LAITIERS Sidérurgiques

N°105

octobre 2015





Actualaitiers

bage 0

Que sont devenus les laitiers en 2014?

Production et devenir des laitiers sidérurgiques en 2014

Eaux usées :
Les laitiers
démontrent
leur efficacité



Utilisation des laitiers pour le traitement des eaux usées





Les laitiers

au secours des eaux polluées

La qualité de l'eau est essentielle et pourtant la France ne figure pas au rang des bons élèves au sein de l'Europe. En dépit d'un affichage environnemental de plus en plus agressif de la part de nos élites, voilà une dizaine d'années que nos eaux ne sont toujours pas en conformité avec les exigences européennes. Nos rejets domestiques, mais aussi les rejets des activités agricoles, contribuent à l'une des pollutions les plus étendues sur notre territoire : le rejet de phosphore dans les eaux de nos rivières et de nos étangs, avec, pour conséquence, leur eutrophisation et la disparation programmée de la vie aquatique ou, à tout le moins, de sa diversité.

Après des articles déjà consacrés à l'utilisation de laitiers sidérurgiques pour traiter les eaux usées et les effluents d'activités agro-alimentaires (voir la revue Laitiers Sidérurgiques n°86-87, 89-90, 91 et 95), nous avons souhaité faire le point sur l'évolution de cette technologie récente.

Si l'exemple américain démontre l'acceptation, par le public, de l'intérêt environnemental et surtout économique de ces dispositifs qui se matérialise par le développement de logiciels de conception de systèmes et leur mise en œuvre sur le terrain, l'Europe, elle, est encore frileuse. Même si l'article de Florent Chazarenc nous présente un projet de recherche européen récent, associant des partenaires allemands et français et nous démontre l'intérêt et la viabilité d'un tel process dans le cadre de nos territoires, nous sommes encore très loin du stade du développement industriel sur le terrain en dépit d'une demande patente.

Le devoir de précaution est, certes, compréhensible et respectable, mais il ne faudrait pas qu'il ait pour conséquence de bloquer le développement de solutions écologiquement et économiquement viables, permettant de contribuer à résoudre un problème environnemental majeur qui perdure depuis des années...

La suspicion - quant ce n'est pas l'anathème systématiquement accordée aux sous-produits industriels par certains acteurs de la sphère environnementale doit disparaitre au plus vite si l'on veut réellement appliquer avec succès les préceptes de l'économie circulaire.

Jacques Reynard Délégué Général du CTPL





Actualaitiers



Eaux en danger!

Les laitiers d'aciérie s'attaquent au phosphore



La présence excessive de phosphore dans les eaux de surface est une des causes principales de la dégradation de la qualité de l'eau des lacs, des cours d'eau ou des étangs, entraînant la prolifération d'algues et le développement de bactéries toxiques aux effets dangereux pour la santé humaine et les écosystèmes.

S'il existe de nombreuses solutions pour traiter la présence de phosphore sous sa forme particulaire, il n'existe pas de méthode éprouvée pour gérer le transfert du phosphore sous sa forme dissoute.

Ainsi, aux Etats-Unis, une solution visant à construire un dispositif de filtration mettant en œuvre des laitiers d'aciérie pour capter le phosphore dissout a été expérimentée.

Une piste prometteuse, puisque le dispositif a révélé son efficacité en permettant de capter 67% du phosphore dissout.

Chad PENN - Professeur Associé Oklahoma State University - Department of Plant and Soil Science



Que sont devenus les laitiers en 2014?

Comme chaque année et pour la dixième année, le Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (CTPL) a lancé en 2014 l'enquête nationale relative aux flux de laitiers sidérurgiques produits sur le territoire national, en collaboration avec la Fédération Française de l'Acier (F.F.A.). Cette enquête vise également à recueillir les données relatives à leurs principales filières d'utilisation par différents secteurs industriels.

Jérémie DOMAS - CTPL



Eaux usées Les laitiers démontrent leur efficacité



Depuis plusieurs années, la réglementation concernant la concentration de phosphore dans les eaux usées traitées devient de plus en plus contraignante en Europe et en France, en particulier pour les collectivités de moins de 10 000 EH. Depuis 2000, des recherches, essentiellement menées en laboratoire, sur l'utilisation des co-produits industriels en tant que matériaux réactifs pour capter le phosphore dans les eaux ont été menées, sans qu'il existe de résultats à l'échelle industrielle. De même, outre atlantique, des filtres plantés mettant en œuvre des laitiers ont été expérimentés et ont fait ressortir certaines limites dans le temps.

C'est dans ce contexte que le projet SLASORB, qui consiste à traiter les eaux usées par un procédé original de captage du phosphore en utilisant des laitiers sidérurgiques, a été initié à l'échelle européenne.

Ses enseignements étant très encourageants, la prochaine étape consistera à créer un site à grande échelle pour servir de vitrine à cette technologie. Il ne reste plus qu'à convaincre un premier client!

Florent CHAZARENC – Ecole des Mines de Nantes Marc FIXARIS – Arcelormittal/RSMF

LAITIERS SIDERURGIQUES

69ème année Revue éditée et diffusée gratuitement par le CTPL

Directeur de la publication

Jacques REYNARD, Délégué Général

Rédacteur en chef

Jérémie DOMAS, Directeur

Rédaction

CTPL

Immeuble Aristote 25, boulevard Victor Hugo 31770 Colomiers

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 : CTPL, Fotolia, Centre France (Mudet Marcel) N° ISSN 1166 - 3138 Dépôt légal : 4ème trimestre 2015



Fonctionnement du CTPL

Réunions de l'AG et du CA du CTPL

Les dernières réunions du Conseil d'Administration (CA) et de l'Assemblée Générale (AG) du CTPL se sont tenues le mardi 14 avril 2015. L'occasion de présenter aux Adhérents les actions techniques, réglementaires et normatives pour l'année en cours, ainsi que les prévisions budgétaires.
La prochaine réunion du CA se tiendra le 3 décembre prochain.

International

Réunion des Groupes de Travail d'EUROSLAG

La dernière réunion des groupes de travail d'EUROSLAG s'est tenue au FEhS (Duisbourg, Allemagne) le mercredi 27 mai 2015. L'occasion pour le CTPL de faire le point avec l'ensemble des acteurs sur les problématiques normatives et réglementaires, et d'échanger sur les actions techniques en cours au sein des Etats Membres de l'UE.

La prochaine réunion de l'Association européenne des producteurs et opérateurs des laitiers sidérurgiques, EUROSLAG, se tiendra le mercredi 2 décembre 2015 au FEhS à Duisbourg, afin d'échanger avec nos partenaires européens sur les problématiques relatives à la gestion des laitiers sidérurgiques, et en particulier d'évoquer la situation réglementaire et le statut juridique des laitiers au sein des différents pays de l'Union Européenne.

Conférence EUROSLAG

La 8^{ème} conférence EUROSLAG s'est déroulée du 21 au 23 octobre 2015 à Linz (Autriche), sous l'organisation de la société Voestalpine et a réuni plus de 250 participants. Cette manifestation offre régulièrement l'opportunité à nos Adhérents et aux scientifiques européens de nous faire partager leurs expériences et les technologies novatrices en termes de gestion des laitiers.

Vous pourrez retrouver de plus amples informations à propos de cette manifestation :

- Sur notre site internet : www.ctpl.info
- Sur le site de Voestalpine :

https://events.voestalpine.com/europeanslag-conference

- Sur le site officiel de EUROSLAG : www.euroslag.com

Travaux EUROFER en relation avec la méthode d'allocation des émissions polluantes aux laitiers sidérurgiques

Si la situation ne semble pas évoluer au sein de la sidérurgie européenne qui peine à trouver un accord sur une méthode d'allocation pour ses co-produits, nos collègues cimentiers ne restent pas inactifs et viennent de proposer une version finalisée du projet de norme prEN 16908 – Ciments et chaux de construction – Déclarations environnementales sur les produits – Règles de produits de catégorie complémentaires de l'EN 15804.

En effet, on peut y lire au paragraphe 6.4.3.3. Pour l'affectation des co-produits, les règles de l'EN-15804 s'appliquent.

- Les processus industriels mentionnés ci-dessus ne pouvant pas être subdivisés facilement, les impacts de la production doivent être divisés entre les coproduits selon une méthide d'affectation réflétant l'objectif principal des processus étudiés.

- Selon l'ÉN 15804, l'affectation en fonction de valeurs économiques doit être appliquée lorsque la différence dans la quantité de revenus obtenus par le producteur d'origine pour chacun des co-produits est importante (supérieure à 25%). C'est le cas des co-produits utilisés dans le ciment et les chaux de

 Les contributions au revenu global de l'ordre de 1% ou moins sont considérées comme très faibles.
 Dans ce cas, les impacts du processus peuvent être négligés.

Note: Lignes directrices pour l'application de l'affectation économique

- Dans le cas du laitier de haut-fourneau, en moyenne en Europe, la contribution du laitier au revenu global de la production d'acier est très faible (inférieure à 1%). Les impacts du transport et du traitement de claitier à utiliser dans le ciment et la chaux de construction doivent être pris en compte dans l'ACV du ciment et de la chaux de construction.

Voilà ! Si la sidérurgie ne parvient pas à adopter de position consensuelle, les cimentiers n'ont manifestement pas d'état d'âme !

Réglementation nationale et européenne

Valorisation des matériaux alternatifs : les «CoTITA» prennent le relai!

Après le succès de la journée d'échange organisée à Lyon en avril 2014 sous l'égide du Ministère en charge de l'Environnement, c'est au tour des CoTITA' de prendre le relai en région afin d'assurer la promotion des outils mis en œuvre pour la valorisation des matériaux alternatifs en technique routière.

Dans ce cadre, trois conférences ont été organisées au cours du premier semestre 2015 ·

- Mardi 19 mai 2015 : «Valoriser les matériaux alternatifs en technique routière en régions PACA et Languedoc-Roussillon»
 CoTITA Méditerranée (CEREMA, Aix-en-Proyence)
- Jeudi 4 juin 2015 : «Les matériaux alternatifs en technique routière» CoTITA Centre-Est (CEREMA, Clermont-Ferrand),
- Mardi 23 juin 2015 : «Valorisation des matériaux alternatifs en techniques routières» - CoTITA Ile-de-France (IFST-TAR, Marne-la-Vallée).

Ces Conférences techniques, mises en place par l'Etat et l'Association des Départements de France (ADF) dans le cadre de la loi dite de décentralisation des activités liées à l'entretien du réseau routier, ont réunies entre 70 et 120 participants chacune. Il est ressorti de ces échanges une véritable volonté des acteurs de la profession d'utiliser des matériaux alternatifs en technique routière, et la véritable plus-value des guides SETRA rédigés en 2011-2012.

Petit à petit, le bouche à oreille fonctionne et la confiance s'instaure sur les performances techniques et environnementales des ressources secondaires, et sur l'intérêt économique durable que ces matériaux constituent ...

Rentrerions-nous (enfin) dans une économie circulaire ?!...

Valorisation des matériaux alternatifs : le CTPL diffuse les bonnes pratiques

Le mercredi 30 septembre 2015, le CTPL a participé à la formation professionnelle « Valoriser les matériaux alternatifs en technique routière », organisée par la société Ponts Formation Conseil. Des stagiaires issus du monde professionnel : techniciens de bureaux d'études, chargés de mission territoriaux (DREAL, DIR), technico-commerciaux des groupes de BTP, viennent ainsi se familiariser avec les différentes professions des matériaux alternatifs.

L'occasion pour le CTPL de présenter les laitiers, leurs caractéristiques et leur filières de valorisation, et de sensibiliser les futurs prescripteurs publics et privés sur l'importance de ces gisements, et le besoin de fixer dans les CCTP pour les matériaux routiers des exigences non pas en termes d'origine, mais bien de performances techniques et environnementales.

Statut juridique des laitiers sidérurgiques

L'examen de notre dossier de demande de reconnaissance du statut de non-déchet par le MEDDE se poursuit. Le manque de lisibilité du Rapport de Sécurité Chimique extrait du dossier d'enregistrement REACH et qui constitue l'étude d'impact sanitaire et environnemental de notre argumentation va être une source de retard important et ne permettra pas à l'Administration de finaliser sa position dans des délais compatibles avec nos attentes.

Le CTPL continue donc à défendre ce dossier et une réunion technique s'est tenue le 15 octobre au Ministère.

Normalisation

CEN/TC 51 – Ciment et liants hydrauliques

Aucune activité concernant les laitiers sidérurgiques mis à part la décision de supprimer les normes suivantes :

- NF P18-306, septembre 1965, Bétons de construction Laitier granulé,
- NF P18-307, septembre 1965, Bétons Laitier expansé,

lors de la réunion du 6 juillet.

CEN/TC104 - Bétons

Commission nationale «béton» -Groupe P18B/GE RE

Un seul retour d'expérience relatif à l'emploi de béton d'ingénierie avec une teneur en laitier granulé moulu supérieure aux prescriptions de la norme NF EN 206-1 a été reçu à ce jour par le groupe d'experts.

La recommandation du CoS de compiler les retours d'expérience pour satisfaire les demandes du CTPL a peu de chances de déboucher sur des conclusions permettant d'étendre les conditions d'emploi de laitier granulé moulu dans les bétons d'ingénierie aux bétons « normaux » puisque le CTPL avait saisi le CoS pour se plaindre des exigences relatives aux conditions d'emploi des laitiers qui sont, selon lui, anti-concurrentielles. Il n'est donc pas surprenant que ces pratiques ne soient pas répandues.

• Problème de la validité des ETAs pour les additions au béton

Nous sommes toujours dans l'attente d'un compte-rendu officiel de la réunion qui s'est tenue au niveau européen pour statuer sur cette question. Une nouvelle demande a été faite à cet effet par le CTPL lors de la réunion P18C du 22 avril 2015.

CEN/TC154 - Granulats

Commission française du BN TRA Granulats – GT Enrochements

Le CTPL participe activement à la révision du fascicule de documentation FD P 18-662 (2005) qui fournit des recommandations sur les bonnes pratiques françaises en matière de performances attendues pour les granulats utilisés comme enrochements. Il facilite et clarifie la lecture des normes européennes dans le domaine (NF EN 13383-1 et NF EN 13383-2), compte tenu de leur dernière mise à jour au niveau européen (version 2015).

Le 27 octobre 2015, une conférence nationale intitulée « Vers une utilisation optimale des enrochements » et organisée par le CEREMA se déroulera au MEDDE à la Défense. L'objectif de cette conférence est d'établir un bilan des tables rondes organisées en province en 2012, 2013 et 2014. Elle doit également permettre de renforcer les partenariats avec les syndicats représentant les professionnels des carrières et avec la CNR. L'occasion pour le CTPL de mieux faire connaître les performances des laitiers dans cette filière. Pour plus d'information sur cette manifestation, consultez le lien suivant :

http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/paris-la-defense-le-27-octobre-2015-r401.html

WG13 – Substances dangereuses réglementées émises par les granulats

Le WG13 s'est réuni le 11 février 2015 à Londres à l'Association des Produits Minéraux (MPA), afin d'évoquer les conséquences normatives de la prise en compte des travaux du TC351. Le groupe de travail essaie d'anticiper la mise en œuvre de ces exigences pour les granulats, en particulier en déterminant la liste des substances dangereuses à prendre en compte, et réfléchit à l'évaluation et la Déclaration de performances (DoP).

CEN/TC 260 – Engrais et amendements minéraux basiques

BN FERTI

A la suite de la demande de ses Administrateurs, le CTPL est, de nouveau, membre de l'ANPEA (Association Nationale des Producteurs d'Engrais et Amendements) et participe à deux groupes de travail du BN Ferti relatifs aux amendements basiques en agriculture.

Les premières réunions «Amendements Minéraux Basiques» et «Dénomination, Spécifications et Marquage» ont eu respectivement lieu les 1^{er} et 15 octobre dernier. Les travaux en cours concernent la révision de la norme NF 44-001 (en particulier les teneurs limites environnementalement acceptables) et, au plan européen, le marquage et la terminologie employés.

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

WG1 - Emission dans l'eau

Depuis la dernière réunion du WG1 de janvier 2015, assez peu de faits nouveaux peuvent être signalés concernant l'élaboration de la procédure de détermination de l'émission de SDR vers les sols et les eaux pour les matériaux granulaires. Malgré l'opposition de la France sur le mode opératoire retenu, le texte a été repris conformément aux décisions de la dernière réunion du WG1 et sera mis à l'enquête du TC prochainement.

Cette procédure modifiée, manifestement incohérente et, selon le CTPL, infondée d'un point de vue scientifique, désavantage particulièrement la France eut égard à ses pratiques historiques de caractérisation environnementale. Seuls les conclusions de l'enquête CEN et les résultats du programme expérimental de validation de cette méthode pourraient permettre de remettre en question ce qui ressemble à des « petits arrangements » entre certains experts européens..

Un rapport technique (TR) est également en cours de préparation par un groupe ad hoc du WG1 pour l'écotoxicité des Produits de Construction. Son application, réglementée en Allemagne, ne devrait pas être effective tant que ce document ne sera pas transformé sous forme de TS, voire validé en norme homologuée EN.

WG3 – Radioactivité des Produits de Construction

En juin 2015, le $3^{\text{ème}}$ contrat couvrant les activités du CEN/TC351 a été signé, permettant ainsi au TG31 de lancer l'étude de robustesse pour le projet de norme TS 00351014 «Détermination des concentrations d'activité des radioéléments 226Ra, 232Th et 40K par spectrométrie de rayons gamma $\{\gamma\}$ ».

Des progrès sont donc rapidement attendus sur le sujet au cours des 6 prochains mois, avec la tenue d'une réunion conjointe des TG31 et TG32, fin décembre 2015 en Pologne, puis une réunion plénière du WG3 en avril 2016.

Eaux en danger!

Les laitiers d'aciérie s'attaquent au phosphore

la présence excessive de phosphore dans les eaux de surface est une des causes principales de la dégradation de la qualité de l'eau des lacs, des cours d'eau ou des étangs, entraînant la prolifération d'algues et le développement de bactéries toxiques aux effets dangereux pour la santé humaine et les écosystèmes.



S'il existe de nombreuses solutions pour traiter la présence de phosphore sous sa forme particulaire, il n'existe pas de méthode éprouvée pour gérer le transfert du phosphore sous sa forme dissoute.

Ainsi, aux Etats-Unis, une solution visant à construire un dispositif de filtration mettant en œuvre des laitiers d'aciérie pour capter le phosphore dissout a été expérimentée.

Une piste prometteuse, puisque le dispositif a révélé son efficacité en permettant de capter 67% du phosphore dissout.

Captage du phosphore dissout dans les eaux de ruissellement et de drainage

Enjeux

Le transfert de phosphore (P) depuis les sols vers les eaux de surface est une des causes principales de la dégradation de la qualité de l'eau des lacs, des cours d'eau, des étangs, des estuaires, etc. Un exemple bien connu de ce phénomène fut l'apparition d'algues bleues-vertes dans la partie occidentale du Lac Érié en août 2014. Les algues, qui avaient proliféré en raison de concentrations excessives de P d'origine anthropique et retenu dans les sols superficiels, ont produit une bactérie toxique (microcystine) qui a empêché les citoyens de la ville de Tolède (400 000 habitants) d'utiliser l'eau potable de la ville pendant plusieurs jours1. La bactérie étant résistante à la température, l'ébullition de l'eau ne permettait pas de la rendre potable. En conséquence, il y eut une telle demande d'eau potable embouteillée qu'elle a dû être approvisionnée de l'extérieur de la ville. Les économistes ont évalué à environ 40 millions de dollars la perte subie par la ville durant la semaine concernée. Bien qu'il soit possible de tuer les algues chimiquement, une telle approche est simplement un « emplâtre » temporaire, les algues se redéveloppant éventuellement. Non seulement ceci constitue un problème potentiel pour la santé humaine, mais l'eutrophisation des eaux de surface fait également des ravages sur les écosystèmes et a donc un impact considérable sur les activités de loisir et le tourisme. L'eutrophisation est le processus naturel par lequel une masse d'eau «vieillit» par l'enrichissement des eaux en substances nutritives ; cependant, ce processus peut être accéléré par une pollution ponctuelle ou continue de la source de nutriments. L'eutrophisation augmente le coût de traitement des eaux potables et en diminue la qualité. L'origine du problème réside dans le fait que les algues et les plantes se développent de façon excessive du fait de l'augmentation des quantités de phosphore disponible. Comme avec l'utilisation d'algicides, il est possible d'agir directement dans les lacs

pour réduire la croissance algale en fixant le phosphore à l'aide de produits chimiques tels que l'alun, mais ceci n'enlève pas réellement le phosphore du système qui, finalement, est de nouveau relarqué dans l'eau.

Le phosphore émanant des sols à haute teneur en P est transféré sous deux formes principales : particulaire et dissoute. La forme particulaire est un P attaché aux sédiments et qui peut (ou non) constituer une menace pour les écosystèmes (selon les conditions). En effet, le P particulaire peut ne pas devenir biodisponible du tout. Il existe beaucoup de solutions à ce problème permettant de réduire ou d'éliminer le transfert du phosphore particulaire vers les eaux de surface. Ce sont essentiellement des méthodes destinées à limiter l'érosion des sols.

En revanche, sous sa forme dissoute, le P est 100 % biodisponible pour la vie aquatique, représentant ainsi la forme la plus dangereuse puisqu'il peut être immédiatement assimilé par des organismes. Par contre, dans ce cas, il n'y a aucune solution qui empêche le transfert du phosphore dissout à court terme. Le problème est rendu d'autant plus complexe que la source principale de P dissout - les sols ayant des teneurs élevées en phosphore – sera toujours une source de phosphore pendant des décennies après la fin de la fertilisation des sols.

Quelles solutions : les dispositifs de fixation du phosphore

Une solution à ce problème de transfert de P dissout est un dispositif de captage et de fixation. C'est un filtre de taille importante, en relation avec le site à traiter, dont le but est de piéger et de fixer le P dissout issu de sources ponctuelles identifiées avant qu'il n'atteigne toute masse d'eau superficielle.

^{1 -} Infos en ligne à l'adresse suivante : http://www.lesoir.be/626151/article/demain-terre/2014-08-14/des-algues-vertes-privent-400000-americains-d-eau-potable-pendant-plusieurs-jour

Il y a quatre principes de base auxquels un tel dispositif doit satisfaire :

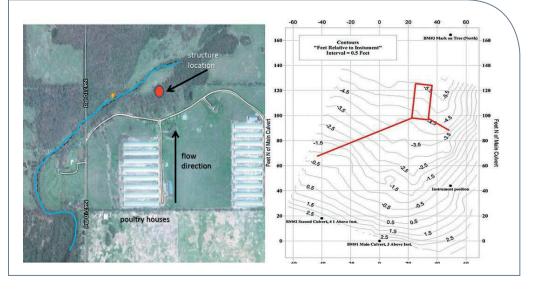
- 1. Il doit contenir une quantité suffisante de matériaux solides présentant une affinité élevée avec le P, généralement appelé «matériaux de sorption du P», ou «PSM» (Phosphorus Sorption Material). Un PSM n'est pas un simple matériau granulaire, bien qu'il puisse en avoir l'aspect, car le matériau doit avoir une forte capacité d'adsorption du P. Les PSMs sont habituellement des sous-produits industriels ou des matériaux spécifiquement fabriqués. Cependant, il y a certains PSMs d'origine naturelle.
- 2. Le PSM est disposé et contenu dans une zone hydrologiquement active, qui présente de hautes teneurs en P dissout.
- **3.** Les eaux fortement chargées en P dissout doivent pouvoir circuler au travers du dispositif à un débit convenable.
- **4.** Le matériau actif du PSM doit pouvoir être installé, enlevé, et remplacé lorsqu'il n'est plus efficace.

De tels dispositifs de captage du phosphore peuvent être utilisés sur des terrains agricoles, résidentiels, des parcours de golf, etc. Ils peuvent être intégrés dans une pente naturelle, partiellement enterrés pour traiter des eaux de drainage circulant sous la surface du sol, ou encore mis en œuvre dans des tranchées de drainage où ils peuvent filtrer le phosphore issu à la fois des eaux de drainage et des eaux de ruissellement.

Objectif du projet

L'objectif de ce projet était de concevoir et de construire un dispositif de filtration du phosphore en vue de capter le P dissout dans les eaux de ruissellement issues d'une ferme d'élevage de volailles située dans l'est de l'Oklahoma. Cette ferme, située à proximité immédiate d'un ruisseau (Figure 1), générait des eaux de ruissellement présentant des concentrations en phosphore dissout allant de 1 à 2 mg/L. Ce projet a été financé par le Natural Resource Conservation Service (NRCS - Service de Conservation des Ressources Naturelles), et piloté en coopération avec le propriétaire de la ferme et le Illinois Watershed Partnership (Partenariat des eaux du bassin de l'Illinois), une organisation à but non lucratif dédiée à l'amélioration de la qualité de l'eau dans le bassin hydrologique de la rivière Illinois.





Conception du dispositif de captage du phosphore

Le relevé du terrain

Afin de pouvoir correctement dimensionner le dispositif de captage du phosphore, des relevés ont été effectués sur le terrain afin d'évaluer les flux maxima de ruissellement engendrés par des orages d'importances variables, le volume moyen annuel des eaux de ruissellement, la moyenne annuelle de la masse de P dissout, et déterminer le meilleur emplacement pour capter ces eaux de ruissellement.

Par une enquête simple, le personnel de terrain du NRCS a collecté les informations nécessaires à l'estimation des débits de pointe et du volume annuel moyen des eaux de ruissellement. Un emplacement particulier, où les eaux de ruissellement convergeaient naturellement, a également été identifié pour la construction du dispositif. La pente a été mesurée à cet endroit puisqu'une différence de niveaux est nécessaire pour assurer un écoulement approprié au sein du dispositif. Pour des configurations de terrains sans relief, les tranchées de drainage offrent un emplacement potentiellement favorable puisque la charge hydraulique peut être générée par la profondeur de la tranchée (Figure 2). Les exploitants de la ferme ont, eux, collecté des échantillons d'eaux de ruissellement à cet emplacement particulier et les ont envoyés à un laboratoire pour mesurer la concentration de P dissout qui, combinée à l'estimation des quantités d'eaux de ruissellement annuelles, ont permis de calculer la charge moyenne annuelle de P dissout (20kg) circulant à cet endroit. A partir de ces informations, les critères de conception ont été définis et il a été décidé de construire un dispositif de filtration de P capable de capter 45% du phosphore total dissout sur une période de 1 an, et de traiter un flux de 2,65 m³/mn.



Le choix du matériau de sorption du phosphore (PSM)

La seconde étape a été de choisir un matériau adapté au dispositif précédemment Plusieurs des **PSMs** disponibles sont co-produits solides des issus de différentes industries, pouvant être obtenus à des prix modérés voire même, exceptionnellement, à titre gracieux. Toutefois, ils doivent tous être au préalable contrôlés en regard de leur éventuel impact environnemental et sanitaire avant d'être utilisés dans un tel dispositif de filtration. En particulier, ces matériaux ont besoin d'être caractérisés en ce qui concerne la solubilité potentielle des métaux lourds et du sodium. Parmi les PSMs disponibles localement, on trouvait des résidus de procédés de potabilisation d'eau provenant de centres de traitement, des laitiers d'aciérie d'une usine sidérurgique, des cendres volantes d'une centrale thermique au charbon, ainsi que des résidus acides de traitement des eaux d'exhaure de mine (Figure 3). Certains de ces matériaux, comme les résidus de procédés de pota-

bilisation d'eau ainsi que les résidus acides

Figure 2
Tranchées de drainage opérées pour offrir un écoulement approprié



Figure 3 Matériaux de sorption du P (PSM) envisagés pour la mise en œuvre du dispositif

d'exhaure de mine, peuvent nécessiter des opérations d'essorage et/ou de dessiccation avant de pouvoir être transportés de façon économique du fait de l'extrême variabilité de leurs teneurs en matière sèche (siccité). Lorsque le matériau est réputé sans risque, les deux facteurs primordiaux quant au choix du PSM sont la capacité d'absorption du P (exprimée comme le ratio entre la masse de P absorbée rapportée à la masse de PSM) et la capacité à permettre la circulation de l'eau (conductivité hydraulique). Le matériau ne doit pas seulement être capable de fixer le P mais sa granulométrie doit aussi permettre à l'eau de circuler en son sein pour être efficace. Les quantités requises en matériaux ayant une forte affinité avec le P seront moindres qu'avec des PSMs de faible capacité d'absorption. De même, des matériaux n'autorisant pas un écoulement suffisamment rapide de l'eau devront être utilisés en couches peu épaisses et donc étalés sur une plus grande surface de façon à permettre un flux suffisant au travers du filtre. En fait, la surface disponible pour la construction du dispositif peut constituer un facteur limitant pour l'utilisation de certains PSMs.

Dimensionnement

Les deux facteurs qui influencent la quantité nécessaire d'un PSM pour un projet spécifique sont la concentration en P dissout du flux entrant et le temps de rétention de l'eau dans le filtre. La durée de rétention est la période pendant laquelle l'eau de ruissellement fortement chargée en P est en contact avec le PSM. L'impact de la concentration en P du flux entrant et de la durée de rétention sur l'absorption de P doit être, soit mesuré directement à l'aide d'une colonne de percolation, soit calculé à l'aide d'algorithmes développés par l'Université de l'Etat de l'Oklahoma sur la base de la composition chimique du PSM. Toutefois, seuls certains matériaux sont sensibles à la durée de rétention; cela peut se déterminer par la caractérisation chimique du PSM. Certains laitiers sidérurgiques sont sensibles à la durée de rétention, alors que d'autres ne le sont pas. En utilisant les informations obtenues lors de la caractérisation physico-chimique de chacun des PSMs testés, en supposant une concentration de 1 mg/L pour le flux entrant (sur la base des mesures effectuées sur le terrain), la conductivité hydraulique du PSM (c.-à-d. la capacité de l'eau à filtrer à travers le matériau), et la pente du terrain, il est ainsi possible de calculer, pour chaque PSM disponible : la masse totale de PSM nécessaire, l'épaisseur de la couche filtrante, et la surface minimum du dispositif.

Le logiciel PhROG (Phosphorus Removal Online Guidance – Guide en ligne du captage du phosphore²) a été développé dans le but de permettre à l'utilisateur d'obtenir en temps réel un dimensionnement adapté aux objectifs ainsi qu'à la durée de vie fixés pour le dispositif, dans un contexte local particulier, et pour un PSM spécifique (comme par exemple un laitier d'aciérie). Les données d'entrée incluent (Figure 4) :

- La concentration typique de P dissout pondéré par le flux,
- Le volume annuel des flux,
- Le flux maximum que l'on souhaite pouvoir traiter avec le dispositif,
- L'objectif maximal de rétention du P sur la durée de vie de l'ouvrage,

- Les caractéristiques physico-chimiques du matériau envisagé (PSM),
- La surface disponible sur le site du projet,
- La charge hydraulique (fonction de la pente du terrain ou de la profondeur de la tranchée de drainage).

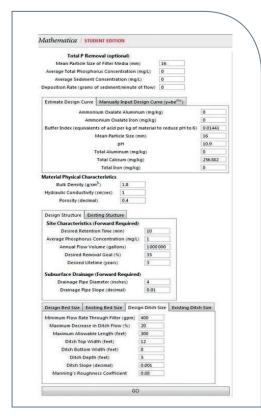


Figure 4 Logiciel PhROG - Données d'entrée

Alternativement, le logiciel PhROG peut également être utilisé pour prédire les performances et la durée de vie d'un dispositif existant de filtration du P.

En s'appuyant sur les données de sortie du logiciel (Figure 5), il a été décidé, pour ce projet particulier, de mettre en œuvre environ 35 tonnes de laitiers d'aciérie avec une granulométrie > 6mm. Ce laitier a été criblé pour enlever les fines, et ainsi améliorer la vitesse d'écoulement de l'eau (drainage) et éviter le colmatage. En dépit du fait que d'autres matériaux PSMs auraient pu être sélectionnés en quantités moindres (2 – 10 tonnes) pour atteindre les objectifs de captage du P et de vitesse d'écoulement, la surface au sol du dispositif aurait dû être beaucoup plus importante du fait des moins bonnes caractéristiques de drainage de ces matériaux comparés au laitier d'aciérie criblé. Le laitier d'aciérie (LAFE) est issu de l'usine sidérurgique Gerdau située à Fort Smith (Arkansas). Il a été criblé dans les installations d'une ballastière située à proximité du site pour enlever les fines < 6mm et transporté sur le site au moyen de tracteurs agricoles et de remorques. L'exploitant de la carrière a réalisé ce criblage à titre gracieux, à condition de pouvoir conserver les fines de laitier ainsi criblées. En effet, ces fines constituent un excellent produit de traitement des sols en place et peuvent également être utilisées en technique routière.

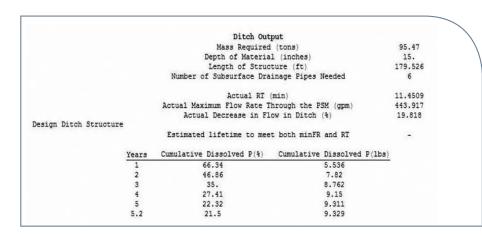


Figure 5 Exemple de données de sortie issues du logiciel PhROG

ETATS-UNIS

Préparation du terrain et construction de l'ouvrage

La plateforme pour l'ouvrage a été préparée au moyen d'une pelle mécanique et d'une mini chargeuse de location. Cela a consisté à creuser d'environ 50 cm en partie amont de la pente et à remblayer en partie aval pour constituer une surface horizontale plane (Figure 6). Les 35 tonnes de laitier d'aciérie criblés sont



Figure 6 Préparation de la plateforme de l'ouvrage

maintenues en place par un cadre métallique de 4 mètres de large, 10 mètres de long et 60 cm de haut. Bien que nous ayons utilisé un châssis métallique pour contenir le laitier, il est important de souligner que d'autres matériaux tels que bois, plastique, béton ou des merlons terre peuvent également être utilisés à cette fin. Une géomembrane a été mise en place entre la surface du sol et le laitier, qui a été mis en place en une

couche de 50 cm d'épaisseur, ce qui correspond par ailleurs à la différence de niveau sur la longueur du dispositif. Ceci est important pour assurer la circulation de l'eau au sein du dispositif. La partie aval du dispositif, à l'extrémité de la sortie du flux, a été partiellement constituée de métal déployé afin de permettre un drainage parfait en sortie du dispositif. La partie amont, à l'extrémité de l'entrée du flux, présente plusieurs drains de 10 cm de diamètre soudés au cadre métallique (Figure 7). La partie avale, également appelée «portail», a été spécialement conçue pour pouvoir ultérieurement retirer et renouveler le laitier utilisé lorsqu'il a perdu sa capacité à capter le P. La totalité du cadre métallique a été construit de facon modulaire dans un atelier dédié situé à Stillwater (Oklahoma). Cela a permis de l'assembler facilement sur site par boulonnage des pièces entre elles.

Figure 7
Partie amont du dispositif :
drains de 10 cm de diamètre soudés
au cadre de la plateforme



Afin de pouvoir capter la totalité des eaux de ruissellement aux alentours de la ferme, deux merlons ont été construits à partir de la partie amont de la structure et en diagonale vers le sommet de la pente (Figure 8). Cela a été fait avec un engin de terrassement lors de la préparation de la plate-forme de l'ouvrage. Les merlons avaient approximativement 1 mètre de large et 50 cm de hauteur, et des longueurs respectives de 30 mètres pour l'un et de 10 mètres pour l'autre, ce dernier buttant sur une colline agissant déjà naturellement sur l'orientation des eaux de ruissellement. La durée totale d'exécution de ces merlons a été de 4 heures environ. Après leur mise en forme, ils ont été arborés par des plantes résistantes au froid et recouverts d'un géotextile de protection contre l'érosion.

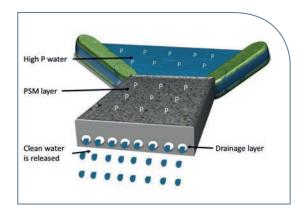


Figure 8
Merlons construits pour capter la totalité
des eaux de ruissellement aux alentours
de la ferme



Figure 9 Photo du dispositif achevé

Un tuyau de drainage perforé a été placé sur la membrane avant que le laitier ne soit versé et étalé à l'intérieur du cadre métallique à l'aide de la mini-chargeuse. Ce tuyau permet à l'eau filtrée de sortir du lit de laitier à travers le métal déployé à la « porte » de l'ouvrage. Avant que le cadre ne soit rempli avec les 50 cm de laitier, un tuyau perforé de 10 cm a été connecté aux tubes d'entrée de l'eau situés en partie amont afin de distribuer de façon égale le flux entrant sur la couche de laitier en cas de flux faibles.

La construction a été achevée en octobre 2013 (Figure 9).

Suivi de l'efficacité du dispositif mis en place

L'efficacité du dispositif de captage du P est contrôlée par des mesures automatiques de débit ainsi que des prélèvements automatigues (auto-samplers ISCO) de l'eau. Un canal équipé d'un débitmètre (ISCO Bubbler module 720) permet une mesure de débit toutes les minutes. Les dispositifs de prélèvements automatiques (un pour prélever les eaux avant traitement et un autre pour les eaux traitées) sont programmés pour commencer les prises d'échantillons toutes les 10 mn après la détection d'une arrivée d'eau en amont du dispositif. Les échantillons sont ensuite retirés des préleveurs automatiques après un phénomène de ruissellement et emmenés au laboratoire pour analyse du P

dissout. En combinant les données de débit et de la concentration de P avant et après traitement, on peut ainsi calculer les quantités de P captées par le dispositif.

Depuis la fin de la construction de l'ouvrage (15 mois à la date de rédaction de cet article), le dispositif a capté 67% (en cumulé) de tout le P dissout qui y est passé (Figure 10). Le ruissellement ponctuel le plus important a

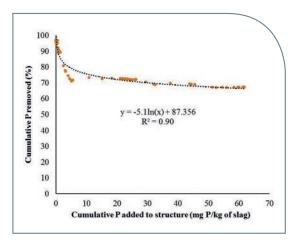


Figure 10 67% du phosphore dissout a été capté par le dispositif

généré un débit de 2,3 m³/mn, contenant 300 g de P dissout. Le dispositif conçu a été capable de capter 66% de cette charge. Le système a ainsi d'ores et déjà dépassé son espérance de vie calculée lors de la conception (45% sur une durée de 12 mois), essentiellement du fait qu'il y a eu moins de précipitations qu'initialement anticipé sur cette période. Toutefois, et sur la base du P fixé par le laitier, la quantité mesurée de P capté

est très proche des chiffres prédictifs fournis par le logiciel lors de l'étude de dimensionnement du dispositif.

La durée de vie utile est complètement dépendante de la conception. Ce dispositif était conçu pour capter 45% du phosphore entrant en 1 an, durée au bout de laquelle le PSM devait être changé. Une autre option aurait été de laisser le matériau pour une durée de 3 ans, durée pendant laquelle il aurait fixé, en cumulé, 20% du P dissout, avant de perdre son efficacité. Bien évidemment, la capacité d'un PSM à continuer à capter le P décroit en même temps qu'il se sature de P. Les estimations, la conception et le dimensionnement sont tous fondés sur des quantités moyennes annuelles de précipitation. Ainsi, s'il ne pleut pas beaucoup, le matériau restera efficace plus longtemps, ce qui a été le cas dans ce dispositif expérimental.

Coût, entretien et élimination

L'un des bénéfices d'un dispositif de captage du phosphore est que la majorité des coûts et de la main-d'œuvre sont liés à la construction initiale permanente. Après la phase de construction, il n'y a besoin que de très peu ou pas d'entretien et le seul coût réside dans le remplacement et l'élimination du PSM après qu'il ait perdu son efficacité.

Selon le type de PSM choisi, le matériau utilisé peut être épandu sur le sol. Alors que le matériau contient clairement plus de P que sous sa forme initiale, avant sa mise en œuvre au sein du dispositif, ce P n'est majoritairement pas assimilable par les plantes et donc la majorité des matériaux concentrés en P ne pourront pas être utilisés comme fertilisant agricole. En fait, le phosphore est si fortement fixé au sein de la matrice minérale que seule une très faible quantité peut être lixiviée dans des conditions naturelles. En revanche, beaucoup de PSMs peuvent être bénéfiques aux sols par l'apport de nutriments secondaires comme le calcium.

le silicium, le soufre et le magnésium et permettent d'accroître la capacité de rétention des nutriments dans les sols. Des PSMs potentiels comme le gypse améliorent également les propriétés physiques des sols lorsqu'ils sont épandus sur des sols de mauvaise qualité. En ce qui concerne le laitier sous forme de gravillons, tel qu'il a déjà été utilisé dans des structures de ce type, il a été réutilisé pour améliorer des chemins non revêtus. En fait, l'utilisation la plus commune de laitier d'aciérie est faite par les Départements de Transport d'Etat (DOTs – Departments Of Transportation) comme matériau de construction routière.

En ce qui concerne la construction initiale, le châssis métallique a couté 2 400 €3 (USD 2,677) pour une fabrication sur mesure dans un atelier local. Le transport des 35 tonnes de laitier jusqu'au site a représenté un coût assez conséquent d'environ 810 € (USD 900). Les travaux de terrassement (préparation de la plateforme et des merlons) ont été sous-traités pour environ 810 € (USD 900), et les dépenses de géotextile anti-érosion, peinture et graines d'ensemencement se sont élevées à 540 € (USD 600). Le coût total de l'investissement d'un tel dispositif ressort donc à environ 4 500 € (USD 5,000). Dans des conditions de pluviométrie normales, le PSM doit capter environ 45% de la quantité totale annuelle de P dissout dans les eaux, et, dans le cas où le matériau n'est pas remplacé après cette première année, il continue malgré tout encore à en fixer 20% en cumulé sur une période de 3 ans. Si on suppose que le remplacement s'effectue sur une base annuelle, le coût annuel de renouvellement est estimé à 1 100 € (USD 1,200). Ce dispositif ayant été conçu pour capter 9 kg (20 lbs) de P dissout pas an, le coût cumulé de captage du phosphore est d'environ 160 €/kg de P enlevé sur une période de 7 ans (USD 80/lb). Bien évidemment, cette estimation n'est valable que pour ce projet particulier et les coûts varient en fonction de chaque configuration des sites. D'une façon générale, on estime que le coût de rétention du P par cette technologie varie de 60 à 200 €/kg (USD 30 à USD 100). Bien qu'il n'existe pas d'autre solution qui puisse lui être comparée, on peut comparer le coût de cette technique au coût de traitement du P dans des stations d'épuration des eaux usées, qui va de 100 € à 400 €/kg de P dissout (USD 50 à USD 200). Il faut garder en mémoire que cette estimation ne concerne que le P dissout. En réalité, et bien que le dispositif ne soit conçu que pour fixer le P dissout, il contribue également à filtrer et retenir une large quantité de P particulaire qui n'est pas non plus pris en compte dans ce calcul économique.

Un tel dispositif sera efficace à condition de respecter les quatre principes de base énoncés au début de cet article :

- choix d'un PSM avec une forte capacité de sorption.
- choix d'un emplacement judicieux pour traiter les eaux,
- conductivité hydraulique adaptée au sein du dispositif,
- possibilité de remplacer le PSM en fin de vie utile.

Chaque site étant spécifique et unique, la conception du dispositif devra être adaptée.

Perspectives et opportunités

Il existe bel et bien une demande pour cette technologie émanant des milieux agricoles, horticoles, résidentiels et de loisirs (terrains de golf). Néanmoins, à l'heure actuelle, il n'existe pas de société capable de concevoir et de construire ce type d'installation de captage de P. Le NRCS commence à subventionner cette technologie dans plusieurs états, et il est plus que probable qu'elle fera également l'objet d'une inscription dans le cadre des technologies subventionnées à l'échelle fédérale.

L'Université d'Etat de l'Oklahoma a développé un logiciel destiné à aider les utilisateurs potentiels à concevoir de tels dispositifs afin d'en simplifier la prescription. En se fondant sur plusieurs données en provenance du site envisagé, des objectifs de captage de P, de la durée de vie utile de l'ouvrage, et des analyses du PSM choisi, le logiciel PhROG permet de fournir en retour les quantités de matériau PSM nécessaires et la configuration du dispositif qui pourra être utilisé afin d'atteindre les objectifs visés. Ce logiciel est applicable à tout type de dispositif qui pourrait être mis en œuvre, prenant également en compte la possibilité d'installer des filtres dans des tranchées de drainage.

Que sont devenus

les laitiers en 2014?



Comme chaque année et pour la dixième année, le Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (CTPL) a lancé en 2014 l'enquête nationale relative aux flux de laitiers sidérurgiques produits sur le territoire national et à leurs principales filières d'utilisation par les différents secteurs industriels.



Production et affectation des laitiers sidérurgiques en 2014

La consolidation des données (cf. Tableau 1) fait apparaître une amélioration sensible de la production annuelle des laitiers, en particulier la progression de la production des laitiers issus de la filière « fonte » (ou « intégrée » : LHF et LAC). Depuis la crise économique, qui a touché très durement l'industrie sidérurgique à partir d'octobre 2008 et sur toute l'année 2009, les niveaux de production se sont établis, ces cinq dernières, années entre 4,8 et 5,3 millions de tonnes pour l'année 2014, année « record », mais cependant toujours 10 % en deçà des niveaux connus avant la crise.

Le tableau suivant illustre l'évolution des productions de ces dernières années.

Compte tenu des filières habituelles de valorisation des laitiers (bâtiment pour les liants hydrauliques, et travaux publics pour les granulats), les quantités de laitier utilisées marquent une baisse significative, affectées par la baisse drastique du marché de la construction. Ceci est particulièrement vrai pour les laitiers de haut-fourneau, majoritairement granulés pour la production de liants hydrauliques (ciments, additions pour les bétons, liants hydrauliques routiers, ...). L'absence de mise en chantier de gros projets consommateurs de granulats a également affecté l'utilisation des laitiers d'aciérie.

Tableau 1 Synthèse des productions de laitiers (en kT)

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

Laitiers de haut fourneau

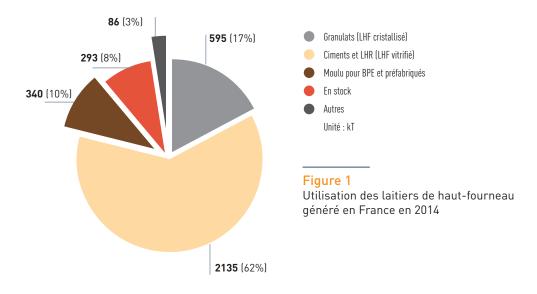
La production de laitiers de haut-fourneau s'établit pour l'année 2014 à 3,4 millions de tonnes, issues des sites Arcelormittal de Fos-sur-Mer et Dunkerque¹, ainsi que du site Saint-Gobain de Pont-à-Mousson. Le ratio entre la partie cristallisée (20%) et celle

granulée (80%) montre une évolution significative par rapport à 2013, compte tenu du démarrage en juillet 2014 de la seconde installation de granulation sur les hautsfourneaux de Fos.

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

La figure 1 montre qu'une majorité des tonnages produits (72%) est valorisée sous forme de laitier vitrifié comme constituant de liants hydrauliques par l'industrie cimentière (62%) et comme addition pour béton (10%) à destination de la construction de bâtiments et d'ouvrages (ciments et additions) et, de façon plus marginale, en technique routière (liant hydraulique routier); ceci correspond à la majeure partie de la fraction vitrifiée (72% sur les 80% produits) des laitiers de haut-fourneau.

En 2014, 17% des laitiers de haut-fourneau, produits sous forme cristallisée, ont été valorisés comme granulats en technique routière. D'autre filières d'utilisation du laitier de haut fourneau cristallisé, encore marginales (3%), continuent à se développer, par exemple pour la fabrication de laine de roche. Seulement 8% des flux n'ont pas été valorisés au cours de l'année, mais restent, sur les sites, en attente de conditions locales plus favorables pour les marchés des liants hydrauliques et des granulats.



Laitiers d'aciérie

Les 21 réponses reçues de la part des 25 sites sidérurgiques français produisant des laitiers d'aciérie représentent plus de 99% des tonnages de laitiers d'aciérie produits annuellement en France, à savoir près de 2 millions de tonnes pour l'exercice 2014. Parmi les laitiers d'aciérie, on peut distinguer trois grandes familles :

Les laitiers de convertisseur (LD ou LAC)

Les laitiers de convertisseur à oxygène (appelés aussi laitiers LD ou LAC), issus de la filière fonte, représentent 62% des tonnages de laitiers d'aciérie produits en 2014 (environ 1,18 million de tonnes). Près des deux tiers des flux produits (62 %) trouvent des filières de valorisation : pour 44% des tonnages produits, ces laitiers ont été utilisés en technique routière comme granulats ou comme constituant de liants hydrauliques

routiers, 13% en recyclage interne au niveau des sites sidérurgiques, et 5% vers d'autres filières encore marginales (amendements agricoles, ...), mais économiquement intéressantes et en développement.

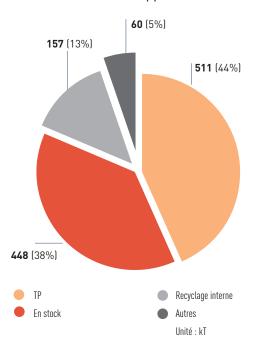


Figure 2
Orientation des laitiers de convertisseur générés en France en 2014

Un peu plus d'un tiers des tonnages (38 %) n'a pas trouvé de débouchés en 2014, compte tenu essentiellement de conditions de marché locales difficiles, mais aussi de renégociations de certains contrats avec les co-traitants souvent chargés de la valorisation. L'année 2015 ne devrait pas forcément être plus propice à la valorisation de ces flux, compte tenu du contexte économique qui demeure particulièrement difficile dans le secteur des travaux publics.

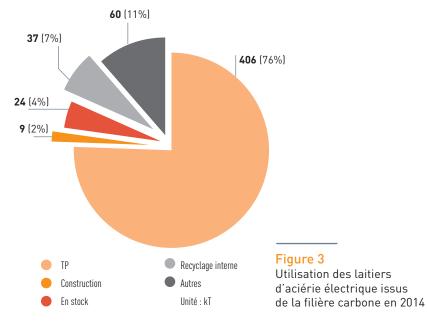
Les laitiers d'aciérie électrique issus de la filière aciers carbone (LAFE carbone)

Ils représentent 26 % des tonnages de laitiers d'aciérie produits en 2014, soit un peu plus de 0,53 million de tonnes.

Compte tenu des propriétés intrinsèques très qualitatives de ces laitiers, l'essentiel des tonnages (76%) est utilisé comme granulats en technique routière. Seule une faible proportion part encore vers le stockage temporaire (4%), en attente de débouchés et de conditions locales de marché plus favorables.

Tout comme l'année précédente, des efforts ont été réalisés au niveau des sites sidérurgiques en termes de recyclage interne des laitiers, passant de 1% en 2012 à 7% en 2013 et 2014 ; cela semble donc devenir une pratique régulière pour certains sites de recycler ses laitiers au sein de son process... une parfaite illustration d'une économie circulaire en quelque sorte.

Par ailleurs, l'orientation vers d'autres filières a augmenté significativement (passant de 7% en 2013, à 11% en 2014), au travers d'usages innovants des LAFE pour le filage de laine de roche, la fabrication d'amendements agricoles, l'utilisation pour le traitement d'eaux usées, ou encore la valorisation comme tout venant pour la constitution de buttes paysagères ou de merlons phoniques.



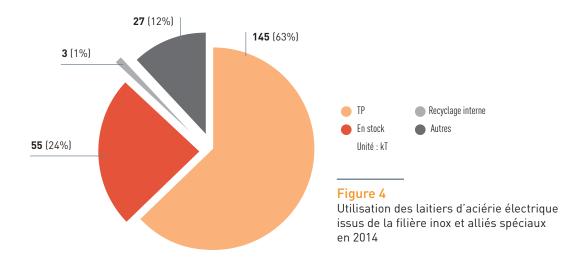
Les laitiers d'aciérie électrique issus de la filière aciers inoxydables et alliés (LAFE inox et alliés)

Ils représentent en 2014 11% des tonnages produits sur le territoire, soit environ 0,23 million de tonnes.

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

- 63% sont utilisés en technique routière,
- 12% en traitement pour la récupération des fractions métalliques et des oxydes,
- 24% vont en stockage interne en attente de débouchés.
- 1% utilisé en recyclage interne.

Aucun tonnage de ces laitiers n'est orienté vers le stockage réglementé.



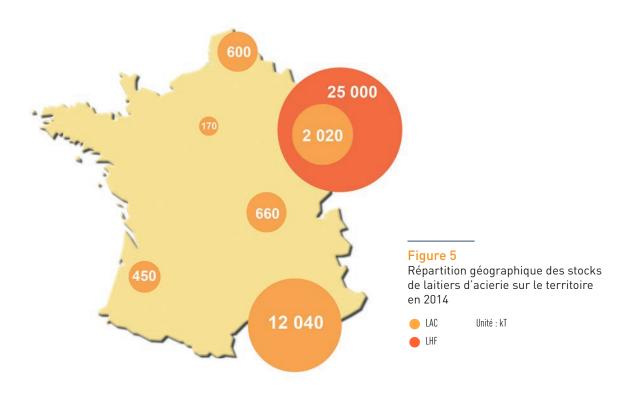
Gestion des stocks historiques

A la fin de l'année 2014, les stocks de laitiers recensés restent encore importants à l'échelle du territoire (près de 40 millions de tonnes), en particulier pour les laitiers de haut-fourneau cristallisés issus du passé (XIXème et XXème siècles – environ 25 millions de tonnes), ou encore les laitiers de convertisseur issus de la filière fonte (environ 13 à 14 millions de tonnes), stocks auxquels la sidérurgie ne s'est réellement intéressée qu'à partir des années 2000.

En comparaison, et compte tenu de la

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

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



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

Rendez-vous à l'adresse suivante :

- Pour les laitiers de haut-fourneau http://www.ctpl.info/wp-content/uploads/2015/06/CTPL-laitiers-HF-2014-2013.pdf
- Pour les laitiers d'acierie

http://www.ctpl.info/wp-content/uploads/2015/06/CTPL-Stats-laitiers-acierie-2014-2013.pdf

Eaux usées :

Les laitiers démontrent leur efficacité





Depuis plusieurs années, la réglementation concernant la concentration de phosphore dans les eaux usées traitées devient de plus en plus contraignante en Europe et en France, en particulier pour les collectivités de moins de 10 000 EH.

Depuis 2000, des recherches, essentiellement menées en laboratoire, sur l'utilisation des co-produits industriels en tant que matériaux réactifs pour capter le phosphore dans les eaux ont été menées, sans qu'il existe de résultats à l'échelle industrielle. De même, outre atlantique, des filtres plantés mettant en œuvre des laitiers ont été expérimentés et ont fait ressortir certaines limites dans le temps.

C'est dans ce contexte que le projet SLASORB, qui consiste à traiter les eaux usées par un procédé original de captage du phosphore en utilisant des laitiers sidérurgiques, a été initié à l'échelle européenne. Ses enseignements étant très encourageants, la prochaine étape consistera à créer un site à grande échelle pour servir de vitrine à cette technologie. Il ne reste plus qu'à convaincre un premier client!

Photo de la station à filtres plantés de roseaux dans la commune de Mouthier d'Ahun (23) - © Mudet Marcel

ENVIRONNEMENT

Utilisation des laitiers pour le traitement des eaux usées

Contexte général

Le phosphore organique contenu dans les eaux usées municipales provient essentiellement des déjections humaines. En France, la production moyenne de phosphore organique est d'environ 1,5 g de phosphore par jour et par personne. Cela correspond, compte tenu d'une consommation d'eau d'environ 150 L par personne par jour, à une concentration de P dans les eaux usées non traitées de 10 mg /L.

En France, le contexte réglementaire pour le traitement des eaux usées est en pleine évolution depuis une vingtaine d'années. En effet, malgré la Loi sur l'Eau du 3 janvier 1992, une étude mandatée par le Sénat a prouvé en 2003 que la qualité des eaux de surface n'avait pas été améliorée (Miquel, 2003). Au regard de la situation actuelle, l'état a alors promulgué la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006, implémentant ainsi les exigences européennes de la Directive

Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000, qui vise à atteindre le «bon état écologique des eaux et des milieux aquatiques» d'ici à 2015. Concrètement des normes de rejet, déjà appliquées pour les stations d'épuration de plus de 2000 EH¹, ont été étendues afin de réduire la pollution azotée et phosphorée en sortie des petites et très petites stations d'épurations.

A l'heure actuelle, les normes de rejet des stations d'épuration des petites collectivités inférieures à 2000 EH sont définies selon l'Arrêté du 22 juin 2007, ou par arrêté préfectoral (décret du 3 juin 1994) pour les zones sensibles. Ainsi, on peut donc s'attendre à voir de plus en plus souvent des normes de rejet qui soient fixées à 2 mg/L (voire parfois moins) pour des petites stations. En France, les cartes de délimitation des zones sensibles ont été arrêtées le 23 novembre 1994 par le Ministère en charge de l'environnement et sont actualisées au moins tous les 4 ans dans les conditions prévues pour leur élaboration. La dernière mise à jour est proposée en Figure 1.

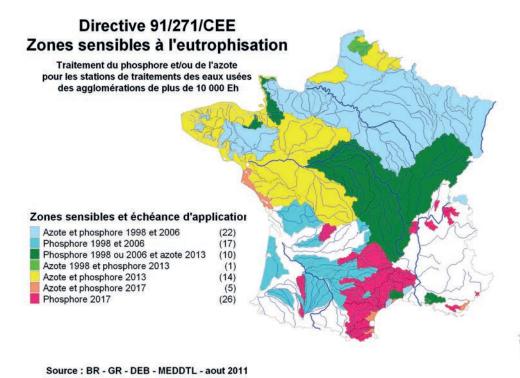


Figure 1
Zones sensibles en France
(Directive du conseil
n° 91/271/CEE, 1997)

1 - EH : équivalent habitant

Dans les grandes stations d'épuration destinées aux villes de plus de 20 000 habitants, le phosphore est traité par des procédés physico-chimiques intensifs (coagulation, floculation, ajout de sels de fer ou d'aluminium). Ces technologies appliquées pour les petites stations sont plus coûteuses et encore mal maîtrisées, même si ces dernières années plusieurs réalisations de pleine échelle ont été construites.

Une évolution très rapide de la réglementation

La directive européenne n°91/271/CEE du 21 mai 1991, relative à l'épuration des Eaux Résiduaires Urbaines (ERU), exige la collecte et le traitement des eaux résiduaires urbaines en fonction d'une part de la taille de l'agglomération et d'autre part de la sensibilité à l'eutrophisation du milieu récepteur.

La directive stipule qu'une masse d'eau doit être identifiée comme «sensible» si :

- > elle est eutrophe² ou pourrait le devenir à brève échéance en l'absence de mesures de protection,
- > il s'agit d'une eau douce de surface destinée au captage d'eau potable qui pourrait contenir une concentration de nitrate supérieure à celle prévue par la directive 75/440 (directive relative à l'eau potable) soit 50 ma/l.
- > un traitement plus rigoureux au sens de la directive est nécessaire pour satisfaire aux objectifs d'autres directives.

La réglementation française montre une évolution très significative du nombre de zones sensibles au cours de ces 20 dernières années. Ainsi, la législation impose, dans les zones définies comme sensibles par chaque Etat (P > 50 μ g/L et chlorophylle > 30 μ g/L - CEC, 1991, 1998), qu'après épuration, les eaux rejetées doivent contenir des concentrations de phosphore total (moyenne annuelle) inférieures à :

- >> 2 mg/L pour les agglomérations de 10 000 à 100 000 EH.
- >> 1mg/L pour les agglomérations de plus de 100 000 EH.



Figure 1: Zones sensibles - Directive 91/271 (source Direction de l'Eau; http://sandre.eaufrance.fr/geovie

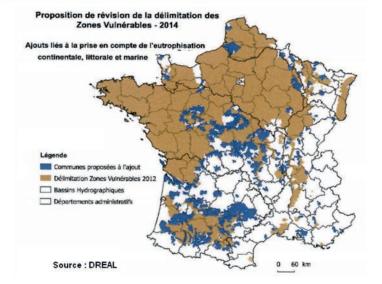


Figure 2 Evolution du territoire national couvert par des zones sensibles

2- L'eutrophisation est la conséquence d'un enrichissement excessif en nutriments (azote, phosphore) conduisant à des développements végétaux anormaux. Ce phénomène est également fonction des conditions physiques d'écoulement (notamment vitesse d'écoulement et ensoleillement qui influent sur la température de l'eau). La pollution domestique et la pollution agricole sont les causes anthropiques majeures d'enrichissement en nutriments des masses d'eau.

Cependant, dans ce contexte où de nouvelles zones sensibles sont désignées par l'Union Européenne, un nombre croissant de collectivités < 10 000 EH et d'industriels sont également soumis à des normes de rejets en phosphore contraignantes.

Aussi en France, la pratique de la déphosphoration des eaux usées s'appuie encore aujourd'hui sur des règles antérieures aux textes des années 90. Il est ainsi courant que des stations d'épuration (STEP) de capacité inférieure à 10 000EH comprennent une contrainte minimum sur le rendement ou une concentration maximale de sortie en phosphore, et cela que l'installation soit située en zone sensible ou non.

Même si les STEP définies en zones sensibles (> à 10 000 EH) regroupent 440 stations et représentent une charge équivalente à 30 millions d'EH, le procédé de traitement du phosphore par matériau spécifique que l'on se propose de développer vise des collectivités de taille inférieure à 10 000 EH.

Une solution innovante : l'utilisation de filtres à laitiers pour capter le phosphore des eaux usées

L'idée d'utiliser les laitiers issus de fours à arc électrique (LAFE) ou de convertisseurs (LAC) n'est pas complètement neuve, puisque ce procédé a déjà été expérimenté outre-Atlantique (cf. Revues Laitiers Sidérurgiques n°86-87, 89-90, 91 et 95). Ces dernières années, plusieurs études internationales ont démontré que l'utilisation de matériaux réactifs ayant une grande affinité pour l'enlèvement du phosphore était une technique adaptée aux besoins des petites installations.

Dans les filtres plantés, les rejets en phosphore (P) sont diminués par une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques, tels que la sédimentation, la précipitation, l'adsorption sur les matériaux de remplissage, l'assimilation par les plantes et les transformations microbiennes. Toutefois, les deux seuls processus durables sont

la fixation par un média de filtration (Dunne et al. 2012, Pant et al. 2011) et l'assimilation par les végétaux (environ 5 à 15 %). En outre, l'assimilation du phosphore par les plantes n'est permanent que si les plantes sont faucardées régulièrement (Mann 1990); dans le cas contraire, le phosphore assimilé retourne au système lors des processus de décomposition. Sous des climats tempérés, des rendements moyens annuels de rétention en P de 20 % sont généralement observés durant une dizaine d'années, alors qu'au-delà on suppose que les rendements chutent (Vymazal 2004).

Dans le contexte actuel de durcissement des normes de rejets, y compris pour les petites stations d'épuration, une solution adaptée est nécessaire pour les filtres plantés. L'utilisation de matériaux réactifs pour retenir le phosphore sur une phase solide par des mécanismes d'adsorption et/ou de précipitation est une alternative pour conserver le caractère extensif des filtres plantés. Dans ce contexte, une synthèse bibliographique de 64 articles scientifiques concernant des matériaux utilisés pour l'élimination du phosphore a été réalisée (Vohla et al. 2011).

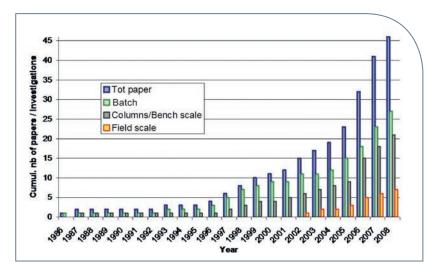


Figure 3
Evolution et nombre d'études portant sur l'utilisation des co-produits industriels utilisés en tant que matériaux réactifs pour compléter le traitement du P des filtres plantés

ENVIRONNEMENT

Les matériaux ont alors été classés en trois catégories selon leurs origines : matériaux naturels, matériaux manufacturés, co-produits industriels. Compte tenu des coûts des différents matériaux et de la disponibilité des ressources, une attention plus particulière a été portée aux matériaux dits «co-produits» industriels (Chazarenc et al. 2008), dans laquelle 46 articles ont été synthétisés en juillet 2008.

Depuis les années 2000, un effort de recherche sur l'utilisation des co-produits industriels en tant que matériaux réactifs pour capter le P des eaux usées a été observé. D'une façon générale la capacité de rétention du phosphore par les matériaux étudiés a principalement été estimée en laboratoire dans des essais statiques (essais flacons ou batch). Il existe peu d'essais dynamiques de laboratoires (colonnes ou réacteurs alimentés en continus avec un effluent synthétique ou réel), et encore moins de résultats provenant d'essais à l'échelle industrielle de démonstration de terrain (3). C'est dans ce contexte que le projet SLASORB a été initié.

Lancé en juillet 2009, le projet européen SLASORB (pour «using SLAg as SORBent to remove phosphorus from wastewater») vise à traiter les eaux usées par un procédé original : capter le phosphore en utilisant des laitiers sidérurgiques.

Pour développer ce concept et à l'initiative du Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (CTPL), Florent Chazarenc a réuni différentes entreprises et centres de recherches partenaires pour répondre aux appels à projets européens. Un consortium européen a ainsi vu le jour, rassemblant non seulement ArcelorMittal, numéro un mondial de l'acier, mais aussi des PME dont:

 Akut, qui opère dans le traitement des eaux usées à Berlin,

- Epur Nature, spécialiste des filtres plantés de roseaux basé en Avignon,
- Des laboratoires publics et privés : l'Ecole des Mines de Nantes, coordonnateur du projet, et deux laboratoires allemands, FeHS et ArGe-HK.

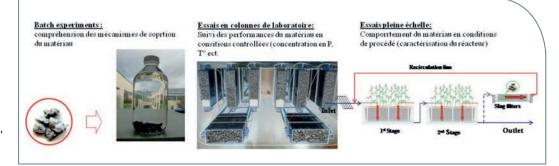
Le démarrage du programme SLASORB a lieu en juillet 2009, pour une durée initiale de 36 mois - avant une prolongation de six mois, le projet s'étant effectivement achevé en décembre 2012.

SLASORB Démarche générale

La démarche suivie a consisté à faire des analyses fondamentales sur les laitiers pour comprendre les mécanismes de captage ainsi que les limites d'utilisation de ces matériaux, puis à tester le procédé en laboratoire, avec des réacteurs de 60 litres. avant de passer à une expérimentation sur des réacteurs d'un volume total avoisinant les 6 mètres cubes en conditions réelles. Enfin la démarche a inclu une étude du potentiel d'utilisation du laitier saturé en phosphore en tant que fertilisant agricole. Le consortium s'est également intéressé aux processus de dépollution liés aux phénomènes physiques et chimiques au niveau microscopique, puis au niveau procédé (notion de réacteur, mesure des performances hydrauliques et épuratoires), pour parvenir au niveau global (filière de traitement, performances du couplage de plusieurs types de réacteurs). Cette approche a donc mené au suivi des performances de rétention en phosphore de matériaux réactifs depuis les essais en flacons (batch) jusqu'aux essais à pleine échelle en conditions de procédés (Figure 4).

Figure 4

Essais multi échelle pour caractériser un matériau réactif pour capter le phosphore des eaux usées. Depuis la compréhension des phénomènes microscopiques jusqu'à la filière de traitement (Projet SLASORB, Doctorat de Cristian Barca)



Résultats du projet SLASORB

Essais en laboratoire : Disponibilité et qualité des matériaux en Europe

La première partie du projet a été consacrée à l'étude des critères permettant de sélectionner les laitiers adaptés au traitement de l'eau. Ensuite, les travaux ont porté sur l'analyse de la quantité de laitiers disponibles en Europe pour traiter les eaux usées. Des échantillons de laitiers de 10 usines représentatives de la production européenne ont été testés. Des analyses de composition en fluorescence X, analyse ICP-OES et des isothermes d'adsorption ont permis de faire un premier classement. Ces analyses ont rapidement permis de dégager les caractéristiques désirables pour un laitier utilisable en traitement de l'eau :

- Les laitiers doivent être disponibles sous formes de granulats, dont la taille doit être comprise (criblage spécifique) entre 5 et 15 mm,
- La disponibilité sur le marché à long terme des laitiers doit être assurée,
- Le laitier doit avoir une teneur en CaO élevée.
- Le laitier doit avoir une teneur en Fe (oxydes) élevée,
- Lorsque le laitier est en contact avec l'eau, le relargage d'ions Ca²⁺ ne doit être ni trop rapide ni trop lent,
- Le relargage d'autres éléments doit être compatible avec les normes de rejet environnemental.

Sur la base de ces critères, les laitiers de haut-fourneau (LHF) ont été rapidement écartés, compte tenu de leur teneur potentielle en sulfures (éléments indésirables en traitement de l'eau), et de leur pauvreté (relative) en CaO et en Fe, comparativement aux laitiers de convertisseur (LAC) et d'aciérie électrique (LAFE). Par ailleurs, ils ont déjà une valeur commerciale conséquente comme granulats en construction routière (LHF cristallisés), ou comme liant hydraulique ou constituant du ciment (LHF granulés), où ils sont déjà totalement valorisés.

Les essais en flacon (batch) par mesure des isothermes permettent de déterminer la capacité maximale de rétention et permettent de comprendre le mode de rétention du P. Les résultats de ces essais en flacons ont été modélisés après 24 heures (équilibre atteint seulement pour certains laitiers), puis après 96 ou 168 heures (pseudo-équilibre atteint, captage du P observé < 0.001 mg P/h). La synthèse des résultats est présentée sur la Figure 5.

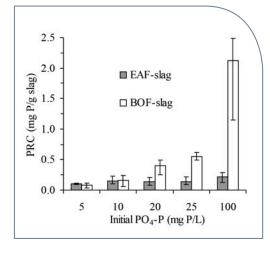


Figure 5
Valeurs moyennes de rétention maximale après 7 jours de tests en flacon (batch) : résultats pour les LAFE (EAF slag) (4-5) et les LAC (BOF slag) (1-3). Les barres indiquent la plage de valeurs des capacités. (Barca et al. 2012)

Les résultats montrent que les capacités maximales de rétention sont du même ordre de grandeur pour les co-produits industriels. Les mécanismes de sorption, assez rapides et bien modélisés par l'isotherme de Langmuir semblent principalement intervenir pour les LAFE. Le modèle de Freundlich semble plus adapté aux matériaux plus riches en calcium comme les LAC. Bien qu'il ait été extrêmement difficile d'identifier clairement les mécanismes responsables du captage du P au cours des essais en flacon, plusieurs paramètres ayant une forte incidence sur les résultats ont été mis en évidence, tel que la présence de calcium et d'ions hydroxydes issus de la dissolution d'une partie des matériaux réactifs.

Sur la base de considérations techniques, principalement au regard de la stabilité du volume des matériaux (expansion), il ressort de cette étude que la majorité des laitiers de four à arc électrique (LAFE) sont potentiellement utilisables pour le traitement des eaux

ENVIRONNEMENT

usées sous réserve de ne pas observer de relargage d'éléments indésirables en suivant les méthodes présentées dans le tableau 2. La concentration plus élevée en CaO des laitiers de convertisseur (LAC) nécessite de respecter certaines limitations telles que proposées au sein du tableau 1. Selon les résultats des nombreux tests qui ont été menés, il ressort de notre étude que 5 tests sont incontournables pour la sélection des laitiers pour le traitement des eaux usées. Le tableau 1 synthétise ces essais et les recommandations associées.

Les colonnes de grande taille ont été remplies avec les LAFE et les LAC de granulométries supérieures (colonnes «EAF-big» et «BOF-big», respectivement), tandis que les colonnes de petite taille ont été remplies avec les LAFE et les LAC de plus faible granulométrie (colonnes «EAF-small» et «BOF-small», respectivement) (figures 6 et 7).

Pendant toute la durée des opérations, les colonnes ont été alimentées avec une solution synthétique de P (environ 10 mg /L, eau du robinet + KH2PO4), par un flux continu horizontal sous-surfacique de 0,6 L/h

Tableau 1

Paramètres nécessaires pour la sélection de laitiers pour le traitement des eaux usées (SLASORB 2012).

	Mandatory					
	Cohesion		Premoval capacity	Leaching tests	Composition (XRF)	
	Particle Size (mm)	Volume increase Stem test (EN 1744-1)	Batch test 7 days contact time (adapted from ASTM 4646-3) max removal capacity (mgP/g slag)	EN-1247-2 and DIN 19528	Fe ₂ O ₃	CaO
EAF	5-40 (15)	< 5%(<2%)	Fin 10 mgP/L: > 0,10 (0,20)		>40%(45%)	>20%(25
BOF	5-40 (15)	< 5%(<2%)	Pin 100 mgP/L: >2,0 (2,5)	2003/33/Ec ^a for all metals and heavy metals	>25%(30)	>40%(50

En d'autres termes, la plupart des laitiers produits sous forme granulaire et qui sont couramment utilisés pour la construction de routes, sont potentiellement utilisables pour le traitement des eaux usées.

Résultats en colonnes (adapté de Barca et al. 2014)

Les échantillons de laitiers utilisés dans cette étude ont été choisis en fonction de leur capacité maximale de captage en P qui a été déterminée au cours de l'étude en flacon (batch). Deux granulométries ont été testées : petite (5-16 mm pour les LAFE, 6-12 mm pour les LAC), et grande (20-40 mm pour les LAFE, 20-50 mm pour les LAC). Ces granulométries ont été choisies pour éviter le colmatage des colonnes. Le dispositif expérimental était composé de quatre colonnes réalisées selon deux designs différents : deux colonnes de petite taille (environ 42 L de volume total), et deux colonnes de grande taille (environ 84 L de volume total).

(colonnes de petite taille) et 1,2 L/h (colonnes de grande taille). Cela correspond à un temps de séjour hydraulique évalué sur le volume des vides (HRTv) d'environ 24 h. La concentration en phosphore d'entrée de 10 mg/L a été choisie pour être représentative de la concentration typique d'une eau usée domestique.

Les colonnes ont été suivies pendant une durée de 100 semaines (2 ans). Les laitiers riches en CaO et de faible granulométrie ont favorisé des pH et des concentrations en Ca²⁺ plus élevés (Tableau 2).

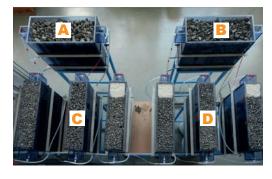
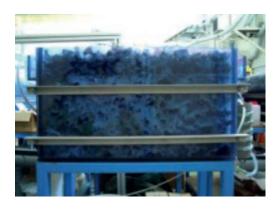


Figure 6

Vue aérienne de l'expérimentation en colonnes A : Colonne BOF-big, B : Colonne EAF-Big,

C: BOF-small, D: EAF-small



probablement liés à un décrochage de précipités (Ca-P) accumulés dans le filtre, et qu'on retrouve à la sortie (Figure 8). Ce phénomène n'a pas été observé dans les autres réacteurs, les performances des colonnes (Tableau 2) remplies en LAFE et en LAC de faibles granulométries étant presque toujours supérieures à 98% durant toute la durée de l'expérimentation en colonne (2 ans).

Figure 7 Vue de coté de la colonne BOF-Big, le précipité blanc accumulé dans la colonne est bien visible sur ce cliché

Les résultats suggèrent un mécanisme de rétention du P composé de trois phases réactives consécutives :

- i) dissolution du CaO des laitiers,
- ii) précipitation de complexes Ca-P,
- iii) filtration et accumulation des précipités dans les colonnes, comme montré par Claveau-Mallet et al. 2012.

Après la semaine 65, des relargages de phosphore ont été observés à la sortie de la colonne remplie en LAC de granulométrie supérieure (« BOF-big »), qui sont très

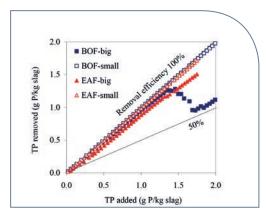


Figure 8
Evolution des performances des colonnes, quantité de phosphore ajoutée en fonction de la quantité de phosphore retenue

PARAMÈTRE (UNITÉ)	ENTRÉE DES PILOTES	SORTIE DES COLONNES					
	(SOLUTION P)	BOF-BIG	EAF-BIG	BOF-SMALL	EAF-SMALL		
TP (mg P/L)	10.24 ± 0.97	4.51 ± 8.33	1.33 ± 1.53	0.07 ± 0.13	0.19 ± 0.19		
PO ₄ -P (mg P/L)	10.09 ± 0.76	0.35 ± 1.14	1.04 ± 0.94	0.03 ± 0.07	0.15 ± 0.15		
pH (-)	7.7 ± 0.2	10.8 ± 0.6	8.7 ± 0.5	11.5 ± 0.4	9.5 ± 0.8		
Ca (mg Ca/L)	33.9 ± 7.5	43.7 ± 24.1	35.4 ± 8.3	83.1 ± 80.3	29.6 ± 7.7		

Tableau 2
Performances moyennes observées à la sortie des colonnes

Résultats à l'échelle pilote (adapté de Barca et al. 2013)

Une station d'épuration a été sélectionnée de façon à être la plus représentative possible du marché potentiel visé en France. Ainsi, deux filtres à l'échelle pilote ont été conçus pour traiter une fraction (2-4%) de l'effluent de la station de traitement des eaux usées domestiques de «La Motte d'Aigues» (1359 habitants, Provence-Alpes-Côte d'Azur, France). La station d'épuration de La Motte d'Aigues est un exemple typique d'une filière à deux étages de filtres plantés de roseaux pour l'assainissement domestique (figure 9).

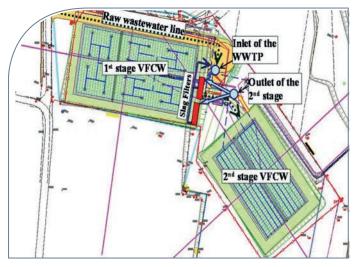


Figure 9 Vue aérienne de la station d'épuration de La Motte d'Aigue et de l'implantation des filtres à laitiers démonstration.



Figure 10
Vue panoramique des deux containers à partir desquels les filtres à laitiers ont été construits (photo Arthur Robinet).

Les filtres à laitiers ont été construits à l'aide de containers (figure 10) qui ont été remplis l'un avec des LAFE de granulométrie 20-40 mm (« EAF-filter »), l'autre avec des LAC de granulométrie 20-40 mm (« BOF-filter »). Les échantillons de laitiers ont été choisis en fonction de leurs capacités de traitement. Chaque filtre a un volume total d'environ 6 m³ et une porosité d'environ 50%. Les filtres ont fonctionnés selon un flux sous-surfacique horizontal pendant deux années.

Le temps de séjour calculé sur le volume des vides des filtres (HRTv) a été initialement étalonné à 1 jour, à l'aide d'un débitmètre. Puis, le HRTv a été porté à 2 jours après la semaine 9, afin d'évaluer l'effet de l'augmentation du temps de séjour sur les performances de rétention du P. Les filtres ont été équipés de thermomètres pour le suivi de la température de l'eau et de l'air.



Figure 11
Détail du dimensionnement des filtres
A : ligne de piézomètres B : système d'alimentation

Au cours des 44 premières semaines d'opération, des échantillons d'eau (0.8 L) ont été prélevés chaque semaine à l'entrée et à la sortie des filtres. Après la semaine 44, la fréquence d'échantillonnage a été réduite à environ 1 échantillon par mois. Les valeurs de pH, phosphore total (TP), phosphates (PO4-P) et Ca²⁺ des échantillons d'eau ont été mesurées.

Les performances épuratoires sont présentées dans le Tableau 3. Les concentrations moyennes de TP et PO4-P en sortie des filtres étaient nettement plus faibles par rapport à celles de l'entrée, ce qui confirme la rétention du P au cours de la filtration de l'eau. Comme présenté dans le tableau 3 ci-dessous, le pH et le Ca²+ à la sortie des filtres étaient plus élevés par rapport à ceux de l'entrée. La dissolution de la CaO du laitier lors de la filtration de l'eau peut expliquer les augmentations en Ca²+ dissous, ainsi que le pH des effluents.

Les expériences sur le terrain ont débuté avec un temps de séjour de 1 jour. Pendant les 9 premières semaines de fonctionnement, les efficacités de rétention du TP ont semblé diminuer en fonction de la diminution de la température. Après la semaine 9, le HRTv a été augmenté de 1 à 2 jours, ce qui s'est traduit par une augmentation temporaire des efficacités d'élimination du TP. Cependant, les rendements ont été très inférieurs à ceux observés dans les essais en laboratoire en colonnes. Cela suggère que l'efficacité de l'enlèvement du TP augmente lorsque la température augmente, comme cela a été déjà observé au cours d'expériences similaires (Shilton et al. 2006).

Des investigations sont en cours pour comprendre les mécanismes qui limitent les performances de filtres à laitiers en conditions réelles. Ils peuvent être liés à la température, la nature de l'effluent traité (l'eau de la Motte d'Aigue étant très dure) ainsi qu'à des dispositifs d'alimentation inadaptés.

PARAMÈTRES	ENTRÉE DES FILTRES	SORTIE DU FILTRE LAFE	SORTIE DU FILTRE LAC
TP (mg P/L)	8.3 ± 1.2 (5.9-11.6)	4.5 ± 1.7 (0.9-8.4)	3.5 ± 1.7 (0.1-7.6)
	n = 52	n = 52	n = 52
P04-P (mg P/L)	7.7 ± 1.1 (4.4-10.3)	4.2 ± 1.6 (0.8-8.2)	3.4 ± 1.5 (0.1-7.4)
	n = 44	n = 44	n = 44
Ca2+ (mg Ca/L)	127 ± 22 (47-152)	142 ± 20 (75-175)	134 ± 20 (72-173)
	n = 37	n = 37	n = 37
pH (-)	7.2 ± 0.2 (6.9-7.7)	8.3 ± 0.2 (7.7-9.0)	8.6 ± 0.7 (8.0-12.0)
	n = 52	n = 52	n = 52

Tableau 3

Paramètres de qualité de l'eau au cours des 85 semaines de suivi des filtres : valeurs moyennes ± écart-type (plage de valeurs min-max) et nombre de mesures (n).

Approche économique / Estimation du marché théorique

Dans l'hypothèse d'une technologie atteignant un abattement efficace à long terme des phosphates contenus dans les eaux résiduaires, une étude économique a été réalisée dans le cadre du projet SLASORB, afin d'évaluer les volumes de laitiers sidérurgiques nécessaires pour équiper les filtres à phosphore à installer en vue de respecter la réglementation en vigueur.

Cette approche a été menée par bassin de population et des estimations plus précises ont été effectuées sur base des données de l'INSEE. Ainsi dans un bassin versant situé dans le nord-ouest de la France, la densité de population des villages dispersés a été prise en considération. Ces zones géographiques correspondent bien à des secteurs nécessitant un équipement de traitement des eaux adapté et pour lequel le filtre planté de roseaux constitue une solution intéressante.

L'analyse de la situation locale dans la partie nord-ouest de la France par exemple a donné le résultat ci-dessous :

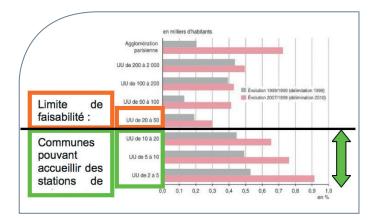


Figure 12
Identification des communes de faible densité de population pour lesquelles l'intérêt technique et économique d'une utilisation d'un système de filtre planté de roseaux est démontrée

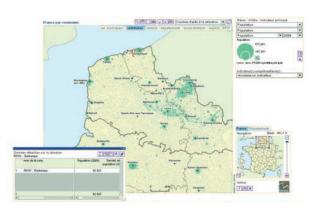


Figure 13
La commune de Dunkerque compte à elle seule 92 923 habitants

Evaluation du marché visé : exemple de la commune de Dunkerque et de ses environs :

- Sur le site Internet de l'INSEE, dans un rayon de 100 km autour de Dunkerque, un total de 1164 communes réunissent 3 255 348 habitants.
- Dans ce périmètre, il existe 1106 communes de moins de 10 000 habitants qui représentent un total de 1 600 669 habitants.
- A raison de 2 m³ par EH prévu avec 1,8 tonnes par m³, on trouve un marché potentiel maximal théorique de 5 762 408 tonnes.

Cependant, il est important de prendre en considération que le marché concerne en partie des zones sensibles pour lesquelles des valeurs limites de rejet en phosphates sont contraignantes. Ainsi, cela réduit le nombre de communes concernées. Si on considère que 50% des communes concernées sont en zones sensibles, le marché potentiel maximal reste tout de même de 2 881 204 tonnes.

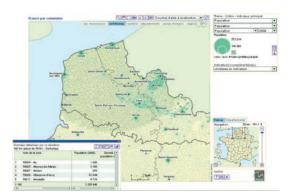


Figure 14

Dans un rayon de 100 km autour de Dunkerque, 3 255 946 personnes résident.

Si le marché visé :

- i) représente 5% de la population des villes et villages de moins de 10 000 habitants en zones sensibles autour de Dunkerque, cela représente 144 060 tonnes de laitiers,
- > soit 14 400 tonnes de laitier par an pendant 10 ans,
- ii) représente 10% de la population, cela représente 288 120 tonnes de laitiers,
- > soit 28 812 tonnes de laitier par an pendant 10 ans,
- iii) représente 15% de la population, cela représente 432 180 tonnes de laitiers,
- > soit 43 218 tonnes de laitier par an pendant 10 ans.

Ces calculs montrent un marché potentiel si 5, 10 ou 15% des communes sont/seront équipées de station de traitement des eaux par filtres plantés de roseaux.

Or la technologie du filtre planté de roseaux a une part de marché de 30% (pour le moment), cela signifie qu'au minimum 30% des communes seront intéressées par un tel système, dans ce cas le marché minimal représente, sur la base d'une répartition 70/30, et pour les 30% restantes, on peut donc estimer que :

- i) Si 5% des communes autour de Dunkerque et de moins de 10 000 habitants vont demander à respecter des normes plus strictes en termes de rejet de phosphates, cela signifie que cela représente 86 436 tonnes de laitier,
- > soit 8 643 tonnes de laitier par an pendant 10 ans,

- ii) Si 10% des communes > 172 872 tonnes,soit 17 287 tonnes de laitier par an pendant 10 ans,
- iii) Et dans le cas où 15% des communes > 259 308 tonnes, > soit 25 930 tonnes de laitier par an pendant 10 ans.

Pour envisager de proposer sur ce marché une utilisation régulière d'un filtre à laitier, il est nécessaire à présent de créer un site à grande échelle démonstrateur qui servira également de vitrine à cette technologie. Avant tout lancement d'un tel site, l'optimisation préalable des performances et de la taille du filtre actuel sont absolument nécessaire.

Prochaine étape : disposer d'une référence industrielle

Aujourd'hui, le projet européen est arrivé à son terme. Pour autant, Florent Chazarenc ne désarme pas et continue à développer le procédé. Des études précises au cas par cas sont possibles sur des projets de stations de petites tailles. L'objectif prioritaire est à présent de réduire la taille des filtres proposés, ce qui permettra, entre autre, de convaincre un premier client de se lancer.

Le consortium pourrait, par exemple, collaborer avec une collectivité locale pour construire une station d'épuration, en en partageant les coûts.

Des contacts ont également été établis avec d'autres laboratoires européens afin de développer ces solutions innovantes.

Références bibliographiques

Barca, C., Gérente, C., Meyer, D., Chazarenc, F. and Andrès, Y. (2012) Phosphate removal from synthetic and real wastewater using steel slags produced in Europe. Water Research 46(7), 2376-2384.

Barca, C., Meyer, D., Liira, M., Drissen, P., Comeau, Y., Andrès, Y. and Chazarenc, F. (2014) Steel slag filters to upgrade phosphorus removal in small wastewater treatment plants: Removal mechanisms and performance. Ecological Engineering 68, 214-222.

Barca, C., Troesch, S., Meyer, D., Drissen, P., Andreis, Y. and Chazarenc, F. (2013) Steel slag filters to upgrade phosphorus removal in constructed wetlands: Two years of field experiments. Environmental Science and Technology 47(1), 549-556.

Chazarenc, F., Kacem, M., Gerente, C. and Andres, Y. (2008) 'Active' filters: a mini-review on the use of industrial by-products for upgrading phosphorus removal from treatment wetlands. Proceedings of the 11th Int. Conf. on Wetland Systems for Water Pollution Control.

Claveau-Mallet, D., Wallace, S. and Comeau, Y. (2012) Model of phosphorus precipitation and crystal formation in electric arc furnace steel slag filters. Environmental Science and Technology 46(3), 1465-1470.

Dunne, E.J., Coveney, M.F., Marzolf, E.R., Hoge, V.R., Conrow, R., Naleway, R., Lowe, E.F. and Battoe, L.E. (2012) Efficacy of a large-scale constructed wetland to remove phosphorus and suspended solids from Lake Apopka, Florida. Ecological Engineering 42, 90-100.

Mann, R.A. (1990) Phosphorus removal by constructed wetlands: Substratum adsorption. Constructed Wetlands in Water Pollution Control, 97-105.

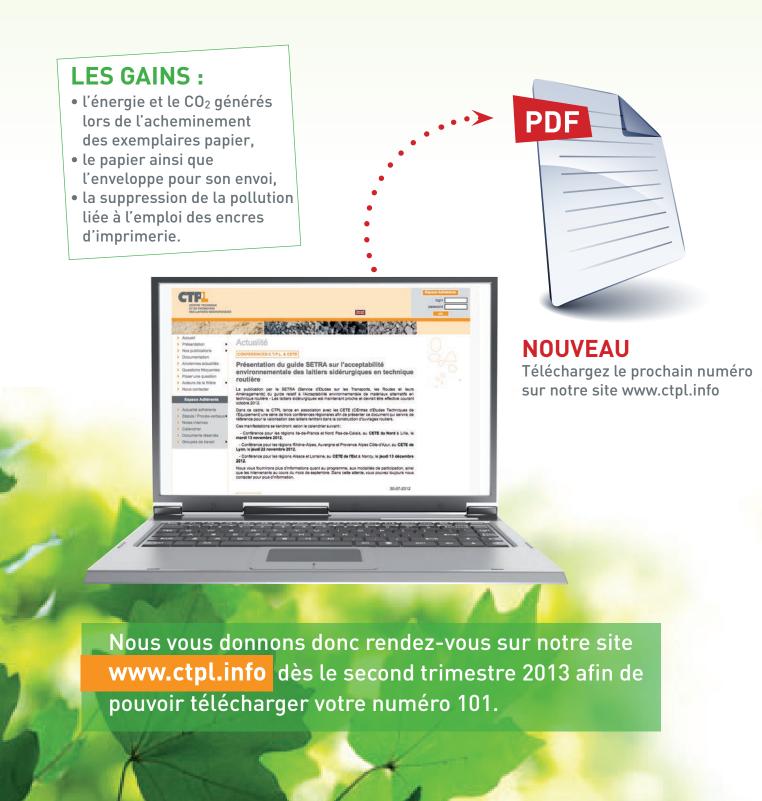
Pant, D., Singh, A., Van Bogaert, G., Gallego, Y.A., Diels, L. and Vanbroekhoven, K. (2011) An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: Relevance and key aspects. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(2), 1305-1313.

Shilton, A.N., Elmetri, I., Drizo, A., Pratt, S., Haverkamp, R.G. and Bilby, S.C. (2006) Phosphorus removal by an 'active' slag filter-a decade of full scale experience. Water Research 40(1), 113-118.

Vohla, C., Kõiv, M., Bavor, H.J., Chazarenc, F. and Mander, Ü. (2011) Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands-A review. Ecological Engineering 37(1), 70-89.

Vymazal, J. (2004) Removal of phosphorus in constructed wetlands with horizontal subsurface flow in the Czech Republic. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 4(2-3), 657-670.

Afin de poursuivre ses efforts dans le domaine du développement durable, le CTPL a décidé que la Revue Laitiers Sidérurgiques ne sera dorénavant disponible que sous format PDF téléchargeable depuis le site internet du CTPL.



Dans les précédents numéros...

N° 96 (novembre 2010)

- Laitiers utilisés en techniques routières : la filière se professionnalise
 Campagne de suivi de plots expérimentaux : Pour une utilisation raisonnée des laitiers sidérurgiques en travaux publics. Jérémie Domas : Directeur du CTPL
- **Où sont passés les laitiers en 2009** Utilisation des laitiers sidérurgiques en 2009 en France.

Jérémie Domas : CTPL

• Journée d'information du CTPL Résumés des interventions sur les thèmes des réglementations, statuts et normes concernant les laitiers sidérurgiques.

N° 97 (avril 2011)

• Les laitiers d'aciérie électrique au secours des récifs coralliens

Egypte : utilisation de laitiers d'aciérie électrique comme substrats pour la régénération des récifs coralliens.

Nadia Habib: Coraliareef

• Techniques routières : les laitiers de convertisseur font désormais jeu égal avec les granulats naturels
Maîtrise de l'expansion des laitiers.
Valorisation des laitiers d'aciérie de conversion en technique routière.
Thomas Muckensturm & Pierre Todaro : Eurogranulats

N° 98 (octobre 2011)

• Le CTPL et la R&D : Exemple du projet ANR eclair Jérémie DOMAS : CTPL

• Les laitiers LD tiennent la route! Impact environnemental : évaluation du comportement environnemental d'un laitier LD d'aciérie de conversion utilisé en construction routière. Michel LEGRET : IFSTTAR, Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux Département Géotechnique, Eau et Risques

• Et si les vers de terre avaient leur mot à dire !

Evaluation écotoxicologique : analyse des effets sur les vers de terre de lixiviats issus d'un plot de laitiers LD. Yvan CAPOWIEZ, Magali RAULT, Christophe MAZZIA : INRA Avignon • Où sont passés les laitiers en 2010 Production et devenir des laitiers sidérurgiques en 2010 en France. Jérémie Domas : CTPL

N° 99 (avril 2012)

• Bonne route avec les granulats de laitiers EAF!

Grèce: Utilisation de laitiers d'aciérie de four électrique en enrobé bitumineux en couche mince anti-dérapante. Loannis Liapis: Civil Engineer, BEng, MSc, DIC, PhD Candidate, AEIFOROS SA Spiraggelos Likoydis: Geologist, Director of P.Y.TH. Laboratory, EGNATIA ODOS SA

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

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

Julien Waligora : EIFFAGE Travaux Publics, Laboratoire Central Ciry

Michel Measson : EIFFAGE Travaux Publics, Direction Recherche et Développement David Bulteel : Ecole des Mines de Douai



N° 100 (octobre 2012)

• Le CTPL, un peu d'histoire CTPL : un organisme dédié aux laitiers sidérurgiques Jacques Reynard : CTPL

- Des chiffres et des lettres (de noblesse) pour les laitiers Evolution de la gestion des laitiers au cours des dix dernières années Jérémie Domas : CTPL
- Valorisation des laitiers : cadre juridique Etat des lieux juridique et statut des laitiers sidérurgiques Jacques Reynard : CTPL

- Guide SETRA, à usage des maîtres d'œuvre et des maîtres d'ouvrage Le guide SETRA pour l'acceptabilité environnementale des laitiers sidérurgiques en technique routière Jérémie Domas : CTPL
- Réalisations remarquables
- Les laitiers HF et d'aciérie : quel avenir pour les 20 prochaines années ? Perspectives économiques, réglementaires et techniques quant à la valorisation des laitiers sur les 20 prochaines années. Jean-Marie Delbecg : 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 hautfourneau avec récupération de chaleur Ian J McDonald : Siemens VAI Métaux Technologies, Royaume Uni Andrea Werner : Siemens VAI Métaux Technologies, Autriche

Nº 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



www.ctpl.info