

9^e conférence européenne sur les laitiers sidérurgiques

De quoi en faire des fromages !

Afoco est l'Association française qui regroupe les principaux opérateurs des co-produits industriels, depuis 1995. À l'échelle européenne, elle fait partie d'Euroslag, une association qui représente les producteurs et transformateurs des déchets sidérurgiques. En octobre dernier, la 9^e conférence européenne a réuni 32 experts intervenant devant 200 professionnels provenant du monde entier. La plupart provenaient d'Europe et cinq des autres continents.



© SGA
Versement des laitiers d'aciérie de conversion (LAC) en fosse.



© R&V / PG
Michel Gitzhofer,
président d'Afoco.



© R&V / PG
Thomas Merkel,
président d'Euroslag.

Les premiers intervenants dressent un tableau des réglementations appliquées dans les différents pays européens. Conclusion générale, et qui ne sera pas une surprise, en dépit de la construction européenne démarrée pour le charbon et l'acier en juillet 1952, les réglementations appliquées dans chaque pays sur les laitiers sidérurgiques diffèrent. Les textes nationaux créent des divergences qui constituent des frontières réelles, ce qui bloque les exportations et ne facilite pas la valorisation des laitiers sidérurgiques.

Thème 1: État de la législation, des règles et des normes en Europe

Hervé Martin, Commission européenne, rappelle l'Accord de Paris consécutif à la COP 21 et qui a



© R&V / PG
Hervé Martin,
Commission
européenne.

constaté les surcapacités mondiales de production d'acier. Il témoigne de la nécessité de capturer le gaz carbonique et de la possibilité

de produire de l'hydrogène. Les potentialités de gérer les co-produits sont listées, en direction de la construction et d'autres industries comme le



© R&V / PG
Gabriele Morgante,
Commission
européenne.

papier, la céramique, le cuivre, etc. Il mentionne des programmes du Fonds de recherche pour le charbon et l'acier de la Communauté européenne (RFCS). Voir encadré *Projets RFCS en cours*.

Gabriele Morgante, Commission européenne, insiste sur l'importance de la gestion des laitiers.

Aurelio Braconi, Eurofer, expose *Comment stimuler la symbiose industrielle et le recyclage des matériaux: perspectives relatives à l'acier*. La production européenne d'acier s'est élevée à 166 Mt en 2015, dont 91 Mt issus du recyclage. Les ratios de recyclage des métaux ferreux s'élèvent à 90 % dans la construction, 85 % pour les véhicules de transport et 75 % pour l'emballage. Les hauts fourneaux produisent 26 Mt/an de laitiers et les aciéries 22 Mt/an. Leurs applications sont diffé-



© R&V / PG
Aurelio Braconi,
Eurofer.

rentes: voir encadré p.52 *Utilisation des laitiers sidérurgiques en Europe*. Aurelio Braconi synthétise également le *Statut simplifié des laitiers sidérurgiques* (encadré p. 53) qui ne facilite pas les mouvements transfrontaliers. Les matières premières secondaires ne sont pas traitées en fonction de leurs performances, mais selon des prescriptions, et elles ne sont pas prioritaires dans les marchés publics.

Emmanuelle Moesch présente le point de vue français, au nom de l'Institut de l'économie circulaire qui réunit plus de 200 membres. Elle traite les questions générales du recyclage et de l'économie circulaire en France, sans aucune mention particulière sur les laitiers sidérurgiques.

Didier Desmoulin donne le point de vue d'utilisateurs de laitiers sidérurgiques, les compagnies routières, réunies dans le syndicat Usirf. En tant que directeur adjoint du groupe Colas, ses responsabilités techniques portent sur la construction des routes, les carrières, les plateformes de recyclage, les activités de déconstruction et l'enfouissement. Élément positif, les exigences d'une qualité élevée des travaux routiers en France et l'utilisation des laitiers sidérurgiques « renforcent la culture de contrôle de la matière » afin d'éviter toute contre-performance qui serait préjudiciable aux co-produits industriels.

Thème 2 : Passer des co-produits à des produits reconnus

Le deuxième thème est développé par onze intervenants pour une dizaine de sujets.

Craig Heidrich, Association australienne des laitiers, dresse un tableau mondial de l'utilisation des laitiers dans une perspective d'économie circulaire suite à une étude menée avec Karen Higgins (États-Unis), Thomas Reiche et Thomas Merkel (Allemagne). La production mondiale des laitiers sidérurgiques est estimée à 567 Mt/an, équivalent à 20 % - en masse - de la production de fonte et d'acier. L'Europe des 28 pèse 5 % du total mondial des laitiers.

Les marchés des laitiers, sont importants pour l'économie de la sidérurgie, mais aussi pour les acteurs de la chaîne d'approvisionnement en aval. À l'échelle mondiale, la croissance de l'utilisation des laitiers dépend de nombreux facteurs distincts des processus de production de l'acier, mais liés à leur qualité et à leurs caractéristiques. Une législation et une réglementation appropriées, associées à des normes et des codes de pratique internationaux cohérents, sont quelques-uns des moyens principaux pour faciliter l'utilisation inté-



Déversement des laitiers d'aciérie four électrique inox (LAFE) pour refroidissement.

grale et garantir le respect de la législation afin de poursuivre les investissements dans les laitiers. Dans la quasi-totalité des pays, les laitiers sont recyclés à plus de 80 % : 83 % aux États-Unis, 92 % en Allemagne, 97 % en Australie et 100 % au Japon.

L'étude fournit une perspective globale pour l'utilisation des laitiers dans l'économie circulaire et documente les changements de paradigme importants et essentiels afin de passer du déchet au produit. Elle définit les types de laitiers et la



Emmanuelle Moesch, Institut de l'économie circulaire.



Didier Desmoulin, Colas.



Craig Heidrich, Australasian Slag Association.

A. Projets RFCS en cours.

- Actislag, Nouveaux procédés d'activation pour le développement précoce de la résistance des granulés de laitier de haut fourneau. Acteurs : ArcelorMittal et cinq partenaires.
- Fines2EAF, Technologie de production de briques sans ciment pour utiliser les fines des matières premières secondaires issues de la fabrication d'acier à partir de fours électriques. Acteurs : RWTH Aachen et sept partenaires.
- Nnewflux, Flux de moules non-newtoniens – une réponse intelligente de viscosité pour améliorer la flexibilité de production des nuances d'acier sujettes au piégeage des scories. Acteurs : Materials Processing Institute et quatre partenaires.
- Oscaneaf, Analyse en ligne de la composition du laitier issu des fours électriques. Acteurs : RWTH Aachen et cinq partenaires.
- PSP-BOF, Épuration du phosphore dans les laitiers d'aciérie. Acteurs : Swerea Mefos AB et cinq partenaires.
- Rimfoam, Recyclage des déchets industriels et municipaux comme agent moussant du laitier dans les fours électriques. Acteurs : Swerea Mefos AB et cinq partenaires.
- Slacon, Contrôle de la qualité des laitiers en vue de leur utilisation dans la construction. Acteurs : FEhS et cinq partenaires.
- SuperChargeEAF, Supervision des propriétés des matériaux de charge dans les aciéries électriques en utilisant des méthodes statistiques avancées. Acteurs : Swerea Mefos AB et trois partenaires.

façon dont ils sont classés. L'accent est porté sur le rôle de la législation des déchets dans la création de la sécurité juridique pour continuer à investir dans les laitiers.

En France, réglementation et amendement minéral

Jérémie Domas, du CTPL, intervient à propos du *Cadre réglementaire des laitiers sidérurgiques: vers des changements légaux majeurs en*



Jérémie Domas, CTPL.

France. Une nouvelle révolution? En France, environ les trois quarts des laitiers sidérurgiques sont recyclés, soit 3,7 Mt/an.

Suite à la directive européenne de 2008 portant sur les déchets, les laitiers peuvent cesser d'être un déchet, notamment par une opération de valorisation. En conséquence, ceci conduit à faire évoluer leur statut dans les pays européens membres. Depuis 2012, le CTPL a été mandaté par la plupart des producteurs français d'acier dans cet objectif de valorisation. Différentes actions ont été menées par le CTPL et d'importants changements ont déjà été réalisés en France. D'autres décisions, attendues prochainement de la part de l'administration française, permettraient aux producteurs d'acier français d'utiliser leurs laitiers sidérurgiques en sortant de la réglementation des déchets dans le domaine de la fertilisation ou comme agrégats dans le génie civil routier et ailleurs.

François-Xavier Gaumont intervient pour la société Meac, du groupe Omya, qui se présente comme un « *partenaire de la gestion durable des sols* » et un promoteur de « *la fertilisation raisonnée* ». Meac propose d'utiliser les laitiers sidérurgiques en amendement minéral des sols agricoles. La réglementation harmonisée des engrais deviendra obligatoire dans quelques années. Le groupe de travail pour les normes portant sur les matériaux de chaulage prépare une norme (EN 14069) conçue pour compléter la réglementation des engrais, y compris les types et les exigences minimales, bien que les laitiers ne soient pas inclus dans ce projet. Cette norme comprend déjà deux types d'amendements calcaires issus de convertisseurs : les laitiers tamisés et les laitiers broyés.



François-Xavier Gaumont, Meac.

L'élaboration de la norme définit la standardisation ISO de la valeur neutralisante et intro-

duit une nouvelle unité qui exprime à la fois les besoins en chaux et la valeur neutralisante des produits. Les équivalents CaO ou CaCO₃ et les équivalents OH ne sont pas une évaluation correcte des capacités neutralisantes d'un produit parce qu'ils se réfèrent aux teneurs en calcium des produits. Seuls les carbonates, les silicates, les oxydes et les hydroxydes peuvent revendiquer cette propriété.

La route en Pennsylvanie, au Brésil et en Suède

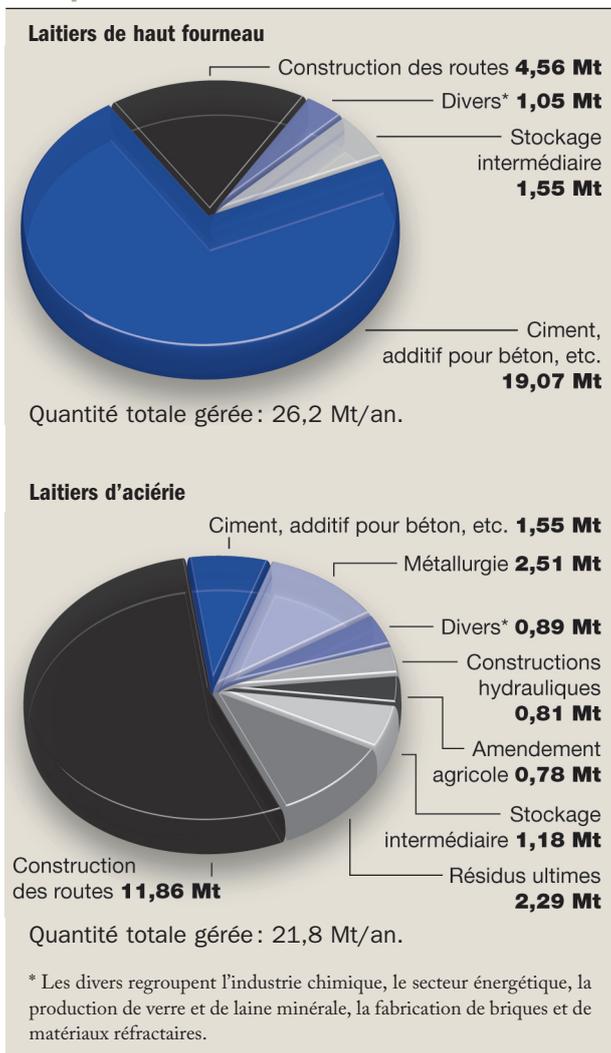
John Zzenas résume une étude portant sur la *Remise en état économique des routes secondaires*. La baisse des coûts d'entretien des routes est essentielle compte tenu des limites budgétaires actuelles des autorités aux États-Unis. Plusieurs comtés du Midwest ont utilisé avec succès des laitiers d'aciérie et les techniques développées ont réduit le coût de ces projets jusqu'à 50 %. Un exemple est donné avec la route 46 de l'État de Pennsylvanie, dans le comté de McKean, la remise en état portant sur 4,56 miles (7,48 km). 2 832 m³ de laitiers, soit 5 900 t, ont été utilisés pour refaire la structure de la chaussée.



John Zzenas, Levy Technical Laboratory.

Le Brésilien **Eduardo Kazuaki Shiramata** témoigne à propos de *Novos Caminhos*, un programme de coopération social et environnemental mené par ArcelorMittal Tubarão (une ville située au sud du Brésil, un peu au nord de Porto Alegre). Il s'agit d'améliorer les voies de circulation en utilisant les granulats issus de laitier *Revsol* et *Revsol Plus*. Ils constituent les premières couches des routes. Des tests de toxicité, d'éco-toxicité et de toxicité génétique ont été menés avec

B. Utilisation des laitiers sidérurgiques en Europe.



succès. Les chaussées réalisées sont, selon les conditions météorologiques, moins poussiéreuses ou moins boueuses que précédemment.



Eduardo Kazuaki Shiramata, ArcelorMittal Brasil.

Pendant une dizaine d'années, des chemins ont été réalisés dans 25 communes de l'État de l'Esprit-Saint, autour de Vitoria.

Bjorn Haase intervient à propos



Bjorn Haase, Höganäs Sweden.

de la sidérurgie en Suède. Elle produit 5 Mt de fonte et 2 Mt de matières annexes. Les échanges à propos des laitiers ont démarré il y a une quinzaine d'années entre le monde universitaire, les industriels, les utilisateurs et les pouvoirs publics. Actuellement, les laitiers sont utilisés pour capter le phosphore dans le traitement des eaux, comme granulats routiers y compris dans les enrobés, comme granulats dans des gabions/bancs publics.

Le ciment toujours

Andreas Ehrenberg résume la *Transformation des laitiers de four à arc électrique en un matériau hydraulique latent*. La production d'acier à partir de ferrailles s'accroît sur la planète, pesant actuellement le quart du total (62,7 % aux États-Unis, 57,3 % en Inde, 39,4 % pour l'Europe des 28, mais 6,1 % en Chine). Le laitier de four électrique contient 20 à 30 % de CaO, 10 à 15 % de SiO₂ et 20 à 30 % de Fe. Ce laitier est utilisé



Andreas Ehrenberg, FEhS.

C. Statut simplifié des laitiers sidérurgiques.

	Laitier de haut fourneau, granulé ou cristallisé	Laitier d'aciérie à l'oxygène (LD), laitier de désulfuration, laitier d'aciérie électrique
Produit	Belgique, Finlande	Autriche*, Italie*
Produit et co-produit*	Autriche, Italie, Slovaquie	Autriche*
Co-produit	Allemagne*, France*, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède	Allemagne*, Suède*
Déchet	Bulgarie, Espagne, France*, Hongrie, Luxembourg, Pologne, Roumanie, Slovaquie, Tchéquie	Allemagne*, Autriche*, Belgique, Bulgarie, Croatie, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie*, Luxembourg, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni*, Slovaquie, Slovaquie, Suède*, Tchéquie

* Statut multiple.

principalement comme granulats routiers. L'industrie sidérurgique veut augmenter l'utilisation des laitiers produits et l'industrie cimentière intégrer ces laitiers pour réduire les teneurs en clinker et en CO₂ de ses productions. En conséquence, l'institut FEhS a étudié les possibilités de transformer ce laitier en matériau hydraulique latent et de récupérer le métal. L'utilisation du laitier moulu tel quel n'offre pas une réactivité suffisante dans le ciment et le béton.

Dans un premier temps, le métal oxydé a été réduit. Dans un second temps, le laitier a été chimiquement modifié avec des matériaux contenant de la chaux afin d'obtenir une composition ressemblant à du clinker ou avec du SiO₂ dans une composition de type laitier de haut fourneau. Les propriétés hydrauliques des deux matériaux étaient respectivement comparables à celles des clinkers et du laitier de haut fourneau granulé. Les tests à l'échelle du laboratoire ont confirmé la faisabilité de former des matériaux de type clinker ou laitier de haut fourneau granulé à base de laitier de four électrique. Mais pour développer une technologie de procédé appropriée et pour calculer la

demande en énergie et en matières premières, investir et traiter les coûts, le bilan de CO₂, etc., certains tests à plus grande échelle sont nécessaires.

Micro-broyage

Chris Polling traite une *Approche nouvelle pour réduire la taille des particules*. Le micro-broyage Nutek est une méthode innovante développée pour réduire la taille des particules et la teneur en humidité de divers matériaux. Le procédé élimine le besoin de séchage du matériau avant le broyage. La technologie, en instance de brevet, a été testée sur des matériaux tels que les laitiers de haut fourneau, les cendres volantes, la pouzzolane naturelle, le béton concassé, le calcaire, le sable siliceux, les copeaux de bois et autres matériaux connexes. La réduction de la taille des particules est confirmée à moins de 10 µm selon le matériau. La teneur en humidité est réduite de 40 % à moins de 1 % selon le matériau. Le débit varie en fonction du niveau d'humidité et du type de produit. L'équipement de micro-broyage primaire est entraîné par un moteur électrique unique avec une puissance variable de 110 à 295 kW.



Chris Polling, SCB International Materials.



Gestion des laitiers d'aciérie électrique en filière inox et alliés (LAFE) : plateforme d'élaboration des matériaux alternatifs.

Comparée aux méthodes de broyage traditionnelles, cette technologie demande un encombrement réduit, ne nécessite pas de fondations importantes et émet peu ou pas de produits de combustion. Pour obtenir des volumes de broyage plus élevés, cet équipement de micro-broyage peut être monté en série ou en parallèle.

Le cas du ferrochrome

Juha Ylimaunu développe les *Propriétés environnementales et le statut du laitier de ferrochrome*. Le laitier de ferrochrome est un sous-produit de la production du ferrochrome (FeCr), composant essentiel pour la fabrication de l'acier inoxydable. Les minerais de chromite sont couramment fondus dans des fours électriques avec des réducteurs (coke) et des fondants permettant d'extraire les impuretés sous forme de laitier (par exemple du quartzite).

Le laitier de ferrochrome est séparé du métal, retiré du four et refroidi sous forme de granulats.

Dans certains pays, le laitier de ferrochrome a été utilisé comme matériau de construction pendant plusieurs décennies, mais dans d'autres régions, le matériau est déposé sous forme de déchets ou de sous-produits non utilisés. L'utilisation de laitier de ferrochrome dans les constructions de routes compense les matériaux naturels et peut améliorer la résistance aux conditions extrêmes telles que la fatigue, les températures élevées, la glace et le verglas.

L'étude a montré les propriétés environnementales des laitiers de ferrochrome à l'échelle mondiale et a revu le statut légal des laitiers dans les principaux pays producteurs de ferrochrome. Elle a été organisée par le comité HSE de l'Association internationale de développement du chrome (ICDA). Les échantillons de laitier ont été collectés en Chine, en Afrique du Sud, en Albanie, en Inde, en Finlande, en Turquie et au Kazakhstan.

Les tests physiques et chimiques des échantillons ont été effectués en Finlande en 2015 et 2016. La lixiviation des métaux, sulfates, chlorures et fluorures a été étudiée par le test standard de percolation ascendante CEN / TS 14405. Les résultats ont été comparés aux

valeurs limites de lixiviation fixées pour les déchets inertes granulaires dans la directive européenne relative aux décharges, qui sont largement utilisées pour les essais de sous-produits industriels dans l'UE. Les matériaux inertes sont chimiquement stables et peuvent donc être utilisés sans danger en tant que co-produits ou matériaux recyclés. Dix des douze matériaux de laitier de ferrochrome testés ont satisfait les exigences relatives aux déchets inertes de l'UE. Tous les échantillons répondaient aux exigences pour les déchets non dangereux de l'UE. Les résultats du test montrent qu'il n'y a pas de corrélation entre la teneur élevée en chrome total et la forte lixiviation au chrome. La lixiviation des scories contenant jusqu'à 10 % de chrome respecte la valeur limite pour les déchets inertes.

Le statut juridique du ferrochrome en tant que déchet ne correspond pas aux propriétés environnementales du matériau. L'état des déchets dans certains pays semble être un héritage d'autres législations ou dépendant des autorités locales. L'approche basée sur le risque et la connaissance des propriétés environnementales du matériau, comme montré dans cette étude, sont les éléments clés pour promouvoir l'économie circulaire.

R&V / PG



Juha Ylimaunu, Outokumpu Oyi.



Samyr El Bedoui, Cerema direction territoriale Est.



Cyril Florentin, Harsco Metals & Minerals.

14 des 32 intervenants

Organisateurs : Michel Gitzhofer, président d'Afoco ; Thomas Merkel, président d'Euroslag.

- Aurelio Braconi, Économie circulaire et matières premières, Eurofer.
- Didier Desmoulin, Usirf, Union des syndicats de l'industrie routière de France et aussi directeur technique adjoint du groupe Colas.
- Jérémie Domas, CTPL, Centre technique et de promotion des laitiers sidérurgiques / France.
- Samyr El Bedoui, Cerema direction territoriale Est / France.
- Cyril Florentin, Harsco Metals & Minerals / France.
- François-Xavier Gaumont, Meac / France.
- Craig Heidrich, Australasian Slag Association / Australie.
- Eduardo Kazuaki Shiramata, ArcelorMittal Tubarão / Brésil.
- Hervé Martin, chef de l'unité de recherche Charbon et acier, Commission européenne.
- Emmanuelle Moesch, Institut de l'économie circulaire / France.
- Gabriele Morgante, direction générale Croissance, efficacité des ressources et matières premières, Commission européenne.
- Chris Polling, SCB International Materials / États-Unis.
- Juha Ylimaunu, Outokumpu Oyi / Finlande.
- John Yzenas, directeur technique du Levy Technical Laboratory / États-Unis.