

9^e conférence européenne sur les laitiers sidérurgiques Euroslag

Pour quelques fromages de plus (2)

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 à Metz 32 experts intervenants devant 200 professionnels provenant du monde entier. La plupart venaient d'Europe et cinq des autres continents. Voici le compte rendu de la seconde et dernière journée de la conférence.



© Dillinger Hütte

Le congrès Euroslag prévoyait des visites de sites le vendredi : ici, l'aciérie Dillinger Hütte produit de la fonte à partir de minerai de fer qu'elle transforme en acier. La gestion de laitiers concerne d'importants volumes pour environ 2 Mt d'acier.

Les mercredi 11 et jeudi 12 octobre, Afoco a organisé la 9^e conférence euro-



© R&V / PG

Thomas Merkel,
président
d'Euroslag.



© R&V / PG

Michel Gitzhofer,
président
d'Afoco.

péenne Euroslag dans la très jolie ville de Metz [lire encadré p.27]. L'Arsenal (rénové) accueillait durant quatre demi-journées les conférences d'un événement très bien organisé.

La journée du jeudi 12 octobre réunissait deux thèmes complémentaires :

- le matin, *Caractéristiques des laitiers : études récentes, recherche* ;
- l'après-midi, *Nouvelles techniques, nouveaux marchés*.

Un intervenant manquant en fin de matinée, Ivan Isailovic, a été remplacé par Claire Sissoeff-Piet (p. 25) et Camille Crouzet (p. 26).

Caractéristiques des laitiers : études récentes, recherche

Vicente Asier, témoigne d'un travail d'ArcelorMittal à propos d'une *Méthode rapide pour la caractérisation du laitier au cours du processus d'affinage de l'acier du four de poche en fonction de la réflectance spectrale*. L'objectif est d'analyser en continu le laitier produit par imagerie hyperspectrale. L'outil combine une procédure de normalisation pour supprimer la composante spéculaire des spectres, une méthode d'étalonnage pour corriger les conditions d'éclairage et un algorithme d'extraction de caractéristiques spectrales. Le système a été affiné avec plus de 600 échantillons de laitier, prélevés dans des fours de poche de différentes aciéries ArcelorMittal.

Trois échantillons de laitiers ont été prélevés à chaque coulée afin de couvrir l'ensemble du processus d'oxydation des laitiers. Chaque échantillon a été analysé par spectroscopie



© R&V / PG

Vicente Asier,
ArcelorMittal
Espagne.

fluorescence aux rayons X. Le système de régression a été entraîné pour mesurer les valeurs de Al_2O_3 , CaO , FeO , MnO , MgO , P_2O_5 , SiO_2 , en obtenant des erreurs de composition inférieures à 10 % sur le processus d'oxydation du four. Le système estime la composition du laitier et, connaissant en parallèle la composition de la nuance d'acier, ceci conduit à ajuster les différents additifs requis pour la nuance d'acier spécifique à produire. **Avantage financier :** le coût effectif des additifs revient moins cher que par les méthodes utilisées jusque-là.

Davide Mombelli, École polytechnique de Milan, a présenté une étude sur les *Effets de la basicité et des impuretés sur la stabilité des spinelles au chrome*. La lixiviation au chrome est une grande préoccupation des laitiers de four à arc électrique



Davide Mombelli, Politecnico di Milano.

issus de l'élaboration des aciers au carbone ou inoxydables. De nombreuses recherches ont essayé de comprendre quelles propriétés (basicité, vitesse de refroidissement) et phases (spinelles, wustite, silicates) contrôlent la lixiviation du Cr, définissant différents indices (sp-factor, cs-factor) pour prévoir le comportement du laitier par rapport à la lixiviation de ce métal toxique. Différents facteurs ont été étudiés, notamment le rôle de la basicité pour contrôler l'instabilité et la géométrie des phases porteuses de Cr: spinelle, chromate de calcium et chromite. Sur la



Pierre Gaujé, ArcelorMittal France.

Les presses d'Euragglo

Claire Sissoeff-Piet a présenté les différentes presses fabriquées par Euragglo, à chargement horizontal ou vertical. Les technologies employées de presse à roues tangentes et de compacteurs développent des procédés de compactage, de granulation et de briquetage. Ces procédés s'appliquent à des matériaux tels la calamine, les pailles de laminoir, les boues d'aciérie et de haut fourneau, les poussières de fours à arc, et diverses fines de DRI (fers de réduction directe), de ferro-alliages, de charbon, d'oxydes de fer, de coke, etc. Les briquettes obtenues sont recyclées dans les processus de fusion. Euragglo est devenu progressivement la division européenne de Komarek, groupe étatsunien auquel elle appartient. Euragglo distribue une gamme de machines américaines standard, pour la sidérurgie, et sa propre gamme de machines plutôt conçues en sur mesure. Euragglo distribue aussi une troisième gamme de machines, de la marque allemande Ruf, qui traitent les copeaux et boues d'usinage, ainsi que la biomasse, toujours en compactage.



Claire Sissoeff-Piet, Euragglo.

base des résultats obtenus, les conclusions suivantes sont mises en avant :

- les laitiers de basicité élevée sont caractérisés par une forte lixiviation de Cr. Les mêmes laitiers, après broyage, montrent un comportement opposé ;
- le type de contrôle de la basicité des laitiers, la chimie et la géométrie des phases de roulement en Cr. À haute basicité, en présence d'une forte concentration de Cr_2O_3 , les phases de surcroissance, sursaturées en Cr sont identifiées, coexistant avec des phases instables sous-développées ;
- à haute basicité, une forte concentration d'impuretés (Ca et Si) intéresse les phases de Cr, induisant une instabilité et facilitant la mobilité du Cr ;
- la géométrie de phase est un paramètre clé pour comprendre le comportement de lixiviation de certains échantillons ;
- il est confirmé que Mg-wustite ne contribue pas à la lixiviation du Cr. En outre, la wustite à haute teneur en chrome contribuerait à réduire le Cr lessivé global, en particulier dans les échantillons caractérisés par la présence de composés de Ca-Cr.

Radioactivité ?

Pierre Gaujé, ArcelorMittal, relate une étude portant sur *la radioactivité naturelle dans le laitier de haut*



Metafensch est un centre de recherche public dédié à la fonte et à l'acier, fondé en 2014 à Uckange. Il coopère avec des partenaires industriels et universitaires et dispose d'installations pilotes et à l'échelle 1. Il travaille notamment sur les alliages et sur l'intégration des métaux issus du recyclage.



L'aciérie Dillinger Hütte est située à Dillingen, le long de la rivière Sarre et en Sarre (Allemagne). Depuis sa fondation en 1685 par le marquis de Lenoncourt, avec l'autorisation de Louis XIV, la production a changé. Elle produit des tôles "fortes", idéales pour les oléoducs et gazoducs, c'est-à-dire très épaisses, jusqu'à 600 mm et d'autres applications. Elle a aussi produit l'acier du tablier du viaduc de Millau.

fourneau, une limitation pour sa commercialisation en tant que matériau de construction ? La limitation de la teneur en substances radioactives naturelles des matériaux de construction introduite par la



© PAM / Saint-Gobain

L'usine Pont-à-Mousson, groupe Saint-Gobain, est installée dans la ville éponyme depuis 1856. Saint-Gobain PAM est le leader mondial des tubes en fonte ductile. L'usine comprend trois hauts fourneaux et de trois lignes de centrifugation.

directive Euratom 2013-59 peut avoir un impact sur la commercialisation des laitiers de haut fourneau. Le seuil introduit par la directive est remarquablement bas et la spectrométrie gamma, généralement utilisée pour mesurer les activités, produit des incertitudes trop élevées pour prendre une décision définitive sur la capacité de commercialisation d'un laitier de haut fourneau.

Subatech a développé une méthode fiable et précise basée sur la norme NF ISO 18589-3. Cette méthode a été appliquée aux laitiers de haut



© R&V / PG

Marta Skaf,
University of Burgos.

fourneau produits en Europe par ArcelorMittal, à travers des prélèvements dans différentes usines et principalement une étude longitudinale de la production d'une usine. Par rapport à la spectrométrie gamma standard, les incertitudes ont été améliorées d'un facteur de presque 4. Il a été démontré que les laitiers BF peuvent être commercialisés librement comme matériaux de construction, même s'ils sont utilisés purs.

Le laitier de haut fourneau peut être commercialisé sans restriction en raison de son contenu radioactif naturel. C'est une conclusion très positive. Plus généralement, la mesure de faibles niveaux de radioactivité avec une bonne précision est souvent difficile et les conséquences économiques des mesures de mauvaise qualité peuvent être importantes. Développer des mesures précises, en cas de nécessité, est alors un bon investissement.

Applications routières

Marta Skaf, université de Burgos, résume une étude recherche portant

sur les *Mélanges bitumineux fabriqués exclusivement avec des granulats issus de laitier d'aciérie*. La production d'acier au carbone en Espagne génère deux types de laitiers : les laitiers de four à arc électrique (EAF) et les laitiers de four à poche (LF). Les propriétés des laitiers EAF (haute angularité, dureté, résistance au cisaillement, résistance à l'usure et au polissage) garantissent leur utilisation réussie en tant qu'agrégat dans la fabrication des enrobés bitumineux. De plus, les laitiers LF ont une granulométrie appropriée et des caractéristiques chimiques prometteuses pour une utilisation en tant que filler. Cette recherche porte sur la fabrication d'un enrobé drainant avec un mélange d'agrégats de laitier d'aciérie, en utilisant des laitiers EAF comme agrégats grossiers et des laitiers LF comme agrégats fins et fillers.

Une série d'enrobés incorporant ces laitiers a été préparée et comparée à un enrobé de référence, fabriqué avec des composants conventionnels. Des tests sont effectués sur des propriétés telles que la résistance mécanique, la durabilité, la sensibilité à l'humidité, la résistance à l'orniérage, la perméabilité et la résistance au dérapage.

La conclusion est qu'un enrobé drainant approprié, fabriqué entièrement avec des agrégats de laitiers d'aciérie, peut être produit, répondant aux exigences les plus pertinentes et produisant une chaussée durable (au sens de sustainable) et pérenne. Leur perméabilité supérieure et leur texture plus rugueuse signifient qu'ils conviennent particulièrement aux régions pluvieuses. Leurs excellentes résistances au glissement et au dérapage devraient également se maintenir à long terme.

Jian-Shiuh Chen, université nationale Cheng Kung, résume une étude portant sur l'*Évaluation sur le terrain d'un enrobé drainant produit*

Valorisation hydrothermale, hydrogène et cristaux de magnétite

Camille Crouzet, ISTerre et université de Grenoble, a présenté le projet HyMag'In. Il s'agit de Valorisation hydrothermale de coproduits et déchets ferreux par la production d'hydrogène et la récupération d'oxydes de fer, avec une application aux laitiers d'aciérie. Ce travail a été distingué par un Prix jeunes de la Sim, décerné lors du congrès de Grenoble en 2016. Un exposé très détaillé et rédigé par Camille Crouzet a été publié dans le numéro hors-série 20 de *mines & carrières***.

Le procédé innovant se base sur l'oxydation de fer réduit contenu dans le laitier d'aciérie par de l'eau liquide en conditions hydrothermales (température et pression élevées). Le procédé produit de l'hydrogène très pur et des cristaux de magnétite de taille micro à nanométrique. La magnétite présente une grande valeur économique. Elle peut être utilisée dans des domaines tels que :

- la production de fer et une alternative à l'hématite ;
- la fabrication de produits denses comme des ballasts ;
- la catalyse hétérogène pour la synthèse chimique telle que la production d'ammoniac, les particules micro et millimétriques ayant une grande surface réactive ;
- l'imagerie médicale, les nanomagnétites étant utilisées comme agent de contraste ;
- la production de pigments, d'encres et de toner d'imprimantes ;
- la protection contre les rayonnements ionisants, la magnétite étant insérée comme additifs dans la fabrication des bétons spéciaux.

Par ailleurs, le laitier appauvri pourrait être saturé en CO₂ pour devenir du carbonate de calcium CaCO₃. Il pourrait être utilisé comme charge blanche dans la production du papier ou de certaines matières plastiques comme le PVC.



© R&V / PG

Camille Crouzet,
ISTerre et université
de Grenoble.

** Disponible contre 50 €, auprès de la Sim.



© R&V / PG

Jian-Shiuh Chen,
National Cheng
Kung University.

avec des laitiers d'aciérie de convertisseur. L'objectif de l'étude est d'évaluer l'effet des laitiers d'aciérie de convertisseur sur les performances de l'enrobé drainant. Une route d'essai en service a été construite pour surveiller la performance de chaussées en enrobé drainant construites avec trois compositions différentes. Trois types d'enrobés à chaud différents et d'une granulométrie nominale maximale de 19 mm, ont été choisis :

- enrobé drainant avec laitiers d'aciérie,
- enrobé drainant avec granulats naturels et
- couche de roulement à granulométrie discontinue avec granulats naturels.

Des études effectuées à intervalles réguliers ont porté sur les performances de la chaussée : drainabilité, niveau de bruit, profondeur de l'ornièrre, rugosité et résistance au dérapage. L'évaluation sur le terrain comprenait la profondeur de l'ornièrre, l'indice de rugosité international et les caractéristiques de frottement. Les résultats des essais ont indiqué que la qualité de roulement et les caractéristiques de frottement de la section avec des granulats laitiers étaient aussi bonnes ou meilleures que celles des deux sections construites à l'aide d'agrégats naturels. Les résultats de l'étude ont aussi démontré que l'utilisation de granulats laitiers réduisait la déformation permanente et maintenait la fonctionnalité de la chaussée.

Enrobés de laitiers de haut fourneau et d'aciérie LD

Ivan Isailovic, Centre d'ingénierie routière de Brunswick, était absent et aurait dû présenter une étude sur les *Performances des mélanges*

bitumineux contenant des laitiers de haut fourneau ou d'aciérie de type Linz-Donawitz. On sait peu de chose sur les performances des enrobés contenant ces types de laitiers. La recherche a comparé différentes compositions d'enrobé comprenant des proportions différentes de laitiers et une composition type contenant des agrégats naturels de type Gabbro*. Les paramètres-clés de performance pour un ensemble d'enrobés ont été évalués en utilisant les méthodes d'essai suivantes : compression cyclique pour la résistance permanente à la déformation, résistance aux contraintes thermiques pour test de fissuration à basse température et traction cyclique indirecte. L'étude conduit à quatre conclusions :

- Les enrobés avec laitiers de haut fourneau et d'aciérie LD présentent des valeurs de module réduit dans la gamme de température testée, quel que soit le type d'asphalte, ce en raison de l'augmentation de la teneur en asphalte par rapport aux mélanges bitumineux de référence avec des granulats naturels de type Gabbro.
- Si l'on considère les enrobés de couche de liaison, l'utilisation de laitier d'aciérie LD conduit à des propriétés de fatigue favorables, suivies par des enrobés avec des agrégats naturels de type Gabbro

La très jolie ville de Metz



© R&V / PG

Associant une ossature bois marquée et la couleur blanche, le Centre Pompidou de Metz (Shigeru Ban Architects et Jean de Gastines Architectes).

sans oublier la spectaculaire gare construite durant l'intégration à l'empire d'Allemagne de Guillaume 1^{er}, dimensionnée afin d'embarquer un régiment de cavalerie. Les quais sont spacieux. Et évidemment le Centre Pompidou.



© PAM / Saint-Gobain

En sortie de haut fourneau, la poche de fonte permet d'alimenter les centrifugeuses qui produisent les tubes aux différents diamètres. La fonte ductile est la spécialité de Saint-Gobain PAM, avec des propriétés mécaniques et de résistance exceptionnelles.



© PAM / Saint-Gobain

Coulée, noyautage et centrifugation du tube.

et avec des laitiers de haut fourneau. De plus, les enrobés de couches de base comprenant des laitiers LD et des laitiers de haut fourneau présentent une résistance à la fatigue similaire, qui est supérieure à la résistance de l'enrobé de base avec l'agrégat naturel de type Gabbro.

Ville bi-millénaire, l'oppidum celtique des Médiomatriques, connu sous le nom latin de Divodurum Mediomatricorum, puis comme Mettis, devient la capitale du royaume franc d'Austrasie. Metz a été marquée par ses intégrations au Saint-Empire romain germanique et à l'empire d'Allemagne. La ville témoigne également d'une forte influence italienne au XIII^e siècle et bien sûr des monarchies et républiques françaises.

Mentionnons l'église Saint-Pierre-aux-Nonnains (la plus vieille église de France, à l'origine une basilique romaine du IV^e siècle), la cathédrale Saint-Étienne, la place Saint-Louis, le théâtre XVIII^e qui fut le premier théâtre public en France, le temple neuf, le cloître des Récollets, l'esplanade du palais de justice, le palais du gouverneur militaire,

18 des 32 intervenants

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

- David Algermissen, FEhS, Institut für Baustoff-Forschung / Allemagne.
- Vicente Asier, ArcelorMittal Research & Development / Espagne.
- Janice Bolen, Hatch / Canada.
- Camille Crouzet, ISTERre et université de Grenoble / France.
- Peter Drissen, FEhS, Institut für Baustoff-Forschung / Allemagne.
- Andreas Ehrenberg, FEhS, Institut für Baustoff-Forschung / Allemagne.
- Pierre Gaujé, ArcelorMittal Research & Development / France.
- Dennis Grubb, Phoenix services / États-Unis.
- Bjorn Haase, Högånäs Sweden / Suède.
- Liesbeth Horckmans, Vito / Belgique.
- Ivan Isailovic, TU Braunschweig, ISBS, Braunschweig Pavement Engineering Centre / Allemagne.
- Jian-Shiuh Chen, National Cheng Kung University / Taiwan.
- Davide Mombelli, Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano / Italie.
- Dirk Mudersbach, Max Aicher Umwelt / Allemagne.
- Amaia Santamaria, Department of Mining, Metallurgical and materials Science, University of Basque Country / Espagne.
- Henning Schliephake, Georgsmarienhütte / Allemagne.
- Claire Sissoeff-Piet, ingénieur commercial, Euragglo / France.
- Marta Skaf, Department of Construction, University of Burgos / Espagne.
- Julien Waligora, direction Recherche et innovation, Eiffage Infrastructures / France.



Ici, la coulée en continu remplit les cubilots de fonte.

- Le niveau de résistance à la fissuration thermique est comparable pour tous les enrobés, qu'ils intègrent du laitier d'aciérie LD, du laitier de haut fourneau ou du granulats naturel Gabbro. Le niveau est jugé "adéquat" pour les conditions météorologiques européennes.
- L'utilisation de laitier d'aciérie LD et de laitier de haut fourneau dans les enrobés des couches de base et de roulement conduit à une résistance à la déformation désavantageuse par rapport aux mélanges d'asphalte avec un granulats naturel de type Gabbro. Ceci est une conséquence de l'augmentation de la teneur en asphalte qui est nécessaire pour s'adapter aux bonnes propriétés volumétriques du béton bitumineux.



Henning Schliephake, Georgsmarienhütte.

Dans l'ensemble, les résultats expérimentaux et l'analyse menée dans le cadre de cette recherche indiquent que les mélanges d'enrobés élaborés avec des laitiers d'aciérie LD conviennent à la construction de chaussées. En adaptant la conception du mélange, à savoir la composition granulométrique et le type de bitume, les problèmes liés à la résistance à la déformation à haute température peuvent être résolus.

[Encadrés pp.25 et 26]

Nouvelles techniques, nouveaux marchés

Les réglementations futures, notamment en Allemagne, visent à réduire l'enfouissement des déchets ultimes. Dans cette perspective, les professionnels cherchent à recycler les laitiers, ce qui conduit à en extraire le maximum de métaux et à réemployer les laitiers issus du traitement.

Henning Schliephake expose la *Stratégie sans déchets de Georgsmarienhütte*, un important sidérurgiste de l'acier produit par four électrique, donc issu du recyclage des ferrailles. Selon leur nature, les laitiers produits sont utilisés soit pour

les travaux de terrassement ou les sous-couches routières, soit pour aménager des sites d'enfouissement ou comme fertilisant. En travaillant avec l'institut FEhS, Georgsmarienhütte tend à réutiliser lui-même les laitiers produits, en les épurant selon ce qui est nécessaire.

Peter Drissen, FEhS, intervient à propos du projet *Améliorer l'utilisation des laitiers de haut fourneau en développant de nouvelles techniques de séparation*. Plusieurs techniques de séparation des fractions précieuses contenues dans les laitiers de haut fourneau ont été étudiées. On augmente la récupération



Peter Drissen, FEhS.

du fer pour le recyclage interne sans effet néfaste du phosphore avec le processus suivant : refroidissement lent avec une solidification partielle, suivis d'un broyage fin et d'une séparation magnétique. Des études sur l'utilisation de fractions pauvres en fer, mais riches en chaux et en phosphore, ont révélé la nécessité d'une amélioration supplémentaire. Les limites de la séparation sont dues à l'intercroissance entre les phases contenant du fer et celles contenant chaux et phosphore ; ce phénomène n'a pu être surmonté dans le cadre de ce projet.

Néanmoins, l'application industrielle des procédés de traitement des laitiers développés dans le cadre de ce projet économiserait du minerai et atténuerait la volumétrie des sites de déchets ultimes.

Canne à sucre !

Dennis Grubb, Phoenix services, tient des propos plus "sucrés" : *Évaluation de l'utilisation combinée des laitiers de haut fourneau et de la bagasse de canne à sucre pour la remédiation passive de drainages miniers acides (DMA) en Afrique du Sud*.



Dennis Grubb,
Phoenix services.

En partenariat avec l'université de Witwatersrand de Johannesburg, Phoenix Services vise à utiliser les laitiers et la bagasse afin de résoudre un problème de qualité de l'eau dans une région aride sujette à des pénuries chroniques. La source de DMA utilisée est caractérisée par un pH de 2 à 3 et des concentrations en fer et en sulfates de 0,3 et 8 g/l, respectivement.

Les laitiers de haut fourneau (situé à Newcastle, province de Kwazulu-Natal) sont des granulats d'environ 13 mm, dotés d'une capacité tampon élevée et d'une aptitude à éliminer les métaux dissous et les sulfates par une combinaison de mécanismes de sorption et de précipitation. La bagasse de canne à sucre (originaire de Dalton, province de Kwazulu-Natal) présente deux avantages : une surface spécifique élevée et une source durable de carbone biodégradable, capable de supporter les bactéries sulfato-réductrices (SRB). Combinés, les deux supports offrent le potentiel de réduire de manière significative les coûts associés au traitement des DMA, soit en tant qu'étape de pré-traitement, soit de façon autonome, en fonction des flux à traiter.

Des études sur des éprouvettes (longueur de 200 mm et diamètre interne de 38 mm) ont été menées. Les laitiers et la bagasse augmentent le pH des DMA d'environ 3,5 et diminuent les concentrations en fer d'environ 50 % et de sulfates d'environ 75 %.

Une plateforme plus grande a été construite afin de traiter des DMA aux caractéristiques suivantes : pH de 2 à 3, concentration de fer entre 5 et 10 g/l et concentrations en sulfates allant jusqu'à 25 g/l. Le programme de recherche a reçu une

subvention de la South African Water Research Commission afin de mener un projet pilote sur le terrain.

Chrome et niobium, molybdène et vanadium

Liesbeth Horckmans, Vito, présente le projet européen *Chromic 2020 : nouveaux processus afin de récupérer les métaux dans les laitiers d'acier au carbone, d'acier inox et de ferrochrome*. Il porte sur les métaux critiques, chrome et niobium, et de valeur économique, molybdène et vanadium. Les résultats préliminaires montrent que l'intrication minérale et la granulométrie fine des phases riches en chrome posent des défis majeurs pour le traitement du minerai.

La caractérisation des matériaux montre une teneur en chrome assez basse (2,5 %) et avec une forte intrication minérale. Des phases distinctes riches en chrome sont présentes dans de très petites particules (10 à 100 µm).



Liesbeth Horckmans, Vito.

Des procédés innovants tels que la fissuration induite par microondes ou la fragmentation électrodynamique combinée à la séparation gravimétrique améliorée par champ magnétique ou électrostatique seront étudiés pour atteindre l'objectif du traitement minéral sélectif. Ces procédés aident à concentrer le flux d'entrée pour la lixiviation. Des tests préliminaires montrent l'effet potentiel du traitement par microondes afin de réduire l'énergie nécessaire à la fragmentation.

Un liant hydraulique routier

Julien Waligora, Eiffage Infrastructures, rappelle l'utilisation du liant routier hydraulique *Sidmix*, principalement dans le nord de la



Les fondeurs trient les laitiers à la surface de la fonte en fusion.

France, puisque lié à la sidérurgie dunkerquoise : *Utilisation de laitiers de haut fourneau et de convertisseur dans le liant routier Sidmix HBR*. Depuis le début de la fabrication en 2005, plus de 200 000 tonnes ont été commercialisées. En 2009 et 2017, l'Idrim (Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité) a délivré une certification technique en vue de son utilisation dans divers traitements de sol et de matériaux granulaires. *Sidmix* présente plusieurs propriétés :

- Ce liant est composé de gypse (5 %) et de 95 % de laitiers, de haut fourneau granulé moulu (GGBF) et d'acier de convertisseur LD, 40 ± 4 % pour celui-ci.
- Les propriétés physiques, chimiques et mécaniques sont conformes à la norme européenne EN 13282-2, à l'exception de la finesse à 90 µm qui peut être périodiquement supérieure à 15 % en poids.



Julien Waligora,
Eiffage Infrastructures.



Le tube fabriqué se vide du sable qui forme le noyau interne.



© Slag

La Société lorraine d'agrégats (Slag du groupe Eurovia) est spécialisée dans le traitement des laitiers phosphoreux issus des hauts fourneaux lorrains. Elle travaille sur les stocks historiques pour différentes applications : construction des routes, béton prêt à l'emploi, laine de roche, éléments préfabriqués, etc. Ici, Nilvange.



© Slag

Installation de broyage et de criblage de laitiers historiques lorrains.

- La période d'ouvrabilité et l'empreinte carbone sont très intéressantes par rapport aux autres liants. Les matériaux traités peuvent être transportés sur de relativement longues distances.
- Une large gamme de sols et de matériaux granulaires peut être traitée avec le *Sidmix*. Pour les sols de la sous-couche de base, la quantité recommandée se situe entre 5 et 7 %, en poids. Un pré-traitement à la chaux vive est nécessaire pour les sols argileux. Pour les matériaux granulaires, la quantité de *Sidmix* est comprise entre 3,5 et 4,5 %, en poids.

Récupération thermique

David Algermissen, FEhS, présente une mystérieuse *Récupération thermique des laitiers d'aciérie dans la perspective d'une nouvelle application*. L'objectif du projet est de récupérer l'énergie thermique du laitier d'aciérie électrique pour un autre usage. Le laitier produit à 1600 °C ne subit pas de contact



© R&V / PG

David Algermissen, FEhS.

avec l'eau et présente les mêmes qualités techniques que s'il était mis en contact avec l'eau.

La découverte la plus importante de ce projet de recherche est la séparation du procédé en deux étapes : *Refroidissement et élaboration de matériaux de grande dimension et Récupération de chaleur*. Dès la sortie du four, le laitier liquide est versé dans une goulotte de cuivre oscillante qui récupère la chaleur en le solidifiant. Le défi consiste à produire des matériaux de granulométrie supérieure à 32 mm.

Les laitiers solidifiés mais très chauds sont transportés vers un échangeur de chaleur à air ou à gaz. La chaleur captée est utilisable pour le processus de l'aciérie, ou un réseau de chauffage urbain ou encore produire de l'électricité, ce qui économise des ressources et l'émission de CO₂. L'échangeur de chaleur peut fonctionner de façon continue, transmettant les calories à courants croisés avec le fluide "calocapteur". En fin de processus, le laitier obtenu est traité mécaniquement et sert en technique routière.

Développer les marchés

Amaia Santamaria, University of Basque Country, compare différents laitiers d'aciérie électrique. En Espagne et en Italie, la majeure partie de l'acier fabriqué provient de fours électriques. Les grandes quantités de laitier produites ne trouvent pas forcément de débouché dans



© R&V / PG

Amaia Santamaria, University of Basque Country.

de véritables travaux de construction, faute de normes fiables. La recherche menée étudie les propriétés physiques et chimiques de laitiers provenant des deux pays, ainsi que les performances des bétons fabriqués, montrant l'influence des propriétés du laitier sur

le comportement du béton. Cette étude aboutit aux conclusions suivantes :

- le processus de fabrication de l'acier exerce une grande influence sur les propriétés du laitier qui subsistent dans certaines propriétés des bétons produits ;
- d'autres facteurs influencent les propriétés du béton fini, comme l'effet de l'air occlus dans les granulats.

D'autres recherches portant sur les composés expansifs du laitier et leur influence sur les propriétés mécaniques et de durabilité du béton seront nécessaires.

Dirk Mudersbach, de l'aciériste Max Aicher Umwelt, titre son intervention :

Utilisation durable des laitiers d'aciérie électrique par une recherche réussie et des pratiques opérationnelles optimisées.



© R&V / PG

Dirk Mudersbach, Max Aicher Umwelt.

Il résume deux projets de recherche coordonnés par le FEhS Institute. Le projet européen *Slacon* et le projet allemand *Proeos* ont donné lieu à des tests opérationnels chez Lech-Stahlwerke et Max Aicher Umwelt, entre autres. Max Aicher Umwelt est une société bavaroise de traitement des laitiers située à Meitingen.

Dirk Mudersbach regrette que les coûts élevés du traitement et de l'épuration des laitiers d'aciérie électrique pour améliorer leurs qualités ne soient pas récompensés par des applications premium, même quand leurs propriétés sont supérieures à celles des matériaux naturels.

PG / R&V

* Du nom d'un village de Toscane, la roche Gabbro est d'origine magmatique, étant assez proche du basalte. Les granulats servent de référence pour des compositions d'enrobé.