

LAITIERS sidérurgiques

N°109

Juin 2018

page 18
LAFE : à chacun
sa personnalité !

page 6 **Actualaitiers**

page 10 **9^{ème} conférence
EUROSLAG :**
Les laitiers sur
trois frontières



page 12 **Radioactivité :**
les LHF aptes pour
la construction

CTPL

CENTRE TECHNIQUE
ET DE PROMOTION
DES LAITIERS SIDÉRURGIQUES

equity



Enfin !

Organisée par l'AFOCO (Association Française des Opérateurs sur CO-produits industriels), la conférence bisannuelle EUROSLAG s'est déroulée à Metz du 11 au 13 octobre 2017 autour du thème de l'opportunité que représente l'Economie Circulaire pour les professionnels producteurs et ceux valorisant les laitiers.

Si la renommée de cet évènement s'étend de plus en plus - on a noté des orateurs venus de Taiwan, des USA, du Brésil et de l'Australie en plus des Européens - les articles présentés à cette occasion démontrent quelque chose d'encore plus important : la prise en compte par les Autorités mondiales des problématiques liées à l'emploi de ces co-produits industriels au plan juridique (statut) et environnemental (limitation des impacts éventuels) avec l'objectif d'en simplifier l'emploi.

En effet, si la deuxième journée s'est focalisée sur des présentations techniques «classiques» (caractérisation, process, performances des laitiers), la première journée était, elle, consacrée à un état des lieux de la législation, des règles et des normes en Europe - avec la présence et l'intervention d'un représentant de la Commission Européenne - ainsi qu'à un survol de la situation française que le CTPL a présentée.

S'il n'est pas dans mes habitudes de faire de l'autosatisfaction, cette conférence a clairement démontré l'évolution de la considération accordée aux laitiers sidérurgiques au plan mondial et européen : ils semblent (enfin !) considérés comme des gisements de ressources à part entière pour les travaux publics, l'agriculture et de multiples autres usages, et les diverses Administrations concernées travaillent à la mise en œuvre des cadres juridiques et réglementaires nécessaires à la simplification et à la sécurisation de leur emploi dans tous les domaines.

Autre source de satisfaction : l'implication de l'Administration française et son leadership dans ce domaine.

Cocorico !

Jacques Reynard
Président du CTPL



page **10** **9^{ème} conférence EUROSLAG :
Les laitiers sur trois frontières**

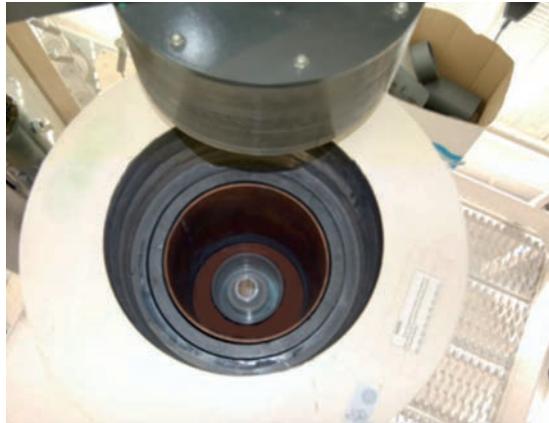
L'association européenne des producteurs et opérateurs de laitiers, EUROSLAG, a tenu sa neuvième conférence les 11, 12 et 13 octobre 2017 à Metz, dans les locaux prestigieux de l'Arsenal, avec la collaboration de l'AFOCO.

Rassemblant plus de 200 participants issus de 23 pays, cette conférence a permis aux experts mondiaux présents de proposer, à travers 22 publications, des communications à haute valeur réglementaire, technique et scientifique sur le traitement et les filières de valorisation des laitiers sidérurgiques.

Le CTPL a, pour sa part, présenté lors de cette conférence le contexte français de la réglementation sur les laitiers sidérurgiques, avec un focus sur la problématique du statut juridique des laitiers et les démarches engagées en France par la profession pour permettre une sortie du statut de déchets.

Radioactivité : les LHF aptes pour la construction

La limitation du taux de radioactivité naturelle dans un matériau de construction introduit par la directive Euratom 2013-59 peut impacter la mise sur le marché des laitiers de haut-fourneau. Le seuil introduit par la directive est remarquablement bas, et la spectrométrie gamma, utilisée habituellement pour mesurer les activités, engendre des incertitudes trop élevées pour prendre une décision quant à la mise sur le marché des laitiers de haut-fourneau comme matériaux de construction.



Le laboratoire Subatech a développé une méthode fiable et précise basée sur la norme NF ISO 18589-3. Nous avons appliqué cette méthode sur les laitiers de haut-fourneau produits en Europe par ArcelorMittal, à travers un échantillonnage dans différentes usines et grâce à une étude sur le long terme dans une usine en particulier.

Par rapport à la spectrométrie gamma standard, nous avons obtenu des incertitudes améliorées d'un facteur quasiment de 4. Nous avons démontré que les laitiers de haut-fourneau pouvaient être mis sur le marché librement comme matériaux de construction même s'ils sont utilisés purs.

*P. GAUJE - ArcelorMittal France, Global Research and Development, Maizières Process
F. HANROT - ArcelorMittal Luxembourg, European Procurement Organisation - By-Products Sales
M. B. MOKILI, M. BAILLY, I. DENIAU - Laboratoire Subatech*

LAFE : à chacun sa personnalité !



Grâce à leurs propriétés mécaniques et leur durabilité, les laitiers d'aciérie de four électrique peuvent être utilisés dans la fabrication des bétons et confèrent à ceux-ci des caractéristiques parfois même supérieures à ceux produits à partir de granulats naturels et traditionnels. Pour autant, il n'existe pas encore de norme qui définisse clairement leurs usages, l'un des principaux obstacles résidant dans les caractéristiques hétérogènes de ce type de matériau.

Ainsi, cet article présente l'analyse comparative de deux laitiers d'aciérie de four électrique, l'un italien, l'autre espagnol.

Si ces deux laitiers se révèlent bien aptes à entrer dans la fabrication du béton, leurs propriétés influencent celles du béton produit, orientant ainsi son utilisation vers des ouvrages de nature différente.

*Amaia SANTAMARÍA, José Tomás SAN JOSÉ, Javier Jesús GONZÁLEZ - UPV/EHU
Flora FALESCHINI, Carlo PELLEGRINO - DICEA-UNIPD*

LAITIERS SIDERURGIQUES

72^{ème} année
Revue éditée et diffusée
gratuitement par le CTPL

Directeur de la publication

Jérémie 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 :
2^{ème} trimestre 2018

Fonctionnement du CTPL

Réunions du CA et AG du CTPL

Les dernières réunions du Conseil d'Administration (CA) et de l'Assemblée Générale (AG) du CTPL se sont tenues le jeudi 5 avril 2018 dans les locaux de l'A3M, rue de l'Amiral Hamelin à Paris. L'occasion de faire le point avec nos Administrateurs et les Adhérents présents sur les actions techniques, réglementaires et normatives réalisées au cours de l'année 2017 au travers de la présentation du rapport d'activités, et de proposer les principaux axes de travail et pistes de réflexion, ainsi que les aspects budgétaires envisagés 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. La prochaine réunion du Conseil d'Administration se tiendra au mois de novembre 2018.

International

Conseil d'Administration d'EUROSLAG

Une réunion avancée du Conseil d'Administration d'EUROSLAG s'est tenue le mardi 3 mai dernier à Düsseldorf. L'objectif a été d'échanger sur les principes de base d'une réorganisation technique, administrative et financière des actions d'EUROSLAG. M. Jérémie DOMAS y a participé afin de faire valoir l'expérience du CTPL et l'approche que la France soutiendrait.

Réunion des Groupes de Travail d'EUROSLAG

Une réunion des Adhérents de l'Association européenne des producteurs et opérateurs de laitiers sidérurgiques, EUROSLAG, s'est tenue le jeudi 17 mai 2018 au FEhS à Duisbourg. L'occasion pour le CTPL de faire le point avec l'ensemble des acteurs européens de la profession des laitiers sur les problématiques normatives et régle-

mentaires, mais aussi d'échanger sur les actions techniques en cours au sein des Etats Membres de l'UE.

A cette occasion, EUROFER a été invité (M. Aurelio Braconi) afin de présenter le contexte technico-réglementaire européen auquel la profession des laitiers doit et devra faire face au cours des prochaines années.

Conférence EUROSLAG

La 10^{ème} conférence européenne sur les laitiers, organisée par EUROSLAG, se tiendra en Grèce à Thessalonique du 9 au 11 octobre 2019. Elle sera organisée en partenariat avec le Centre de recherches universitaires Aristote de Thessalonique.

Un rendez vous à noter dès à présent sur vos agendas, afin de venir partager vos expériences et rencontrer la communauté des experts internationaux impliqués dans la gestion et la valorisation des laitiers sidérurgiques.

www.euroslag.com

Congrès annuel de la N.S.A.

La National Slag Association, l'association des producteurs et des opérateurs sur laitiers aux Etats Unis, fête son 100^{ème} anniversaire entre le 3 et le 7 septembre 2018. 100 ans au service des laitiers !..., l'occasion de se retourner sur le travail accompli outre-manche lors de cette réunion annuelle qui se tiendra au Gaylord National Resort, à Oxon Hill, près de Washington. Le CTPL participera à ce Congrès, afin d'échanger avec nos homologues américains, et de diffuser les bonnes pratiques mises en œuvre en France au cours de ces 10 dernières années à l'initiative du CTPL.

Congrès européen sur les terrassements

Du 19 au 20 avril 2018 s'est tenu à Madrid le 4^{ème} séminaire européen consacré aux Terrassements. Cette manifestation, organisée sous l'égide de l'AIPCR (Association mondiale de la route), a été l'occasion pour le CTPL de présenter le retour d'expérience français dans le domaine de l'emploi des laitiers sidérurgiques en Terrassements.

Réglementation nationale et européenne

Feuille de route relative à l'économie circulaire

Le 23 avril dernier, le Premier Ministre Edouard Philippe a présenté la Feuille de Route Economie Circulaire (FREC). Le texte final comprend 50 mesures réparties en quatre thèmes :

- Une feuille de route pour mieux produire,
- Une feuille de route pour mieux consommer,
- Une feuille de route pour mieux gérer nos déchets,
- Une feuille de route pour mobiliser tous les acteurs.

A ce stade, la FREC publiée par le Ministère de l'Ecologie reste très générique et il faudra être particulièrement attentif à ce que les mesures retenues puissent se concrétiser par des actions pragmatiques pour les industriels. Ceci est en particulier vrai pour les mesures suivantes :

- Adapter la fiscalité pour rendre la valorisation des déchets moins chère, donc plus intéressante, que leur élimination (stockage en particulier),
- Développer, d'ici 2020, des guides techniques permettant la reconnaissance des performances des matériaux réutilisés ou réemployés,
- Adapter la réglementation relative aux déchets pour favoriser l'économie circulaire,
- Faciliter la sortie du statut déchet.

Pour plus d'informations, vous pouvez vous rendre sur le site du Ministère de l'Ecologie pour télécharger le document complet :

<https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/feuille-route-economie-circulaire-frec>.

Statut juridique des laitiers sidérurgiques

Depuis la publication de notre dernier numéro (N°108, décembre 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 finalisation 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 (filiales convertisseur et électrique) utilisés en technique routière et en travaux publics a été finalisé. Un premier projet d'arrêté ministériel définissant les conditions et les critères de SSD des laitiers utilisés pour ces usages a été rédigé. 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 évoluer et décliner les principes mêmes de la politique nationale sur l'Economie Circulaire.

Révision du guide SETRA

En parallèle de notre dossier de demande de SSD pour les laitiers sidérurgiques utilisés en technique routière et en TP, le CTPL a demandé la révision du guide SETRA d'acceptabilité environnementale pour les laitiers paru en 2012. Cette procédure vise à permettre d'harmoniser les pratiques avec les autres matériaux alternatifs et d'intégrer la note du Ministère adressée aux DREAL en 2016, justifiant l'élargissement de l'application du guide.

Cette révision apparaît complexe compte tenu du plan de charge de l'Administration, sollicitée par ailleurs pour d'autres gisements de matériaux alternatifs.

Ce processus de révision du guide doit également permettre d'éclaircir l'articulation entre les démarches, d'un côté une valorisation sous statut déchet, de l'autre un usage de ressources ayant bénéficié d'une procédure et d'un suivi de SSD.

SRC - Schémas régionaux des carrières

Les régions françaises ont l'obligation de mettre en place pour 2020 leurs schémas des carrières incluant les ressources « alternatives ». A cette fin, les laitiers sidérurgiques sont intégrés dans le processus. Si certaines régions ont déjà commencé en sollicitant les différents acteurs (Rhône-Alpes Auvergne, PACA) d'autres doivent encore lancer la démarche (Hauts-de-France, Grand Est).

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 (méthodologique), destiné à l'emploi de matériaux alternatifs dans la construction dans le milieu du bâtiment. La démarche n'en est encore qu'aux prémices et trois réunions des parties prenantes ont eu lieu en décembre 2017, puis en mars et au mois de mai 2018.

On y voit aujourd'hui un peu plus clair sur la démarche méthodologique proposée pour encadrer l'acceptabilité environnementale et sanitaire des matériaux alternatifs utilisés dans des usages de construction.

Cependant, bon nombre de questions restent encore en suspens. Il reste en particulier à éclaircir le contexte général de ces travaux, et l'articulation de ces travaux avec les futures exigences relatives aux substances dangereuses réglementées (SDR) potentiellement émises par les produits de construction, ainsi que sur les scénarios et les voies d'exposition pertinentes à retenir dans le cadre de cette approche.

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).

Compte tenu de la difficulté des travaux engagés, la tenue de la prochaine Assemblée Générale du RFSC a été repoussée au 11 octobre 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 ont ainsi démarré depuis le début de l'année les discussions en « trilogue », afin de trouver un compromis pour la publication de ce nouveau Règlement, qui ne sera sans doute pas applicable avant le début de l'année 2020.

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 la Bulgarie (janvier-juin 2018) qui l'occupe encore pour quelques semaines. 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) suivront.

Des modifications importantes sont attendues par rapport à la version de 2003, en particulier sur les spécifications pour les catégories (PFC), l'incorporation de valeurs limite en éléments traces, la prise en compte de la sortie du statut de déchets, ou l'utilisation comme matières premières (CMC) des co-produits industriels. Cependant, rien n'est encore figé et les discussions en cours sont intenses !

Normalisation

CEN/TC 51 - Ciment et liants hydrauliques

Les travaux du TC51 ont longtemps été perturbés par la révision du mandat M/114 et par les conséquences que cela a entraîné sur l'annexe ZA et le marquage CE de la norme EN 197-1. La situation semble enfin se débloquer en 2018, avec la parution d'un nouveau mandat. Cela va permettre de régler les situations de blocage au niveau des annexes ZA des normes harmonisées régissant le marquage CE. En ce qui concerne les groupes de travail qui nous touchent davantage, une réunion du CEN/TC 51/WG14 sur les LHR est prévue en novembre à Madrid.

CEN/TC104 - Bétons

Le mandat qui concerne ces travaux est le M/128 « Produits pour bétons, mortiers, coulis et produits connexes ». Le CTPL est concerné au niveau européen par deux sous-groupes :

- TC 104/TG5 « Additions de type II » : Les travaux de ce task group étant achevés, ce groupe a été mis en sommeil.
- TC104/WG15 « Laitiers de haut-fourneau granulés » : Ce groupe de travail a reçu le mandat d'améliorer la norme EN 15167-1 relative aux laitiers de HF moulus utilisés en bétons, mortiers et coulis. Il ne s'est pas réuni en 2017 mais pourrait être réactivé en 2018.

En France, l'actualité est dominée par :

- La candidature de la France pour reprendre le secrétariat du TC104/SC1 suite à l'abandon par le DIN, ce qui aurait des conséquences potentielles importantes en termes de coûts de normalisation pour les participants à ces travaux.
- La révision éventuelle de la norme NF EN 206-1, norme non harmonisée d'application volontaire, et remise en cause par le CEN pour des questions formelles.

CEN/TC154 - Granulats

Le mandat européen M/125 n'appelle pas pour l'instant de travaux particuliers. Les groupes de travail qui nous concernent plus particulièrement portent sur :

• WG10 : enrochements, avec les travaux de révision de la norme EN 13383-1, dont le marquage CE à l'heure actuelle considéré pour les usages hydrauliques doit évoluer vers d'autres applications, en particulier le soutènement.

• WG12 : granulats produits à partir de ressources secondaires. En sommeil en 2017, ce groupe de travail redémarre en 2018. Les travaux sont importants car la nomenclature sur laquelle ce groupe fonctionne sert de référence pour d'autres TC (terrassements notamment).

• WG13 : substances dangereuses, en lien avec les travaux du TC 351.

En France, la commission Granulats, dépendant du BNTRA (comme celles des Assises de Chaussées et des Terrassements), va voir son fonctionnement modifié en 2019 par un système de participation financière basé sur des « jetons de présence ».

CEN/TC227 - Assises de chaussées

Le mandat M/124 lié aux produits de construction pour la route est un peu plus éloigné de nos préoccupations immédiates. En France, l'actualité est calme ces derniers mois. La commission Assises de Chaussées ne s'étant réunie qu'une fois en 2017, et une fois depuis début 2018. L'actualité est dominée par la révision de la norme NF P 98-086 sur le dimensionnement des chaussées, qui intègre des nouvelles dispositions pour les aspects liés à la gélivité.

CEN/TC396 - Terrassements

L'actualité est dominée par :

• La mise au vote formel des normes de la série EN 16907, définissant les terrassements à travers : la nomenclature, les méthodes d'exécutions, les plans de contrôles. Les 6 parties ont reçu un vote favorable fin avril et vont donc rentrer en application. A noter qu'elles ne sont pas harmonisées, ce qui laisse un degré de liberté pour les états membres de faire valoir leur expérience.

• Le séminaire européen sur les terrassements des 19 - 20 avril à Madrid qui a consacré une part importante à

la normalisation et à des sujets plus en lien avec les développements de la discipline.

• Les travaux du TC396/WG7, consacré aux matériaux alternatifs en terrassements. Le CTPL participe au groupe miroir français et au groupe européen. La mission est la rédaction d'un TR (Technical report) qui doit faire l'état des lieux en la matière au niveau européen.

• La révision du GTR : Suite à la publication des normes européennes, l'Administration française (DGITM) a passé commande au CEREMA pour engager des travaux de révision du GTR afin de proposer d'ici fin 2019 un document remis à jour. Une réunion de lancement par le CEREMA a eu lieu en avril avec les différents intervenants concernés.

D.T.U. 13.3 - Dallages industriels

Le DTU 13.3, qui est un document à usage du bâtiment, engageant les responsabilités liées à la garantie décennale est entré dans un processus de révision en 2017 avec un objectif de mise au vote en 2018. Le CTPL intervient dans la commission de normalisation pilotée par le BN TEC pour faire évoluer les pratiques en matière de choix des matériaux destinés à la forme sous dallage. Plusieurs réunions ont déjà eu lieu et les travaux d'une grande complexité avancent avec une fin vraisemblable pour la fin de l'année 2018.

Modification du fonctionnement du BN TRA

Le BN TRA, qui est un bureau de normalisation sectoriel, et qui a reçu délégation de l'AFNOR le mandat de normaliser sur des secteurs essentiellement liés au transport va voir son fonctionnement modifié dans les prochaines années.

La gouvernance va changer, ainsi que les modalités de participation aux commissions de normalisation qui en dépendent. Cela va se traduire par un système de droit de sièges, proportionnels au nombre d'experts représentés et aux commissions suivies. Pour le CTPL, elles sont au nombre de trois :

Granulats, Assises de Chaussées et Terrassements. L'impact sera financier, mais risque à terme de changer la manière dont les différents acteurs seront représentés dans ces commissions.

CEN/TC 260 - Engrais et amendements minéraux basiques

Les travaux français du BN FERTI ont permis la révision et la publication en septembre 2017 de la norme française NF U44-001 relative aux Amendements Minéraux Basiques (AMB). Malheureusement ce texte, contrairement à son pendant européen NF EN 14069 pré-publié en novembre 2017 (Amendements minéraux basiques - Dénominations, spécifications et étiquetage), n'inclut que les laitiers d'aciérie de conversion moulus, et pas ces mêmes laitiers d'aciérie de conversion simplement criblés.

L'harmonisation des spécifications n'est pas non plus parfaite en ce qui concerne les valeurs limites en éléments traces, où par exemple la norme européenne propose une valeur limite en chrome hexavalent de 2 mg/kg, alors que la norme française retient 4 mg/kg.

La publication au journal officiel de la norme NF U44-001, publiée en septembre 2017, était attendue au 1^{er} janvier 2018, mais elle a été repoussée au 1^{er} juillet 2018 pour sa mise en application obligatoire. Le Ministère de l'Agriculture (MAAF) est en cours de signature de l'arrêté.

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

WG1 - Emission de SDR dans les eaux et les sols

La prochaine réunion du WG1 aura lieu à Berlin les 19 et 20 juin prochains au DIN. L'objectif sera d'examiner l'ensemble des résultats de l'étude interlaboratoire de validation des normes de lixiviation (et d'analyse) qui permettront d'entériner les textes sous le statut de normes EN.

WG3 - Radioactivité des Produits de Construction

Un projet de norme a été proposé concernant l'évaluation de la dose de l'émission de rayonnement gamma. Les travaux devraient commencer au second semestre 2018.

Un rapport technique devrait être prochainement rédigé quant aux méthodes alternatives utilisables pour quantifier les concentrations d'activité des radioéléments 226Ra, 232Th et 40K par spectrométrie de rayons gamma (γ). Ces travaux démarreront également au second semestre 2018.

Communication

IDRRIM

L'IDRRIM a présenté lors de sa dernière Assemblée Générale du 24 mai dernier ses actions pour l'année 2017 écoulée ainsi que les démarches futures pour 2018. A noter les projets de parution de guides méthodologiques et la mise en place de l'Observatoire National de la Route. Le CTPL participe au Comité Méthodologie et au Comité Avis. Le Congrès de l'IDRRIM aura lieu à Lille en octobre prochain.

Le CTPL sur les réseaux ...

Le CTPL a publié sur LinkedIn un post sur son intervention au congrès européen sur les Terrassements de Madrid en avril et a eu l'heureuse surprise de constater qu'il avait été vu par 662 personnes 2 semaines après sa parution. Ce type de données est de nature à faire réfléchir quant à une complémentarité de communication entre le site internet, la revue LS et un vecteur comme LinkedIn manifestement très fréquenté par la communauté professionnelle.

Le site Internet www.ctpl.info joue également la carte de la mutualisation avec nos partenaires (Euroslag, Afoco) en maintenant des liens renvoyant vers leurs manifestations.

Dans une démarche d'ouverture et de promotion, le CTPL publie sur son site une base de données à jour recensant les Fiches Techniques Produits des lai-

tiers mis en vente par nos adhérents. Le but est de mettre en relation des donneurs d'ordre ou des entrepreneurs désireux de travailler avec ces matériaux avec des industriels qui en proposent. Cette base de données est régulièrement mise à jour.

Formation

Depuis le mois de mars, le CTPL encadre un stagiaire en dernière année d'école d'ingénieur (Ecole des Mines de Douai), qui vient renforcer l'équipe sur des sujets de R&D susceptibles d'intéresser toute la profession.

Cette participation s'inscrit dans la volonté du CTPL de mettre davantage l'accent sur les missions techniques dans les années à venir.



Les laitiers sur trois frontières

L'association européenne des producteurs et opérateurs de laitiers, EUROSLAG, a tenu sa neuvième conférence les 11, 12 et 13 octobre 2017 à Metz, dans les locaux prestigieux de l'Arsenal, avec la collaboration de l'AFOCO.

Deux ans après la manifestation précédente, tenue en Autriche sur le site industriel de Voestalpine, cette neuvième édition a rassemblé plus de 200 participants issus de 23 pays à travers le monde : Europe, Afrique, Asie, Amériques... etc.

Cette conférence, ouverte à un large public, a permis aux experts mondiaux présents de proposer, à travers 22 publications, des communications à haute valeur réglementaire, technique et scientifique sur le traitement et les filières de valorisation des laitiers sidérurgiques.

Les interventions étaient réparties en quatre sessions au cours des 11 et 12 octobre :

- **Session n°1** : Etat des lieux de la législation, des règlements et des normes en Europe,

- **Session n°2** : Processus de passage du statut de « co-produit » au « produit », reconnu et certifié,

- **Session n°3** : Caractérisation des laitiers, état des lieux de la recherche et des études en cours,

- **Session n°4** : Nouvelles techniques, nouveaux marchés.

Les sujets abordés au cours des différentes présentations par les intervenants ont ainsi été très diversifiés, en partant du contexte réglementaire européen (2 interventions de représentants de la Commission Européenne), en passant par des exemples concrets d'utilisation des laitiers sidérurgiques, sans oublier les dernières avancées en matière de recherche et développement et les nouvelles perspectives d'utilisation.

Le CTPL a, pour sa part, présenté lors de cette conférence le contexte français de la réglementation sur les laitiers sidérurgiques, avec

un focus sur la problématique du statut juridique des laitiers et les démarches engagées en France par la profession pour permettre une sortie du statut de déchets.

Les intervenants ont démontré à travers leur contribution le rôle très positif des laitiers dans des domaines aussi différents que les



travaux publics, l'agriculture, l'environnement et la construction. Pour faire face au double défi environnemental que constituent à la fois l'économie circulaire et l'impact potentiel sur les milieux naturels de l'utilisation des laitiers, les experts ont apporté des éléments concrets de nature à rassurer les donneurs d'ordre du bien fondé de la démarche et de la pérennité technique et environnementale de ces filières.

La recherche dans ce domaine est très active. De nombreux travaux en cours et à venir sont entrepris pour améliorer la connaissance relative aux propriétés des laitiers sidérurgiques, qui demeurent des substances complexes. Des nouveaux marchés sont en cours d'exploration et permettent d'envisager des développements prometteurs.

S'il est un secteur prometteur parmi les différents emplois des laitiers présentés lors de la neuvième conférence EUROSLAG, c'est sans doute celui de la construction.

Par construction, il faut entendre plus spécifiquement l'utilisation des laitiers en tant que matériaux manufacturés employés dans les techniques de génie civil comme les bétons, ou encore les éléments préfabriqués à usage du bâtiment ou de l'aménagement.

Les deux articles retenus pour ce numéro par le Comité Editorial de la revue Laitiers Sidérurgiques illustrent certaines des étapes à franchir pour les laitiers qui, bien qu'étant des granulats artificiels, stables et résistants, n'en sont pas moins sujets à des essais complémentaires indispensables pour déterminer leur aptitude d'emploi.

Le premier article aborde le sujet de la radioactivité naturelle des laitiers de haut-fourneau, compte tenu des radioéléments naturellement présents dans les minerais de fer et le charbon utilisés comme matières premières dans le process sidérurgique. La Directive EURATOM 2013-59 a introduit des seuils de référence rendant la quantification de la radioactivité difficile en raison des faibles valeurs et de l'imprécision qui en résulte. L'article illustre les moyens d'y remédier et les conséquences positives pour les laitiers de haut-fourneau.

Le deuxième article s'attache à la comparaison de deux granulats d'aciérie de four électrique. Ce mode de production, bien représenté en Europe, permet d'obtenir des granulats de laitier avec des propriétés mécaniques remarquables. Bien que les procédés soient analogues en théorie, les différences de matières premières, ou de process, peuvent avoir un impact sur les propriétés avales des laitiers, et les orienter vers des usages déterminés.

En parallèle, ce type de manifestation est aussi un lieu privilégié d'échanges informels entre les sessions, où les participants nouent des contacts pour des collaborations techniques, industrielles ou commerciales futures.



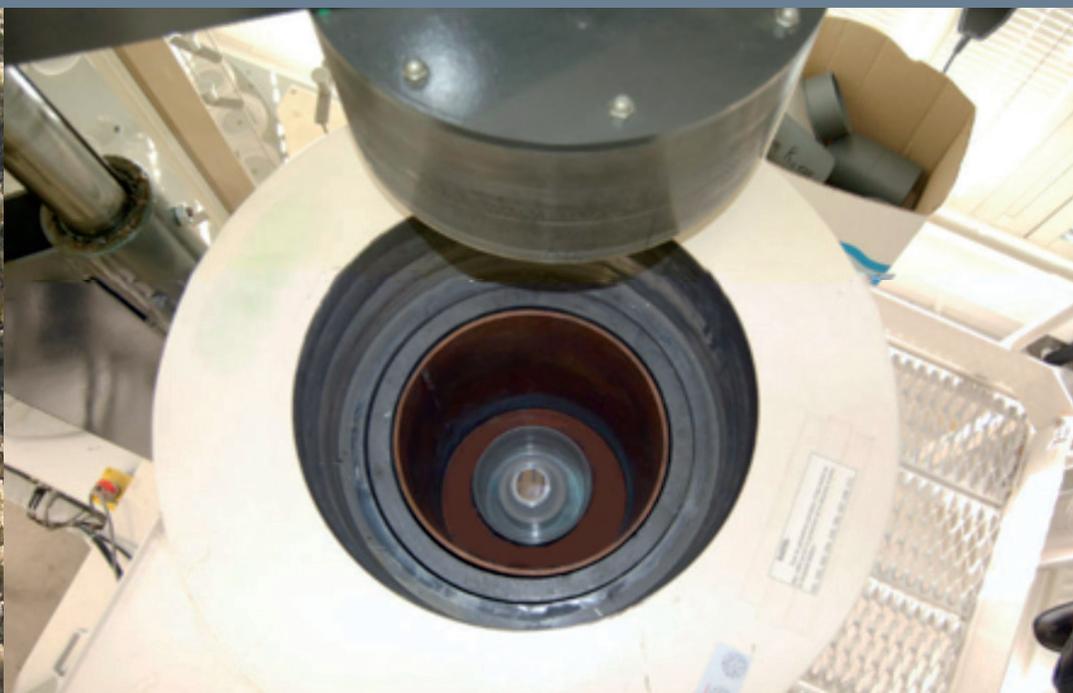
Le choix de Metz, au cœur de la Lorraine, a permis également de profiter de la présence d'un riche patrimoine industriel permettant aux congressistes de visiter des sites variés :

- crassier de laitiers historiques exploité par la société SLAG,
- Site sidérurgique de SAINT GOBAIN Pont-à-Mousson, où l'activité passée et présente témoigne de la pertinence de l'emploi des laitiers depuis de longues années.

Cette édition, qui a rencontré un vif succès, sera suivie en 2019 d'une prochaine conférence où le CTPL sera présent pour continuer de promouvoir les laitiers sidérurgiques et les actions engagées par la profession en France.

Radioactivité :

les LHF aptes pour la construction



La limitation du taux de radioactivité naturelle dans un matériau de construction introduit par la directive Euratom 2013-59 peut impacter la mise sur le marché des laitiers de haut-fourneau. Le seuil introduit par la directive est remarquablement bas, et la spectrométrie gamma, utilisée habituellement pour mesurer les activités, engendre des incertitudes trop élevées pour prendre une décision quant à la mise sur le marché des laitiers de haut-fourneau comme matériaux de construction. Le laboratoire Subatech a développé une méthode fiable et précise basée sur la norme NF ISO 18589-3. Nous avons appliqué cette méthode sur les laitiers de haut-fourneau produits en Europe par ArcelorMittal, à travers un échantillonnage dans différentes usines et grâce à une étude sur le long terme dans une usine en particulier.

Par rapport à la spectrométrie gamma standard, nous avons obtenu des incertitudes améliorées d'un facteur quasiment de 4. Nous avons démontré que les laitiers de haut-fourneau pouvaient être mis sur le marché librement comme matériaux de construction même s'ils sont utilisés purs.

P. GAUJE

ArcelorMittal France, Global Research and Development, Maizières Process

F. HANROT

ArcelorMittal Luxembourg, European Procurement Organisation - By-Products Sales

M. B. MOKILI, M. BAILLY, I. DENIAU

Laboratoire Subatech

RÉGLEMENTATION

La radioactivité naturelle des laitiers de haut-fourneau peut-elle être un frein à leur mise sur le marché comme matériau de construction ?

Introduction

La réglementation sur la radio-protection a été modifiée dans la Communauté européenne. Les problèmes en relation avec la radio activité naturelle sont amenés à être pris en compte plus rigoureusement. Les matériaux de construction feront en particulier l'objet de réglementations spécifiques dans le but de limiter les doses reçues par les occupants des bâtiments.

Les laitiers de haut-fourneau contiennent de la radioactivité naturelle, ils peuvent être qualifiés de matière première dont la concentration en radionucléides a été accrue par un procédé industriel (TENORM en anglais).

Ainsi, leur utilisation en tant que matériaux de construction pourrait être limitée par les nouvelles réglementations. Pourtant, les concentrations d'activité des laitiers sont basses et par conséquent difficiles à mesurer. Les mesures disponibles ne permettent pas de tirer des conclusions fiables quant leur utilisation comme matériaux de construction.

L'étude présentée dans cet article a été réalisée par ArcelorMittal en collaboration avec Subatech pour mieux comprendre le problème, améliorer la qualité des mesures et avant tout, accumuler suffisamment de mesures fiables pour conclure quant à l'utilisation des laitiers de haut-fourneau en tant que matériaux de construction.

Contexte réglementaire

La nouvelle directive

EURATOM 2013-59

L'ambition de cette nouvelle directive Euratom (l'ancienne étant la 1996-29) était de mettre à jour la réglementation et de rassembler différents textes initialement séparés. Pour les matériaux de construction, la directive européenne incorpore une part

importante du document RP112 : les principes de radioprotection concernant la radioactivité naturelle des matériaux de construction. Le document RP112 était initialement un guide pour la radio protection. Il devient maintenant un texte réglementaire et doit être transposé dans la législation des états membres avant février 2018.

Le but de cette partie de la directive est de prévenir le risque d'exposition des personnes dû à la présence de radionucléides naturels dans les matériaux de construction. L'exposition est produite par deux causes :

- Le rayonnement gamma émis par les radionucléides contenus dans les matériaux
- Le dégagement de radon en provenance du sol et secondairement des matériaux.

Pour le radon, la réglementation définit une concentration maximale de radon dans l'atmosphère du bâtiment de 300 Bq/m³. La concentration de radon dépend de la quantité dégagée par le sol, à laquelle se rajoute une quantité moindre émise par les matériaux de construction. L'ensemble se retrouve diminué proportionnellement au taux de renouvellement d'air produit par la ventilation. Comme la concentration en radon dépend de plusieurs facteurs, cette concentration limite ne se retrouve pas dans une imposition particulière pour les matériaux de construction.

Pour le rayonnement gamma, par contre, le RP112 introduit un indice d'activité qui est incorporé dans la directive. Cet index est défini à partir des activités massiques du radium ²²⁶Ra, thorium ²³²Th et potassium 40K à travers la formule :

$$I = \frac{\text{Activité}^{(226\text{Ra})}}{300} + \frac{\text{Activité}^{(232\text{Th})}}{200} + \frac{\text{Activité}^{(40\text{K})}}{3000}$$

Les matériaux avec un index inférieur à 1 peuvent être mis sur le marché sans restriction. Les autres doivent être sujets à des restrictions spécifiques définies par les états

membres. Un logement construit avec des matériaux d'un index inférieur à 1 assure à leurs occupants qu'ils ne recevront jamais une dose excédant la limite définie pour le public : 1 mSv/an (millisievert). Cette valeur est considérée à travers le monde et particulièrement dans la communauté européenne comme un niveau de risque acceptable. Elle peut être comparée à la dose annuelle moyenne reçue en France par une personne du public exposée à un rayonnement naturel et à des examens médicaux : 2,4 mSv/an.

Méthodes pour mesurer la radioactivité naturelle contenue dans les matériaux de construction

Les activités massiques contenues dans les matériaux de construction sont basses ; par conséquent, obtenir des mesures précises demeure délicat.

Spectrométrie gamma classique

Habituellement, la détermination des trois isotopes utilisés pour calculer l'index est réalisée sur un échantillon par spectrométrie gamma. Avec cette technique, le résultat obtenu pour l'index I montre une séparation claire entre les matériaux naturels les plus

communs et ceux obtenus par recyclage en provenance d'un process industriel : cendres volantes de charbon, phosphogypse, laitier de haut-fourneau. Le tableau 1 ci-dessous reproduit les valeurs collectées par la publication RP112. On peut considérer que si la valeur unitaire de l'index est prise comme la limite de la mise sur le marché sans restriction, les produits recyclés ne peuvent être mis sur le marché librement sur la base de ces mesures.

Dans le cas des laitiers de haut-fourneau, la spectrométrie gamma est relativement imprécise, en raison des faibles taux d'émission des raies gamma utilisées pour la détermination et parce qu'il y a des interférences avec les raies émises par d'autres isotopes. En particulier, la détermination du contenu en radium ²²⁶Ra est sujette à une incertitude élevée associée à une surévaluation.

La Spectrométrie gamma avec recroissance

La figure 1 ci-contre illustre la chaîne radioactive de l'uranium ²³⁸U, une des chaînes naturelles avec celle du thorium ²³²Th et celle de l'uranium ²³⁵U. Chaque isotope dans la chaîne se désintègre en produisant un isotope de désintégration, qui se désintègre à son tour... jusqu'à la forme stable du plomb ²⁰⁶Pb.

Tableau 1
Valeurs d'index I
publiées dans le
document RP112

MATERIAU	TYPICAL ACTIVITY CONCENTRATION (Bq kg ⁻¹)			MAXIMUM ACTIVITY CONCENTRATION (Bq kg ⁻¹)			TYPICAL I VALUE	MAXIMUM I VALUE
	226Ra	232Th	40K	226Ra	232Th	40K		
Matériaux de construction les plus courants								
Béton	40	30	400	240	190	1600	0,42	2,28
Béton aéré et léger	60	40	430	2600	190	1600	0,54	10,15
Briques d'argile (rouge)	50	50	670	200	200	2000	0,64	2,33
Briques de sable et de chaux	10	10	330	25	30	700	0,19	0,47
Pierres de construction naturelles	60	60	640	500	310	4000	0,71	4,55
Gypse naturel	10	10	80	70	100	200	0,11	0,80
Phosphogypse	390	20	60	1100	160	300	1,42	4,57
Laitier de haut-fourneau	270	70	240	2100	340	1000	1,33	9,03
Cendre volante de charbon	180	100	650	1100	300	1500	1,32	5,67

Chaque isotope se désintègre avec une période spécifique, indiquée en année (a/y), jours (j/d) heures (h), minutes (m) et secondes (s) sur la figure.

Pour un matériau naturel au repos, la chaîne est définie comme étant en équilibre séculaire. Les activités de chaque isotope sont identiques.

Partie 3 : Méthode d'essai par spectrométrie gamma pour les radionucléides émettant des rayonnements gamma » publiée en 2015.

Dans cette méthode, l'échantillon est scellé dans un container. Le radon ^{222}Rn produit par le radium ^{226}Ra est confiné et désintégré localement, produisant du plomb en particulier du ^{214}Pb . Ce dernier isotope produit un rayon-

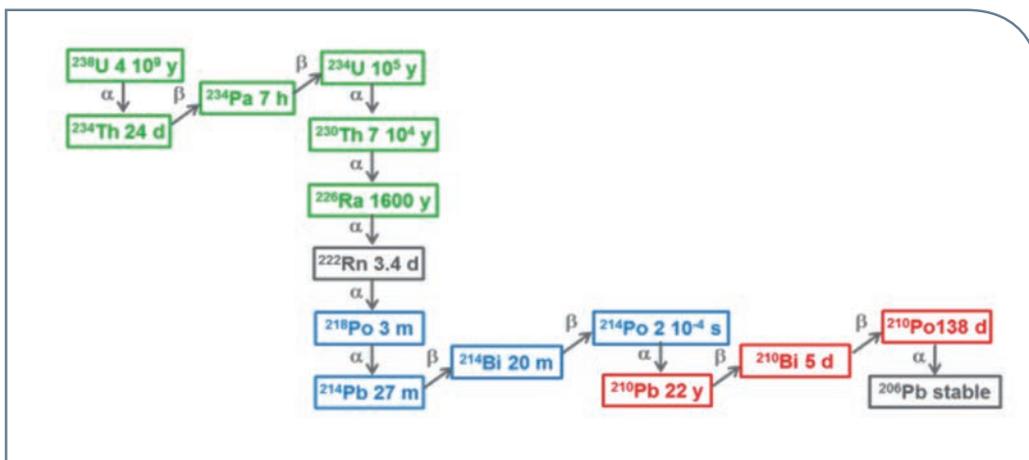


Figure 1

Chaîne de décomposition uranium ^{238}U

Pour un matériau recyclé, les isotopes se comportent différemment dans le processus industriel en relation avec leurs différentes propriétés chimiques, ce qui engendre une rupture de l'équilibre.

Dans le cas des laitiers de haut-fourneau, les isotopes volatiles à partir du polonium ^{218}Po sont entraînés par les gaz du haut-fourneau. Quand un échantillon de laitier est prélevé, il contient seulement la partie supérieure de la chaîne du ^{238}U au ^{226}Ra . ^{226}Ra produit encore du radon ^{222}Rn , mais comme ce dernier est un gaz, il s'échappe de l'échantillon et la désintégration du radium n'alimente pas la partie inférieure de la chaîne.

Une amélioration de la technique de mesure a été proposée par l'institut de la radioprotection et de la sûreté nucléaire (IRSN) en 2008 dans le guide IRSN : Élément pour la caractérisation radiologique des matières et effluents en application de l'arrêté du 25 mai 2005. La méthode fut incorporée dans la norme NF ISO 18589-3 : « Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Sols -

nement gamma avec un taux d'émission élevé et sans interférence. L'incertitude de la détermination est bien meilleure qu'avec le radium ^{226}Ra dosé directement et il n'y a pas de surestimation due à des interférences. L'équilibre d'un élément avec ses descendants dépend de la période de l'élément fille ; on considère que la période d'attente correspondant à 6 périodes est suffisante pour obtenir l'équilibre. Dans le cas du radium ^{226}Ra - plomb ^{214}Pb la période la plus longue est pour le radon : 3,4 jours, une période d'attente de 3 semaines est suffisante.

Détermination de l'uranium total et du thorium par ICP-MS

La spectrométrie gamma avec recroissance ne s'applique pas au thorium ^{232}Th . Le guide IRSN et la norme NF ISO 18589-3 recommandent d'utiliser une autre méthode que la spectrométrie gamma. Le laboratoire Subatech quantifie l'uranium et le thorium par ICP-MS (Plasma par induction couplé avec une spectrométrie de masse).

Caractérisation longitudinale de la production de Dunkerque

Nous avons réalisé une campagne d'évaluation d'index I défini par la directive 2013-59 sur les laitiers produits par l'usine de Dunkerque pendant 6 mois, de janvier à juin 2015.

Echantillonnage

Les minerais consommés par Dunkerque sont homogénéisés : les cargaisons des bateaux sont déchargées en couches superposées pour former des tas qui sont ensuite repris par tranches pour alimenter les trois hauts-fourneaux du département fonte.

Un tas représente la consommation d'environ une semaine. Au haut-fourneau, le laitier est prélevé à chaque coulée. Nous avons collecté les échantillons de laitier du HF4, le plus gros de l'usine, entre le 1^{er} juin et le 31 décembre 2015. Dans chacun des échantillons, une masse constante a été prélevée après broyage. Ces échantillons de masse constante ont été regroupés de manière à obtenir un composé représentatif de chaque tas de minerai.

Nous avons procédé de cette manière parce que les tas sont constitués afin de garantir l'homogénéité et toutes les activités des isotopes concernés se retrouvent dans les laitiers. Il n'y a donc pas de raison d'avoir des variations de radioactivité du laitier pendant la consommation d'un stock. Du 1^{er} juin au 31 décembre 2015, le HF4 a réalisé 2386 coulées et 26 tas furent consommés. Nous avons donc engendré 26 échantillons composés représentant la production entière de l'usine pendant la période.

Analyses

Les analyses ont été réalisées par Subatech, en accord avec la norme NF ISO 18589-3 pour la spectrométrie gamma avec recroissance, la norme NF EN ISO 17294-2 pour l'uranium et une méthode interne pour le thorium total (ICP-MS).

Résultats

La figure ci-dessous montre les 26 valeurs obtenues pour l'index, les courbes rouges et vertes prenant en compte les incertitudes.

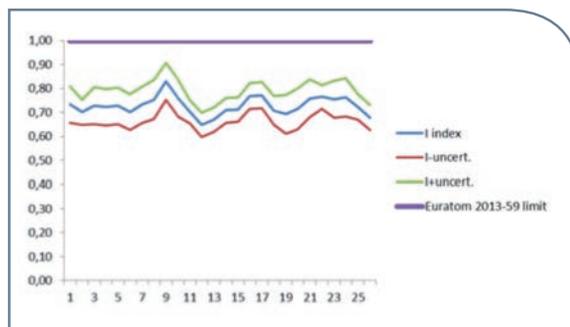


Figure 2
Evolution de l'Index des matériaux de construction élaborés à partir des laitiers de Dunkerque pendant la période Juin à Décembre 2015.

Il est démontré que les valeurs d'index mesurées sont bien en dessous du seuil réglementaire(1).

Autres résultats

D'autres échantillons en provenance d'autres usines ont été testés. La figure 3 ci-dessous représente par exemple une série de résultats de Fos-sur-Mer. La courbe bleue rassemble les résultats obtenus par la méthode classique de spectrométrie gamma, en valeur et en barre d'incertitude, la courbe orange représente les résultats de la méthode Subatech - IRSN. L'amélioration est évidente.

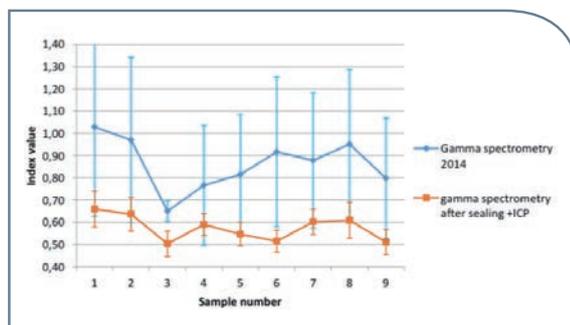


Figure 3
Premiers résultats des mesures selon la méthode Subatech - IRSN sur des laitiers de haut-fourneau de Fos sur Mer réalisés en 2014.

Conclusion

Les laitiers de haut-fourneau peuvent être mis sur le marché sans restriction compte tenu de leur radioactivité naturelle. C'est un résultat rassurant et très positif. Plus généralement, la mesure de radioactivité de faible niveau avec une bonne précision est souvent difficile, et les conséquences économiques d'une mauvaise qualité de mesure peuvent être importantes.

Le développement de méthodes de mesures précises constitue dès lors un bon investissement.

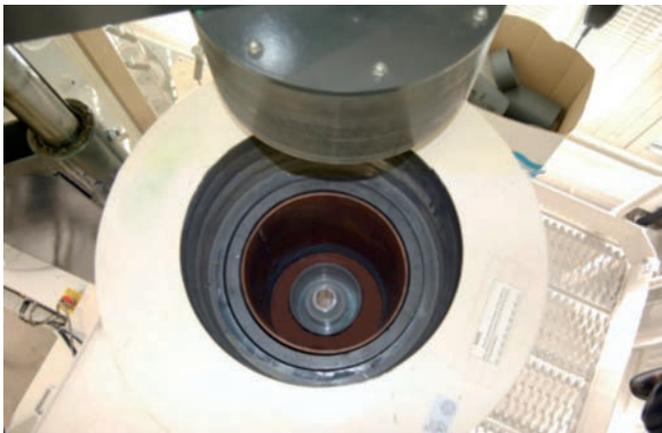


Figure 4
Détecteur germanium hyperpur
pour la spectrométrie gamma (Subatech)



Figure 5
Installation de spectrométrie gamma
(Subatech)

LAFE :

A chacun sa personnalité !



Grâce à leurs propriétés mécaniques et leur durabilité, les laitiers d'aciérie de four électrique peuvent être utilisés dans la fabrication des bétons et confèrent à ceux-ci des caractéristiques parfois même supérieures à ceux produits à partir de granulats naturels et traditionnels. Pour autant, il n'existe pas encore de norme qui définisse clairement leurs usages, l'un des principaux obstacles résidant dans les caractéristiques hétérogènes de ce type de matériau.

Ainsi, cet article présente l'analyse comparative de deux laitiers d'aciérie de four électrique, l'un italien, l'autre espagnol. Si ces deux laitiers se révèlent bien aptes à entrer dans la fabrication du béton, leurs propriétés influencent celles du béton produit, orientant ainsi son utilisation vers des ouvrages de nature différente.

Amaia SANTAMARIA, José Tomás SAN JOSÉ, Javier Jesús GONZÁLEZ
UPV/EHU

Flora FALESCHINI, Carlo PELLEGRINO
DICEA-UNIPD

Introduction

Le laitier d'aciérie de four électrique (LAFE) est engendré dans le process de fabrication de l'acier dans des fours à arc électrique, ce qui représente 26 % de la production d'acier à travers le monde [1].

Les propriétés chimiques, physiques et mécaniques de ce matériau le rendent apte comme matière première dans différentes applications, ce qui promeut l'économie circulaire et contribue à rendre la planète durable. Les principales études qui ont été menées proposent de les utiliser comme granulats dans les mélanges hydrauliques [2, 4] et bitumineux [5, 6].

Aujourd'hui, les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons réalisés avec ces laitiers sont bien connues et ont été démontrées comme étant similaires voire supérieures aux bétons produits à partir de granulats naturels [7,8] et traditionnels. Ces résultats ont encouragé des producteurs à utiliser ces bétons formulés à base de LAFE pour des réalisations en vraie grandeur (figure 1) [9,10]. Cependant, il n'y a pas encore de norme spécifique qui définit clairement leurs usages.

Un des principaux problèmes pour la normalisation des LAFE demeure les propriétés hétérogènes de ce type de matériau.

Entre 120 et 180 kg de LAFE sont produits par tonne d'acier. Après un refroidissement à partir de 1560 °C, il devient un matériau minéral, dur, granulaire, cohésif, dense et légèrement poreux. La densité des LAFE est un exemple de la différence de propriétés illustrant la différence entre chaque usine. Elle se situe typiquement dans une gamme de 3 à 4 T/m³. Cela dépend en grande partie de la teneur en fer métallique ($\rho = 8 \text{ T/m}^3$), des oxydes de fer et de manganèse ($\rho = 5 \text{ T/m}^3$) et de la porosité interne.

La porosité du laitier est liée à la méthode de refroidissement. En parallèle au process de refroidissement, le moussage du laitier durant la dernière phase dans le four électrique, la phase de versement, la nature du réfractaire du four, le type de ferrailles utilisées comme matière première et la nuance d'acier peuvent également influencer les propriétés des LAFE. Toutes ces opérations affectent la qualité finale du LAFE et en conséquence sa capacité à être ré-employé.



Figure 1

Fondation cubique, Technalia Research and Innovation Zamudio (gauche), Bloc de béton usage maritime (droite).

Dans cette recherche, deux LAFE différents ont été étudiés, un provenant de la sidérurgie italienne, fourni par Zerocento (Padoue) et l'autre de la sidérurgie espagnole fourni par Hormor (Zestoa). Les propriétés des laitiers ont été analysées avec l'objectif d'évaluer la faisabilité de les employer dans des bétons hydrauliques.

Propriétés des LAFE

Les compositions chimiques des laitiers sont détaillées dans le tableau 1. La grande différence entre les deux laitiers réside dans la teneur en oxyde de fer. Le LAFE italien a une teneur en oxyde de fer plus élevée, ce qui influence sa densité, comme évoqué précédemment. La quantité d'oxyde de fer peut également affecter la qualité de la zone de transition inter faciale entre les granulats et la pâte de ciment, quand le laitier est utilisé comme gravillon dans les formules de bétons hydrauliques, comme en témoignent certains auteurs [11].

Le résultat de la diffraction X montre que les principales phases cristallines du laitier espagnol sont la wüstite, la ghelenite et la kirstenite. Dans le cas du laitier italien, les principales phases sont la wüstite, la larnite, la ghelenite et la magnétite.

COMPOSÉS (WT.-%)	LAFE ESPAGNOL	LAFE ITALIEN
Fe ₂ O ₃	22.3	33.28
CaO	32.9	30.30
SiO ₂	20.3	14.56
Al ₂ O ₃	12.2	10.20
MgO	3.0	2.97
MnO	5.1	4.34
SO ₃	0.42	
Cr ₂ O ₃	2.0	2.67
P ₂ O ₅	0.5	
TiO ₂	0.8	

Tableau 1
Composition chimique

La porosité MIP mesurée sur les deux laitiers a été analysée, en prenant un appareil Autopore IV 9500 (Micrometrics) à une pression de 33 000 psi. La distribution porale et la porosité cumulée du laitier espagnol est illustrée en figure 2.

La porosité globale MIP de ce laitier est de l'ordre de 8 % et les diamètres de pores les plus fréquents se situent entre 0,2 et 50 nm. A noter la grande quantité de pores entre 3 et 6 nm.

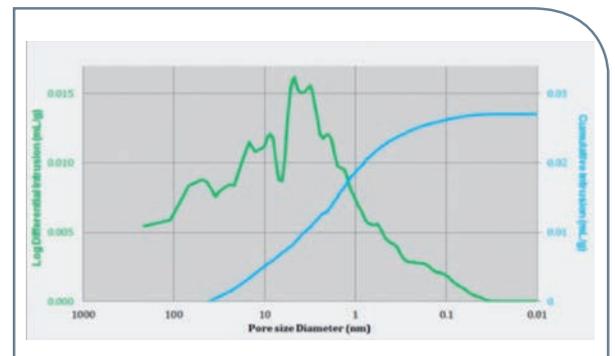


Figure 2
Distribution porale du LAFE espagnol

Sur la figure 3, on voit la distribution porale du LAFE italien. Dans ce cas, la porosité globale MIP est aux alentours de 2 %, une valeur basse quand on la rapproche de celle du LAFE espagnol. La taille de pore la plus fréquente se situe entre 60 et 8000 nm, avec une grande quantité à 60 nm. Il est nécessaire de rappeler qu'il n'y a pas que la porosité globale qui diffère entre les deux laitiers mais également la distribution porale.

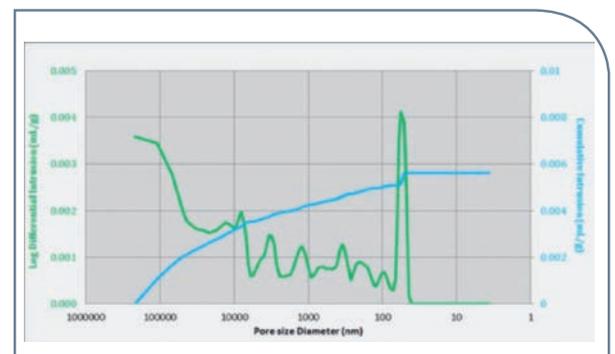


Figure 3
Distribution porale du LAFE italien

Ces deux porosités différentes sont le résultat de deux méthodes de refroidissement différentes employées par les entreprises fournisseurs. En Espagne, le laitier est refroidi en mode continu, en arrosant un mince filet de laitier avec de l'eau. En Italie, la méthode de refroidissement consiste à verser le laitier liquide dans une large fosse, en déposant la nouvelle couche de laitier sur la précédente qui a solidifié, pendant que plusieurs jets d'eau refroidissent la surface. La vitesse de refroidissement dans la dernière méthode est plus lente que dans le premier cas, ce qui permet aux gaz retenus dans le laitier de s'échapper et donc de réduire la porosité [11].

En matière de propriétés physiques des laitiers, la figure 4 montre une photo avec les deux types de laitiers. On peut noter la plus grande quantité de pores sur le LAFE espagnol. En conséquence, la surface de ce laitier est plus rugueuse, ce qui peut influencer l'amélioration de l'interface entre la pâte de ciment et le laitier. Ainsi, la rugosité du granulat peut affecter la liaison entre les barres d'acier et le béton, comme il a été démontré dans une publication précédente des mêmes auteurs [12].

En tenant compte de la composition chimique et de la porosité de ces deux laitiers, il est évident que le LAFE italien aura une densité plus élevée en comparaison avec le LAFE espagnol. Dans ce cas, comme attendu, la valeur du LAFE italien est de 3854 kg/m^3 tandis que celle du LAFE espagnol est de 3420 kg/m^3 . De plus, il a été notifié que le LAFE italien est plus dur et plus résistant que le LAFE espagnol.



Figure 4
LAFE italien (gauche),
LAFE espagnol (droite)

Conclusions

Les différentes propriétés des deux types de laitiers auraient pu permettre d'obtenir des bétons avec des performances différentes. Cela représente une tâche difficile de rédiger et de publier une norme sur l'utilisation de ce type de laitier dans des formules de béton. Néanmoins, les travaux scientifiques publiés jusqu'à présent ont montré qu'en dépit de quelques différences dans les propriétés du béton (module élastique, air occlus), en général, tous les bétons formulés avec ce type de granulats ont un bon comportement mécanique et de durabilité.

La raison la plus intéressante pour étudier l'influence des différentes propriétés des laitiers dans le béton devrait être de trouver l'application pour laquelle l'utilisation des laitiers comporte le plus d'avantages. La recherche sur le ré-emploi de ce type de matériau ne se limite pas au seul fait d'éviter le remplissage de sites de stockage, mais de rechercher des bétons avec des comportements mécaniques et de durabilité améliorés.

Dans le cas de ces deux types de laitiers, a priori, il est possible d'envisager l'emploi du LAFE italien davantage pour la construction, où les éléments structurels dépendent de leur masse pour résister à la pression, tandis que le LAFE espagnol est plus adapté pour les éléments de structure suspendus.

En conclusion, les propriétés hétérogènes de cette typologie de laitier ne devraient pas être une raison pour les différents gouvernements de ne pas encourager la publication d'une norme spécifique pour le ré-emploi dans les bétons.

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude au gouvernement basque régional (IT781-13 Research Group) ainsi qu'au vice-rectorat de la recherche de l'université du pays basque. (UPV/EHU).

Références

- [1] Yearbook SS. World steel association. 2015.
- [2] Polanco JA, Gonzalez JJ, Manso JM. Electric Arc Furnace Slag in Concrete. *J Mater Civ Eng* 2004;16:639-45.
- [3] Faleschini F, Brunelli K, Zanini MA, Dabalá M, Pellegrino C. Electric Arc Furnace Slag as Coarse Recycled Aggregate for Concrete Production. *Journal of Sustainable Metallurgy* 2016;2:44-50.
- [4] Santamaría A, Rojí E, Skaf M, Marcos I, González JJ. The use of steelmaking slags and fly ash in structural mortars. *Constr Build Mater* 2016;106:364-73.
- [5] Skaf M, Manso JM, Aragón Á, Fuente-Alonso JA, Ortega-López V. EAF slag in asphalt mixes: A brief review of its possible re-use. *Resour Conserv Recycl* 2017;120:176-85.
- [6] Pasetto M, Baldo N. Experimental evaluation of high performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags. *J Hazard Mater* 2010;181:938-48.
- [7] San-José JT, Vegas I, Arribas I, Marcos I. The performance of steel-making slag concretes in the hardened state. *Mater Des* 2014;60:612-9.
- [8] Pellegrino C, Cavagnis P, Faleschini F, Brunelli K. Properties of concretes with Black/Oxidizing Electric Arc Furnace slag aggregate. *Cement and Concrete Composites* 2013;37:232-40.
- [9] Arribas I, San-José JT, Vegas IJ, Hurtado JA, Chica JA. Application of steel slag concrete in the foundation slab and basement wall of the Labein-Tecnalia Kubik building. 6th European Slag Conference, EUROSLAG pub 2010.
- [10] García Mochales JL. Utilización de áridos siderúrgicos en obras por la autoridad portuaria de Bilbao. 2016.
- [11] Santamaría A, Orbe A, Losañez MM, Skaf M, Ortega-Lopez V, González JJ. Self-compacting concrete incorporating electric arc-furnace steelmaking slag as aggregate. *Mater Des* 2017;115:179-93.
- [12] Faleschini F, Santamaria A, Zanini MA, José JS, Pellegrino C. Bond between steel reinforcement bars and Electric Arc Furnace slag concrete. *Mater Struct* 2017;50:170.

SAVE THE DATE

EUROSLAG

10^{ÈME} CONFÉRENCE EUROPÉENNE SUR LES LAITIERS SIDÉRURGIQUES EUROSLAG

9 au 11 octobre 2019 - Thessalonique (Grèce)

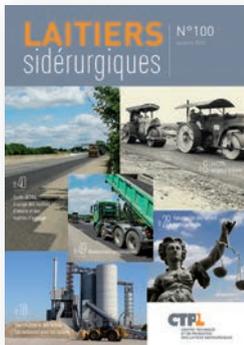


**Comme à son habitude,
le CTPL s'impliquera
et participera activement à ce rendez-vous
scientifique et technique européen**

Appel à publications,
programme et renseignements
à suivre prochainement.

Pour toute information : www.euroslag.com

Dans les précédents NUMÉROS...



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



N° 108 (Décembre 2017)

- **Vu et pratiqué : retours d'expériences**

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

- **Que sont devenus les laitiers en 2016**

Production et devenir des laitiers sidérurgiques en 2016 en France
Jérémie Domas : CTPL

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.

Actualités

Neuvième conférence Euroslag – Metz 2017
(23/08/2017)

Le mois d'octobre approche, et avec lui la neuvième conférence Euroslag qui va se tenir du 11 au 13 octobre 2017 à Metz. Les organisateurs attendent plus de 25 présentations sur les aspects réglementaires, la production et les conditions d'usages des laitiers sidérurgiques. En parallèle, des tables rondes rassemblant des représentants du parlement et de la commission européenne, des industriels donneront lieu à des échanges intéressants. Pour compléter cette manifestation, des visites techniques auront lieu sur des sites industriels à proximité.

Nous vous invitons à vous inscrire en ligne sur le site dédié :

<http://euroslag2017.evenementcom.net>

Pour plus de détail, vous pouvez consulter la plaquette de l'événement ci-jointe: [PRESENTATION CIRCULAR ECONOMY IN STEEL INDUSTRY](#)

En espérant vous voir nombreux à Metz,

L'Equipe du CTPL

Revue Laitiers Sidérurgiques



Numéro 107
Juin 2017

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

LAITIERS
sidérurgiques

www.ctpl.info