niveau 2+ par l'AFNOR.

Au sens de l'article 8 de la norme NF P 18-545, les gravillons 4/6, 6/10 et 10/14 mm sont classés en code « A I » avec une qualité de fabrication permettant de respecter également les seuils FI10 et f0,5 quant à eux les sables 0/2 et 0/4 mm, sont bien évidemment de code « a »... et sans aucune argilosité ! D'un point de vue environnemental, les productions de Granulac® respectent les spécifications du guide SETRA d'Octobre 2012 pour les usages de type 3.

Ces granulats sont donc couramment utilisés en Lorraine (Photo 3) pour la fabrication d'Enrobés Bitumineux (EB), de Matériaux Bitumineux Coulés à Froid (MBCF), ou d'Enduits Superficiels d'Usure (ESU).



Lorsque l'on recherche à réduire significativement le nombre d'accidents sur des portions de routes accidentogènes, il arrive même régulièrement que les usages de Granulac® dans ces techniques dépassent les frontières régionales.

Derniers produits élaborés depuis quelques années, les gravillons 2/4 et 1/3 mm (code « A II ») qui permettent d'envisager la réalisation de nouvelles formulations de MBCF et d'ESU, ainsi que la fabrication d'enrobés phoniques de dernière génération.

Granulac® en quelques chiffres

- 70 000 tonnes par an en moyenne,
- Plus de 1 600 000 m² de MBCF et d'ESU par an sur les routes nationales et départementales des Vosges, de la Meuse, de la Moselle et de la Meurthe-et-Moselle,
- De très belles et durables réalisations en Enrobés Bitumineux sur Autoroutes (A38, A33...), RN, RD et Voies Communales.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'aventure Granulac®, démarrée il y a plus de 25 années, ne s'essouffle pas car ce granulat est toujours source d'idées nouvelles et se positionne, aujourd'hui comme hier, dans un contexte de sécurité routière et de développement durable.

Sous le béton, les laitiers

CE QU'IL FAUT RETENIR :

- **Type de laitier** : LAFE,
- **Emploi** : sous face de dallage industriel,
- **Enjeu** : l'utilisation de matériaux alternatifs dans un contexte réglementaire exigeant avec des implications structurelles.



Contexte technique

Exécution d'un dallage sur des LAFE

On distingue plusieurs termes et utilisations :

- Un dallage est une dalle de béton plus ou moins armé selon l'utilisation, s'appuyant de manière continue sur le sol par l'intermédiaire d'une forme réalisée avec des granulats compactés.
- Une dalle portée est une dalle en béton armé coulé sur le sol mais ferrillée de manière à porter uniquement sur des appuis latéraux.
- Un dallage n'est pas un ouvrage géotechnique, mais il n'est pas possible de dissocier son comportement d'une étude du sol de fondation.

Le dallage se comporte de trois parties essentielles :

- Le support, qui est constitué du sol et d'une couche de forme éventuelle. Cette dernière est une épaisseur de granulats en général concassés, qui est compactée afin d'obtenir une portance satisfaisante.
- Le corps du dallage est l'ouvrage en béton lui-même. Il est ferrillé en fonction des descentes de charges appliquées, et il est coulé en place.
- Le revêtement éventuel, qui peut être une chape ou un revêtement de protection, un durcisseur de surface (sable de quartz).

Particularités du dallage

En France, les règles de dimensionnement des dallages sont définies dans le DTU 13.3 de mars 2005, qui rentre actuellement dans un processus de révision. Les dallages font partie des rares ouvrages à être travaillés «frais», dans la mesure où la finition de sa surface intervient rapidement après coulage, juste en début de prise.

Les dallages ont une interface importante avec le sol support (Figure 1). Les qualités géotechniques de ce dernier sont fondamentales pour évaluer la stabilité et le dimensionnement de l'ouvrage. De ce fait, il existe des critères de choix des matériaux pour le sol support. En cas d'insuffisance mécanique ou de stabilité dimensionnelle, deux solutions sont possibles :

- Des techniques d'amélioration ou de renforcement de sol : traitement à la chaux et/ou au liant hydraulique, inclusions rigides, colonnes ballastées. Il y a aussi les techniques de compactage dynamique, de pré-chargement, de drainage.
- La substitution par des matériaux répondant aux caractéristiques mécaniques requises.

Les matériaux à exclure en particulier sont les matériaux gonflants, instables, ou présentant des évolutivités trop importantes. Le DTU 13.3 détaille les critères de choix, en s'appuyant sur la norme NF P 11-300. Dans le cadre de la réalisation d'un dallage, l'étude géotechnique et la reconnaissance des sols revêtent un caractère fondamental.

Dans le cas particulier des coproduits sidérurgiques, l'utilisation de laitiers n'est pas exclue pour la réalisation de la couche de forme, mais elle doit être justifiée par une absence de gonflement et de risque d'évolution sous les effets du compactage. On retiendra plus particulièrement le test de stabilité volumique selon la NF EN 1744-1 pour les laitiers d'aciérie, et l'essai de désintégration du silicate bi-calcique et du fer pour les laitiers de haut-fourneau refroidis à l'air.

Application et réalisation

Cas du chantier de l'usine de SAM Montereau

Le projet s'inscrit dans le contexte de l'agrandissement de l'usine existante (Photo 1). Le nouveau bâtiment industriel d'une emprise au sol de 7500 m² doit abriter une unité de fabrication de treillis soudés. Ce bâtiment, constitué d'une structure métallique, a nécessité la réalisation de fondations profondes de type pieux forés

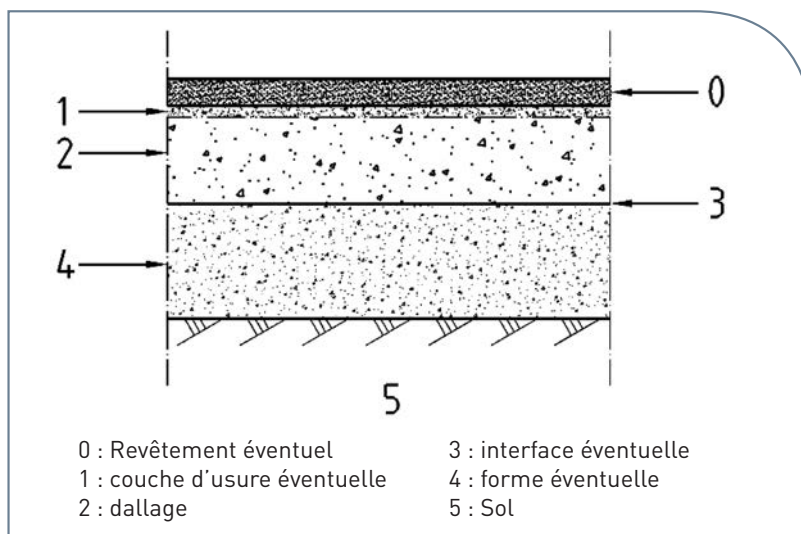


Figure 1

Coupe de principe d'un dallage

d'une profondeur de 12 mètres afin d'aller s'ancrer dans des horizons de craie indurée présentant la résistance nécessaire en traversant les alluvions et les limons.

Cet endroit, est situé dans une boucle de l'Yonne et les terrains naturels sont constitués majoritairement de craie à des profondeurs de -13 m à -15 m. Ces craies sont recouvertes de limons et d'alluvions, puis d'argile jusqu'à 3 m de profondeur environ.



Photo 1

Vue partielle de la nouvelle usine avec son dallage et du stock



Photo 2

Vue du dallage en cours, avec la couche de forme en LAFE, les nappes d'armatures.

Le Dallage en lui-même est constitué d'une épaisseur de 30 cm de béton C30/37 coulé sur une double nappe de treillis soudé. Le dallage est passé à l'hélicoptère à l'état frais, et est revêtu d'une poudre de quartz destinée à lui apporter une protection en surface.

Le fond de forme est constitué de la manière suivante :

- Remblais : LAFE 80 / 200 mm sur une épaisseur de 50 cm,
- Couche de finition LAFE 20/40 mm sur une épaisseur 10 cm.

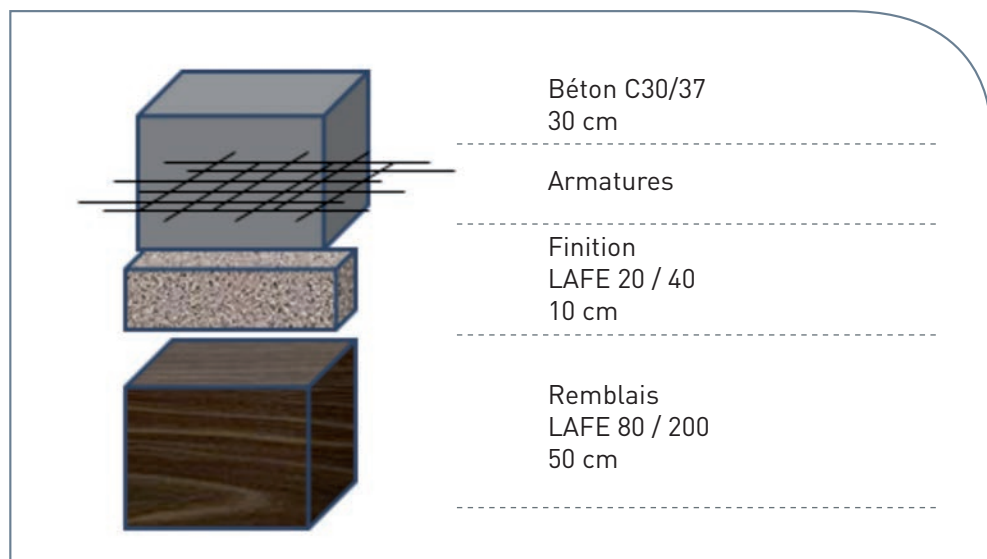
L'exécution du dallage en question (Photo 2) s'étend donc sur une surface contiguë au nouveau bâtiment sur 15 000 m². Il est destiné à recevoir des bobines. Les descentes de charge ne sont pas forcément importantes, mais l'emprise au sol demande de l'espace de stockage.

Conformément au DTU 13.3, le support du dallage doit avoir un module de déformation déterminé par essai à la plaque au moins égal à $K_w = 50 \text{ MPa/m}$ pour une plaque de diamètre égal à 75 cm.



Photo 3

L'entreprise avance à une cadence de 500 m² par jour : carreau réalisé le matin même



Les laitiers utilisés

Les laitiers utilisés sont des laitiers de four électriques (LAFE), présents sur le stock de l'usine et les granulats sont élaborés par une entreprise spécialisée travaillant par campagnes.

Photo 4

Vue du stock de LAFE, côté produits élaborés



Le laitier est produit au four électrique de l'aciérie, au cours de la fusion des ferrailles. Il est composé essentiellement de la chaux enfournée à des fins métallurgiques, ainsi que d'oxydes de fer, d'autres oxydes métalliques provenant de la ferraille. A ce titre, il comprend les principaux composés suivants : CaO , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , MgO :

Au niveau de l'acceptabilité environnementale, les laitiers sont de type 3 selon le guide SETRA de 2012.

COMPOSÉ	TENEUR MOYENNE EN %
CaO	35
Fe_2O_3	25
SiO_2	15
Al_2O_3	8
MnO	5
MgO	4

Tableau 1 :

composition chimique moyenne des LAFE

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cet usage de laitiers d'aciérie sous dallage béton démontre le bien-fondé de cette technique lorsque les laitiers employés sont sélectionnés et mis en oeuvre avec soin. Ceci devrait permettre de requalifier les exclusions et les limites actuellement présentes dans le DTU 13.3 lors de sa prochaine révision.

Sidmix® : liant hydraulique écologique et polyvalent pour matériaux routiers

CE QU'IL FAUT RETENIR :

- **Type de laitier** : Mélange de laitier de haut-fourneau (LHF) et de laitier d'aciérie de conversion (LAC),
- **Emploi** : liant hydraulique routier,
- **Enjeu** : Tirer profit des atouts du Sidmix®, notamment sa faible empreinte carbone, son délai de maniabilité élevé et sa polyvalence, pour le traitement d'une multitude de matériaux utilisés essentiellement en technique routière.



Contexte technique

Il existe sur le marché une multitude de liants hydrauliques routiers pour le traitement des sols et des matériaux granulaires. Ces liants se différencient par leur composition et par le niveau de performances mécaniques qu'ils permettent d'obtenir sur matériaux traités. Depuis une vingtaine d'années, des avancées importantes ont été réalisées vis-à-vis de la diminution des gaz à effet de serre générés par la fabrication de ces liants, avec notamment l'intégration comme constituants principaux de co-produits industriels (laitiers de haut-fourneau granulés moulus, cendres volantes...). Cependant, la majorité des liants disponibles aujourd'hui intègrent encore une part non négligeable de clinker ou de chaux, dont la fabrication est très génératrice de CO₂.

Depuis sa création en 2004, la société SGA, filiale d'EIFFAGE et de Phoenix Services, produit à Dunkerque un liant hydraulique

routier constitué à 95 % de laitiers sidérurgiques, à très faible impact environnemental, et utilisable dans le traitement d'une multitude de matériaux (sols, matériaux granulaires) : le Sidmix®.

Composition et caractéristiques du Sidmix®

Le Sidmix® est un liant hydraulique routier (LHR) majoritairement composé de laitiers sidérurgiques. Il est fabriqué et commercialisé par la société SGA, qui récupère, traite et valorise les laitiers de convertisseur (LAC) générés lors de la fabrication d'acier sur le site d'ArcelorMittal de Dunkerque. Comme l'illustre la photo 1, la plateforme SGA est implantée juste à proximité de l'aciérie.



Photo 1
implantation de la
société SGA à côté de
l'aciérie ArcelorMittal
de Dunkerque

La formulation du Sidmix® repose sur l'activation du laitier de haut-fourneau granulé et moulu (LHF), généré sur le même site, par la chaux libre contenue dans les laitiers de convertisseur (LAC). Du gypse naturel est intégré dans la formulation comme activateur de prise. Il est à noter que les laitiers de convertisseur entrant dans la composition du Sidmix® sont sélectionnés en fonction de leur teneur en chaux libre avant leur déversement en fosse par un modèle prédictif. Ces laitiers, après refroidissement, sont ensuite déroctés, déferrillés, concassés, criblés puis broyés.

La composition du LHR Sidmix® est la suivante :

- 50 ± 4 % de LHF,
- 40 ± 4 % de LAC,
- 5 ± 1 % de gypse.

Sa désignation normalisée, en accord avec la norme NF EN 13282-2 [1], est HRB N2 - S50, Sb 40. Un échantillon de ce liant est présenté



Photo 2
LHR Sidmix®

sur la photo 2. Le Sidmix® a obtenu en 2009 (renouvelé en 2017) un Avis Technique [2] délivré par l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM). Ses caractéristiques sont analysées depuis 2007 au Laboratoire Central EIFFAGE de Ciry-Salsogne (02) suivant les normes NF P 15-108 [3] et NF EN 13282-2, avec une fréquence d'un échantillon par semaine de production. Les résultats de l'année 2016 sont présentés dans le tableau 1.

ESSAI	SURFACE Blaine (cm ² /g)	REFUS À 90 microns (%)	SULFATES (% DE SO ₃)	RC À 56 jours (MPa)	DÉBUT DE PRISE (minutes)	STABILITÉ (mm)
Valeur minimale	2860	15,3	1,79	18,7	980	1
Moyenne 2016	3300	18,4	2,25	23,3	1424	7
Valeur maximale	3670	23,4	2,60	29,3	2630	19
NF EN 13282-2	-	≤ 15	≤ 4	≥ 12,5 ≤ 32,5	≥ 150	≤ 30
Avis Technique IDRRIM	3000 ± 500	15 ± 4	-	≥ 12,5 ≤ 32,5	≥ 125	≤ 30

Tableau 1
Caractéristiques du Sidmix® pour l'année 2016 (49 valeurs analysées)

Les résultats obtenus permettent d'établir les constatations suivantes :

- La surface spécifique Blaine du Sidmix® (valeur moyenne) est en accord avec la spécification de l'Avis Technique délivré par l'IDRRIM ($3000 \pm 500 \text{ cm}^2/\text{g}$). Elle est variable d'un échantillon à l'autre, ce qui peut être expliqué par l'obtention de différentes surfaces spécifiques sur le laitier de convertisseur broyé et le gypse naturel.
- Le refus à $90 \mu\text{m}$ (valeur moyenne) est également conforme à l'Avis Technique mais peut épisodiquement dépasser la spécification des normes NF P 15-108 et NF EN 13282-2 ($\leq 15 \%$). La finesse du laitier de convertisseur, qui est un matériau difficile à broyer, est le principal paramètre d'influence. Des essais industriels sont actuellement en cours pour tenter d'améliorer cette caractéristique.
- La teneur en sulfates est conforme à la norme NF EN 13282-2 ($\leq 4 \%$). De légères variations peuvent être observées d'un échantillon à l'autre et la teneur en sulfates du gypse naturel peut expliquer cette variabilité.
- La résistance en compression (R_c) obtenue à 56 jours sur mortiers normalisés permet de classer le Sidmix® en catégorie N2 suivant la norme NF EN 13282-2 ($\geq 12,5 \text{ MPa}$ et $\leq 32,5 \text{ MPa}$).
- Le temps de début de prise est variable d'un échantillon à l'autre. Dans tous les cas, les valeurs obtenues sont en accord avec la norme NF EN 13282-2 et l'Avis Technique. L'hypothèse retenue pour expliquer cette tendance est la suivante : les variations observées dans les finesses du laitier de convertisseur et du gypse naturel sont susceptibles d'engendrer une activation du LHF à court terme plus ou moins efficace, aboutissant à un temps de début de prise plus ou moins long.
- La stabilité du Sidmix® est également variable d'un échantillon à l'autre mais est systématiquement conforme à la norme NF EN 13282-2 et à l'Avis Technique. La teneur en chaux libre du laitier de convertisseur est à l'origine de ces variations : elle est plus ou moins élevée en fonction des apports en chaux pratiqués en convertisseur lors de la fabrication des différentes nuances d'acier.

Ceci aboutit à différentes valeurs de stabilité sur liant, résultant d'une hydratation plus ou moins marquée de la chaux lors de la réalisation de l'essai en laboratoire.

Le LHR Sidmix® se différencie des autres liants par deux caractéristiques majeures, qui représentent un réel avantage à l'utiliser sur chantiers comparativement aux autres liants disponibles sur le marché :

- Son empreinte Carbone, qui est l'une des plus faibles. Une étude complète a été réalisée sur ce sujet en 2010 en utilisant la méthode Bilan Carbone® de l'ADEME [4].
- Son délai de maniabilité, qui est deux à quatre fois supérieur à celui des autres liants, à la fois à 20°C et à 40°C , comme cela est exposé dans le tableau 2. Un article scientifique a été publié sur ce sujet en 2011 dans la Revue Générale des Routes et de l'Aménagement (RGRA) [5].

	DÉLAI DE MANIABILITÉ (heures)	
	20 °C	40 °C
Liant 1 - Sidmix®	9:00	5:50
Liant 2 - prise modérée	3:50	3:10
Liant 3 - prise rapide	2:20	1:40

Tableau 2

Délai de maniabilité du Sidmix® déterminé par vitesse du son comparé aux autres liants

Etudes de traitement

De nombreuses études de traitement ont été réalisées depuis plus de dix ans à différents dosages en Sidmix® sur une multitude de matériaux (sols, matériaux de carrières, retraitement en place de matériaux de chaussées) pour des usages en remblais, parties supérieures de terrassement (PST), couches de forme, assise de chaussées ou encore bétons compactés routiers (BCR).

CLASSE GTR	SIDMIX® (%)	IPI	I. CBR	I. CBR/IPI
R12s	4	8,5	88	10

Tableau 3

Exemple de traitement au Sidmix® pour remblais / amélioration de PST

CLASSE GTR	CaO VIVE (%)	SIDMIX® (%)	Rc (MPa)			PERFORMANCES À 90 JOURS		CLASSE MÉCANIQUE
			7 jours	60 jours	Rci/Rc	Rt (MPa)	E (GPa)	
A1	2	6	2,1	5,3	0,82	0,40	4,3	Zone 3
A1/A2	2	6	1,2	3,5	0,93	0,28	2,9	Zone 4/3
A2	2	6	1,3	2,7	0,91	0,29	4,4	Zone 4/6
B5	1	6	1,3	3,0	0,90	0,43	6,3	Zone 3
R12s	-	6,5	2,1	3,1	1,14	0,44	12,6	Zone 4/3

Tableau 4

Exemples de traitements au Sidmix® pour couches de forme

MATÉRIAU	SIDMIX® (%)	60 JOURS		360 JOURS		Rt60/Rt360	E60/E360	CLASSE MÉCANIQUE (360 jours)
		Rt (MPa)	E (GPa)	Rt (MPa)	E (GPa)			
STLH 0/4	4	1,26	22,1	1,28	24,2	0,98	0,91	T3
Haut-Lieu	5	1,43	26,6	1,32	27,6	1,08	0,96	T3
GTLH 0/20	3	0,98	25,1	1,39	30,8	0,71	0,81	T3
SECAB	4	1,07	26,6	1,50	33,6	0,71	0,79	T3
GTLH 0/20 Stinkal	3,5	0,94	22,6	1,08	23,2	0,87	0,97	T2/T3
BCR 0/14	9	1,68	25,8	1,88	23,8	0,89	1,08	G4
Stinkal	12	1,76	27,9	1,70	30,9	1,03	0,90	G4

Tableau 5

Exemples de traitements au Sidmix® pour assises de chaussées

Des exemples de traitements et les performances mécaniques obtenues sont présentés dans les tableaux 3, 4 et 5 suivants. Le Sidmix® est un liant particulièrement bien adapté au traitement des matériaux crayeux, difficiles à traiter car étant évolutifs. Pour ce type de matériaux, le dosage recommandé en Sidmix® est de l'ordre de 4 % en remblais / PST (tableau 3). Pour le traitement des sols fins, sableux et graveleux en couche de forme, le dosage est

compris entre 5 % et 7 %, associé à un pré-traitement à la chaux vive à 1 %, voire 2 % en fonction de l'argilosité des matériaux (tableau 4). Ces dosages permettent d'obtenir des performances mécaniques en zones 4 à 3, d'après la norme NF P 94-102-1 [6] et le guide technique LCPC-SETRA sur le traitement des sols [7].

Le Sidmix® est couramment employé dans le traitement des sables, matériaux granulaires et dans le retraitement des matériaux

de chaussées pour assises de chaussées. En fonction de la nature des matériaux, le dosage en Sidmix® préconisé est compris entre 3,5 % et 4,5 % pour l'obtention d'une classe de performance T3 à 360 jours, d'après la norme NF EN 14227-5 [8] (tableau 5). Pour un usage en bétons compactés routiers (BCR), le dosage préconisé est compris entre 9 et 12 % en fonction de la nature des matériaux.

Applications et réalisations

Depuis le début de la commercialisation du Sidmix® en 2005, de nombreux chantiers de traitement de sols, de retraitement de maté-

riaux de chaussées et de nombreuses fabrications en centrale de matériaux traités (sables, graves) ont été réalisés avec le Sidmix®. Une synthèse des chantiers réalisés entre 2009 et 2014 est présentée dans le tableau 6.

Un chantier significatif a notamment été réalisé en 2017 sur la RD 939 dans le département du Pas-de-Calais entre Haute-Avesnes et Aubigny-en-Artois. Les travaux avaient pour objectif la mise à 2x2 voies de la 2x1 voie existante sur un peu plus de deux kilomètres. La solution variante retenue a consisté à retraiter en place sur 30 cm les matériaux de chaussée avec les ateliers mobiles ARC 700® et ARC 1000® développés par EIFFAGE Route. Le dosage en Sidmix® était de 4,5 %. Les matériaux mis en œuvre et les épaisseurs associées sont présentés dans le tableau 7.

	RETRAITEMENT EN PLACE		MTLH EN CENTRALE		TRAITEMENT DE SOLS	
	Nombre de chantiers	Chantiers significatifs (tonnes de Sidmix®)	Nombre de chantiers	Chantiers significatifs (tonnes de Sidmix®)	Nombre de chantiers	Chantiers significatifs (tonnes de Sidmix®)
2009	7	633	8	3600	14	1400
2010	6	366	7	4600	18	2586
2011	10	691	9	4500	10	700
2012	6	2900	5	7900	8	1600
2013	10	1475	7	5100	11	1600
2014	9	2061	4	4200	15	651

Tableau 6

Synthèse des chantiers réalisés au Sidmix® entre 2009 et 2014

MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR
BBTM 1 0/10	2,5 cm
GB 4 0/14	10 cm
GB 4 0/14	10 cm
MTLH ARC 700/1000 à 4,5 % de Sidmix®	30 cm
Limon traité chaux et LHR	48 cm

Tableau 7

Matériaux mis en œuvre et épaisseurs sur le chantier de la RD 939 réalisé en 2017

Des photographies du retraitement de ces matériaux de chaussée au moyen des ARC 700® et 1000® sont présentées sur les figures 3 et 4. Grâce à ce procédé, 60 000 m² de chaussées ont pu être traités en 8 jours, l'épaisseur de la couche de forme a pu être diminuée de 20 cm par rapport à la solution de base et plus de 1500 tonnes de Sidmix® ont été utilisées.

Photo 3

Retraitement des matériaux de chaussée au Sidmix® avec les ateliers de retraitements ARC 700® et 1000®



Photo 4

Atelier de retraitement mobile ARC 1000®, réglage à la niveleuse et compactage®



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce retour d'expérience illustre et présente le liant hydraulique routier Sidmix®, produit par SGA, son domaine d'utilisation et des exemples de chantiers réalisés depuis sa commercialisation en 2005.

Etant composé à 95 % de laitiers sidérurgiques, le Sidmix® se positionne comme l'un des LHR les plus écologiques du marché. Son délai de maniabilité, deux à quatre fois supérieur à celui des autres liants, représente un réel avantage pour son utilisation sur chantiers. Il peut être employé dans la stabilisation et le traitement d'une grande variété de sols et de matériaux granulaires, en centrale ou en place, et permet la réalisation de remblais, PST, couches de forme, d'assises de chaussées ou encore de bétons compactés routiers (BCR). Il peut également être utilisé pour le traitement de matériaux alternatifs, comme les matériaux de démolition du BTP ou les mâchefers d'incinération de déchets non dangereux (MIDND).

Les dosages en Sidmix® recommandés sont les suivants :

- 5 % à 7 % pour la réalisation de couches de forme de chaussées, le plus souvent associé à un prétraitement à la chaux vive (1 % à 2 %).
- 3,5 % à 4,5 % pour la fabrication en centrale de MTLH ou pour le retraitement en place des matériaux de chaussées.
- 9 % à 12 % pour la réalisation de bétons compactés routiers (BCR).

Depuis 2005, plus de 200 000 tonnes de Sidmix® ont ainsi été commercialisées et des chantiers d'envergure ont été réalisés, essentiellement en région Hauts-de-France. A ce jour, aucun défaut de performances mécaniques ou de désordres structuraux n'ont été constatés. Avec plus de dix ans d'existence, ce liant constitue un bel exemple de valorisation des laitiers de convertisseur et d'économie circulaire dans le Nord de la France.

Références

- [1] NF EN 13282-2, septembre 2015. Liants hydrauliques routiers. Partie 2 : liants hydrauliques routiers à durcissement normal. Composition, spécifications et critères de conformité.
- [2] Sidmix®. Avis Technique n° 164. IDRRIM. Janvier 2017.
- [3] NF P 15-108, décembre 2000. Liants hydrauliques routiers. Composition, spécifications et critères de conformité.
- [4] <http://www.bilans-ges.ademe.fr>
- [5] Measson M., Dony A., Colin J., Fillion Y. : Délai de maniabilité des liants hydrauliques routiers, Revue Générale des Routes 893 (2011) 69-76.
- [6] NF P 94-102-1, juillet 2001. Sols : reconnaissance et essais. Sol traité au liant hydraulique, éventuellement associé à la chaux, pour utilisation en couche de forme. Partie 1 : définition, composition et classification.
- [7] Guide technique LCPC-SETRA, 2000. Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application à la réalisation des remblais et des couches de forme.
- [8] NF EN 14227-5, août 2003. Mélanges traités aux liants hydrauliques. Spécifications. Partie 5 : mélanges granulaires traités aux liants hydrauliques routiers.

Auteurs :

Julien WALIGORA et Dominique BONNEAU (EIFFAGE Infrastructures),
Eric SEITZ (Phoenix Services),
Laurent BLERIOT (SGA).

Que sont devenus les laitiers en 2016 ?



Comme chaque année et pour la douzième année, le Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (CTPL) a lancé en 2017 l'enquête nationale relative aux flux de laitiers sidérurgiques produits sur le territoire national en 2016. Cette enquête vise également à recueillir les données relatives à leurs principales filières d'utilisation dans différents secteurs industriels.

La consolidation des données (cf. tableau 1) fait apparaître une stabilisation de la production depuis plusieurs années aux alentours de 5 millions de tonnes. La production d'acier dépend fortement des marchés de l'automobile et de la construction, qui sont dépendants de cycles courts et de la commande publique en matière de logements.

Le tableau 1 illustre l'évolution des productions au cours de ces dernières années, en fonction des différentes typologies de laitiers (LHF, LAC ou LAFE).

L'année 2016 confirme les grandes tendances à savoir :

- Une stabilisation de la production des laitiers granulés, à destination de l'industrie des ciments et des liants hydrauliques,
- Une stagnation de la production des laitiers d'aciérie, liée à un marché de l'automobile stable en Europe,
- Une baisse plus significative pour les laitiers d'aciérie issus de la filière carbone, directement dépendants du marché de la construction, pour lequel la commande publique de logements est restée en berne au cours de l'année 2016.

Tableau 1

Synthèse des productions de laitiers en France :

TYPE DE LAITIERS		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
LHF	LHF totaux	3 639	2 329	3 079	2 847	2 866	3 081	3 407	2983	3003
	LHF granulés	2 814	1 772	2 442	2 323	1 902	2 127	2 682	2185	2310
	LHF cristallisés	825	557	637	524	964	954	725	798	693
Laitiers d'aciérie de conversion		1 235	807	1 069	1 136	1 135	1 258	1 187	1265	1072
Laitiers d'aciérie électrique (aciers carbone)		578	575	579	617	637	516	503	442	420
Laitiers d'aciérie électrique (aciers inox et alliés spéciaux)		348	131	200	231	216	206	211	185	173
Total		5 800	3 842	4 929	4 831	4 855	5 061	5 308	4875	4668

Laitiers de haut fourneau

La production de laitiers de haut-fourneau s'établit pour l'année 2016 à près de 3 millions de tonnes, issues des sites sidérurgiques intégrés Arcelormittal de Fos-sur-Mer et Dunkerque , ainsi que du site Saint-Gobain de Pont-à-Mousson. Le ratio entre la partie cristallisée (23%) et celle granulée (77%) montre une situation stable depuis plusieurs années.

1- Le site Arcelormittal de Florange ne produit plus de laitiers de haut-fourneau depuis 2012 suite à l'arrêt de la filière chaude (mise sous « cocon » en avril 2013).

La figure 1 montre qu'une majorité des tonnages produits (74%) sont valorisés sous forme de laitier vitrifié comme liants hydrauliques par l'industrie cimentière à destination de la construction de bâtiments et d'ouvrages (ciments et additions du béton) et, de façon plus marginale, de la technique routière (liant hydraulique routier).

En 2016, 13% des laitiers de haut-fourneau, générés sous forme cristallisée, ont été valorisés comme granulats en technique routière. D'autres filières d'utilisation du laitier de haut-fourneau cristallisé, encore marginales (3%), tendent à se développer, par exemple pour la fabrication de laine de roche.

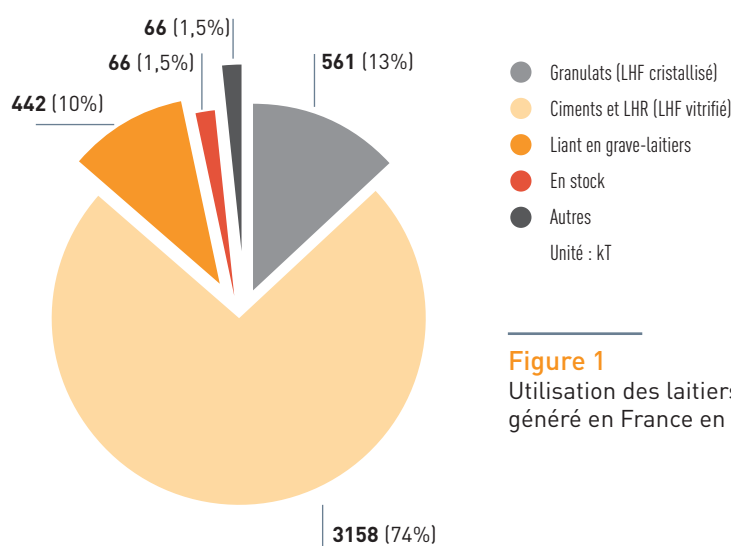


Figure 1

Utilisation des laitiers de haut-fourneau généré en France en 2016

Laitiers d'aciérie

Les 21 réponses reçues de la part des 25 sites sidérurgiques français produisant des laitiers d'aciérie représentent plus de 99% des tonnages de laitiers d'aciérie produits annuellement en France, à savoir près de 1,6 millions de tonnes pour l'exercice 2016, en léger recul par rapport à 2015.

Parmi les laitiers d'aciérie, on peut distinguer trois grandes familles :

Les laitiers d'aciérie de conversion (LAC)

Les laitiers de convertisseur à oxygène (appelés aussi laitiers LD), issus de la filière

fonte représentent 64% des tonnages de laitiers d'aciérie produits en 2016 (environ 1 million de tonnes). En comparaison de 2015, les usages notamment en TP ont beaucoup progressé (+25 %), ce qui a engendré une baisse notable de la mise en stock.

Il est à noter une nette amélioration pour les quantités valorisées sur cette typologie de produits par rapport à l'année 2015. Les opérateurs et cotraitants en charge de la commercialisation des LAC doivent faire face à un contexte dans les travaux publics assez morne ces dernières années ainsi qu'à une certaine frilosité des maîtres d'ouvrage à développer l'usage de ces matériaux alternatifs.

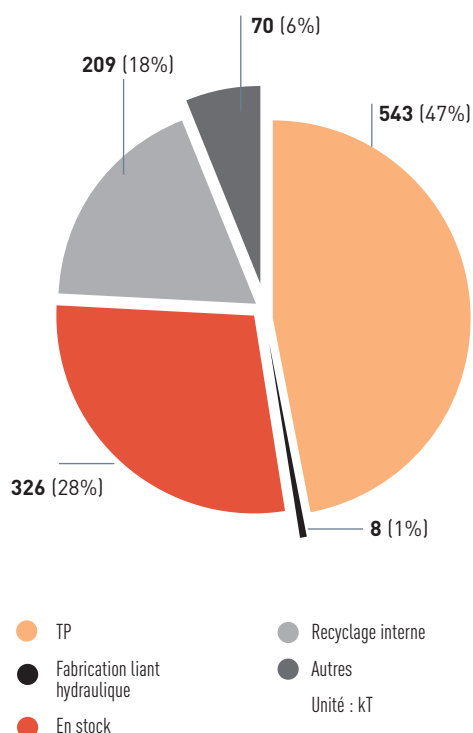


Figure 2

Orientation des laitiers de convertisseur générés en France en 2016

Les laitiers d'aciérie de four électrique issus de la filière aciers carbone (LAFE carbone)

Ils représentant 24,5 % des tonnages de laitiers d'aciérie produits en 2016, soit un peu plus de 0,42 million de tonnes.

Compte tenu des propriétés intrinsèques de ces laitiers, l'essentiel des tonnages (72%) est utilisé comme granulats en technique routière. Il faut noter une légère dégradation de la mise en stock puisque nous sommes passés de 7 % en 2015 à 12 % en 2016. Ce constat est à nuancer dans la mesure où les sites procèdent à des opérations de maturation sur stock sur de longues périodes (plusieurs mois) avant d'utiliser les granulats.

La tendance au recyclage interne se confirme au sein des sites, avec 5 % des flux concernés en 2016. L'orientation vers d'autres filières a marqué un ralentissement en 2016 par rapport à 2015 au travers d'usages innovants des LAFE pour le filage de laine de roche, l'utilisation pour le traitement d'eaux usées, ou encore la valorisation comme tout venant pour la constitution de buttes paysagères ou de merlons phoniques. Mais il faut saluer un nouveau débouché dans la construction (en préfabriqués béton) à hauteur de 2 % des flux.

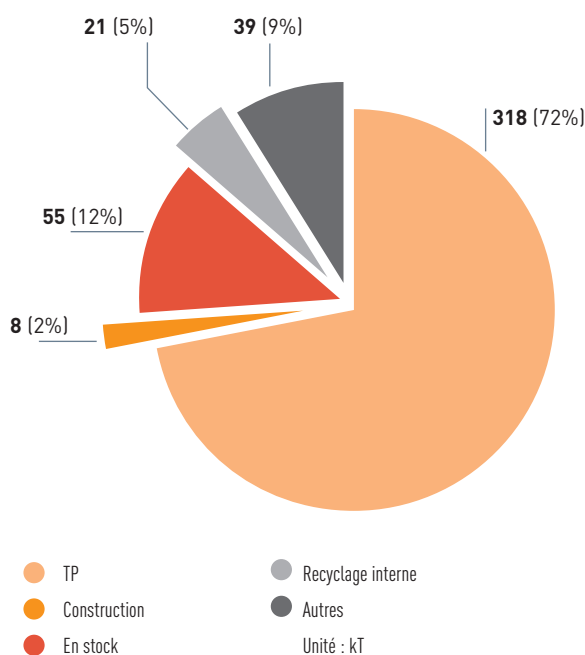


Figure 3

Utilisation des laitiers d'aciérie électrique issus de la filière carbone en 2016

Les laitiers d'aciérie de four électrique issus de la filière aciers inoxydables et alliés (LAFE inox et alliés)

Ils représentent en 2016 11% des tonnages produits sur le territoire, soit environ 0,17 million de tonnes.

Les caractéristiques techniques de ces laitiers étant très similaires à celles des laitiers d'aciérie électrique issus de l'élaboration des aciers carbone, les filières de valorisation restent également assez semblables :

- 80% sont utilisés en technique routière, en net progrès par rapport à 2015
 - 6% en traitement de récupération des fractions métalliques et oxydes des laitiers,
 - 13% vont en stockage interne en attente de débouchés,
 - 1% sont utilisés en recyclage interne.
- Aucun tonnage de ces laitiers n'est orienté vers le stockage réglementé.

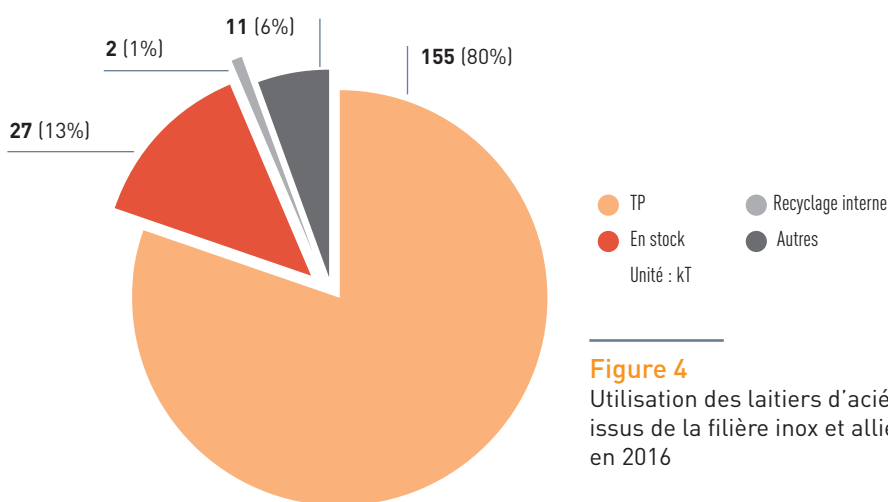


Figure 4

Utilisation des laitiers d'aciérie électrique issus de la filière inox et alliés spéciaux en 2016

Gestion des stocks historiques

A la fin de l'année 2016, les stocks de laitiers recensés restent encore importants à l'échelle du territoire (près de 40 millions de tonnes), en particulier pour les laitiers de haut-fourneau cristallisés issus du passé (XIX^{ème} et XX^{ème} siècles – environ 25 millions de tonnes), ou encore les laitiers de convertisseur issus de la filière fonte (environ 14 à 15 millions de tonnes), stocks auxquels la sidérurgie ne s'est réellement intéressée qu'à partir des années 2000.

En comparaison, et compte tenu de la «jeunesse» des installations concernées (<30 ans), il n'existe que très peu de stocks de laitiers issus de la filière électrique (estimés à environ 1 million de tonnes).

Cependant, compte tenu des besoins et des possibilités locales, plusieurs initiatives sont actuellement en cours sur différents sites sidérurgiques pour l'exploitation de ces stocks historiques. D'ores et déjà, c'est entre 0,7 et 1,0 million de tonnes des laitiers issus de ces «crassiers» qui sont exploités, valorisés et mis sur le marché chaque année, prouvant s'il en est encore besoin, de l'intérêt technique et économique de ces ressources minérales secondaires durables.

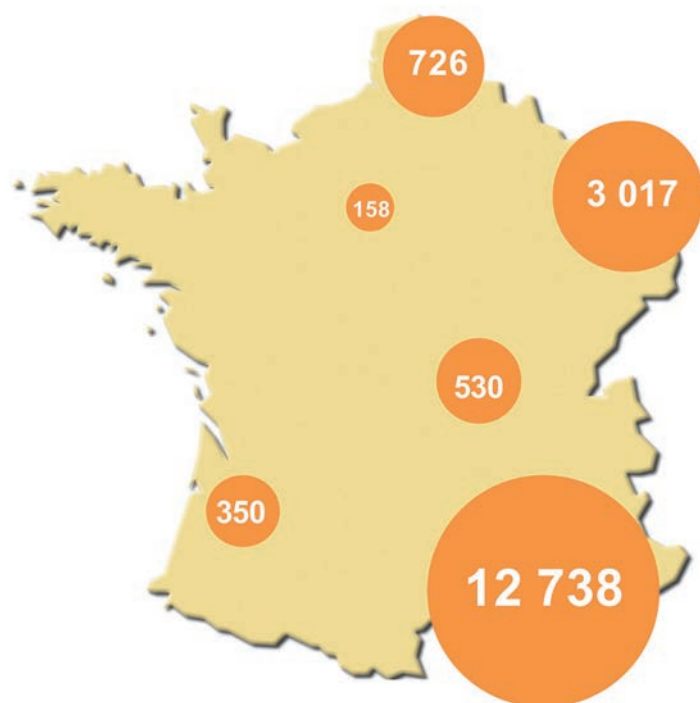


Figure 5

Répartition géographique des stocks de laitiers d'acierie sur le territoire en 2016

● LAC
Unité : kT

Pour plus d'information, vous pourrez évidemment retrouver en ligne la présentation synthétique de ces données sur le site internet du CTPL.

Rendez-vous à l'adresse suivante :

<http://www.ctpl.info/wp-content/uploads/2017/08/Stats-LHF-2016-2015.pdf>

<http://www.ctpl.info/wp-content/uploads/2017/08/Stats-laitiers-acierie-2016-2015.pdf>

Dans les précédents **NUMÉROS...**

N° 99 (avril 2012)

• **Bonne route avec les granulats de laitiers EAF !**

Grèce : Utilisation de laitiers d'aciérie de four électrique en enrobé bitumineux en couche mince anti-dérapante.

Ioannis Liapis : Civil Engineer, BEng, MSc, DIC, PhD Candidate, AEIFOROS SA
Spiraggelos Likoydis : Geologist, Director of P.Y.TH. Laboratory, EGNATIA ODOS SA

• **Laitiers d'aciérie de conversion : sélection à la source !**

Sélection à la source des laitiers d'aciérie de conversion en vue de leur valorisation en technique routière

Julien Waligora : EIFFAGE Travaux Publics, Laboratoire Central Ciry
Michel Measson : EIFFAGE Travaux Publics, Direction Recherche et Développement
David Bulteel : Ecole des Mines de Douai

N° 100

(octobre 2012)

• **Le CTPL, un peu d'histoire**

CTPL : un organisme dédié aux laitiers sidérurgiques

Jacques Reynard : CTPL

• **Des chiffres et des lettres (de noblesse) pour les laitiers**

Evolution de la gestion des laitiers au cours des dix dernières années

Jérémie Domas : CTPL

• **Valorisation des laitiers : cadre juridique**

Etat des lieux juridique et statut des laitiers sidérurgiques

Jacques Reynard : CTPL • **Guide SETRA, à usage des maîtres d'œuvre et des maîtres d'ouvrage**

Le guide SETRA pour l'acceptabilité environnementale des laitiers sidérurgiques en technique routière

Jérémie Domas : CTPL

• **Réalisations remarquables**

• **Les laitiers HF et d'aciérie : quel avenir pour les 20 prochaines années ?**

Perspectives économiques, réglementaires et techniques quant à la valorisation des laitiers sur les 20 prochaines années.

Jean-Marie Delbecq : BSME

N° 101 (juillet 2013)

• **Une valorisation en béton !**

Valorisation en granulats pour béton des laitiers provenant de l'élaboration des aciers inoxydables en filière électrique

Gildas Adegoloye :

L2MGC, Université de Cergy-Pontoise

Anne-Lise Beaucour :

L2MGC, Université de Cergy-Pontoise

Sophie Ortola :

L2MGC, Université de Cergy-Pontoise

Albert Noumowe :

L2MGC, Université de Cergy-Pontoise

• **Analyse du cycle de vie du laitier de haut-fourneau granulé moulu**

Jacques Reynard : CTPL

• **Des laitiers très protecteurs**

Valorisation des laitiers LAFE comme granulats dans des blocs d'enrochement en béton

Benjamin Laclau : Nobatek

Bruno Bouquet : T.S.V.

N° 102 (juin 2014)

• **Les produits laitiers, c'est bon pour la santé !**

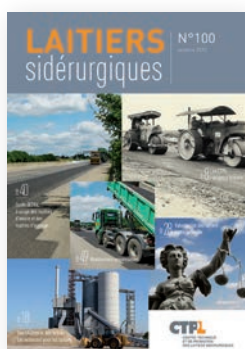
Evaluation des risques pour la santé humaine liés à l'utilisation des laitiers sidérurgiques en construction routière

Dr Deborah Proctor

• **Des laitiers bons pour le service !**

Evaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation de laitiers de convertisseur

Laurent Butez : SGA



N° 103 (octobre 2014)

• Les LAC valorisés pour un retour à la source

Valorisation des laitiers d'aciérie de conversion : influence des conditions de refroidissement sur la nature et la taille des phases minérales

J. Poirier, G. Thévenin, C. Duée, C. Bourgel : CEMHTI, CNRS UPR3079/Université d'Orléans
M. Gautier : INSA de Lyon
D. Poirier : ArcelorMittal Maizières, Research and Development

• Que sont devenus les laitiers en 2013

Production et devenir des laitiers sidérurgiques en 2013 en France.
Jérémie Domas : CTPL

• Des laitiers à fort potentiel

Granulation à sec des laitiers de haut-fourneau avec récupération de chaleur
Ian J McDonald : Siemens VAI
Métaux Technologies, Royaume Uni
Andrea Werner : Siemens VAI
Métaux Technologies, Autriche

N° 104 (mai 2015)

• Avec les LAC, ça pousse !

Amendement des sols. Les laitiers sidérurgiques et leurs usages agricoles : un marché pérenne à fort potentiel.
Marc Fixaris : ArcelorMittal B.S.M.E



• Les laitiers au secours de l'agriculture !

Etats-Unis.
Caractéristiques et apports des laitiers sidérurgiques en usages agricoles.
Mary Provance-Bowley : Harsco Metals and Minerals - Sarver, PA, USA

N° 105 (Octobre 2015)

Eaux en danger !

Les laitiers d'aciérie s'attaquent au phosphore
Chad PENN - Professeur Associé
Oklahoma State University - Department of Plant and Soil Science

• Que sont devenus les laitiers en 2014

Production et devenir des laitiers sidérurgiques en 2014 en France
Jérémie Domas : CTPL

• Eaux usées :

Les laitiers démontrent leur efficacité
Florent Chazarenc - Ecole des Mines de Nantes
Marc Fixaris - ArcelorMittal/BSME

N° 106 (Juin 2016)

• Expansion des laitiers d'aciérie :

à l'ouest, il y a du nouveau !
Utilisation des laitiers sidérurgiques en tant que matériaux granulaires : modèles prédictifs d'expansion volumique et critères d'exploitabilité
George WANG et Yuhong WANG
Department of Construction Management, East Carolina University, Greenville, Etats-Unis
Zhili GAOB
Department of Construction Management and Engineering, North Dakota State University, Fargo, États-Unis

• Des laitiers qui ont du caractère !

Caractérisation de l'expansion des laitiers d'aciérie à l'autoclave
John J. Yzenas Jr.
Edward Levy Company, Dearborn, Michigan - Etats-Unis

N° 107 (Juin 2017)

• Laitiers LD : Ils tiennent la route !

J. Grönniger, M. P. Wistuba et I. Isailović - TU Braunschweig, ISBS, Germany
M. Mauhart - Voestalpine Stahl GmbH, Austria

• En sécurité avec les laitiers d'aciérie de four électrique

N. Jones
Harsco Metals and Minerals, England



LAITIERS
sidérurgiques

www.ctpl.info