

LAITIERS

sidérurgiques

N°102

juin 2014

page 6

Actualaitiers

page 26

Où sont passés
les laitiers en 2012 ?

page 32

Des laitiers
bons pour le service !



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

page 8

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

CTPL

CENTRE TECHNIQUE
ET DE PROMOTION
DES LAITIERS SIDÉRURGIQUES

Research



La revue Laitiers Sidérurgiques, de nouveau dans vos kiosques !

Le CTPL a connu en 2013 une année très chargée. Cette charge de travail conjuguée à un budget contraint ne nous a pas permis de publier, comme à l'accoutumée, nos deux numéros de la revue. Cela ne se reproduira pas cette année et nous reprendrons notre rythme semestriel.

Ce numéro 102 est consacré à une thématique qui, à ce jour, n'a jamais encore été abordée dans la revue : *«l'évaluation de l'impact sanitaire lié à l'emploi des laitiers sidérurgiques»*. En effet, même si dans le cadre du dossier d'enregistrement des laitiers sidérurgiques, relatif au règlement européen REACH, les résultats des études toxicologiques réalisées ont démontré l'innocuité des substances «laitiers sidérurgiques» pour tous les paramètres étudiés dans le cadre des scénarios d'exposition pris en compte (ou déclarés), cette dimension n'a pas été reprise dans le guide d'application SETRA publié en octobre 2012, qui ne concerne à ce jour que des critères d'acceptabilité environnementale de laitiers sidérurgiques ayant statut de déchets vis-à-vis du milieu (cible) eau.

Nous avons ainsi choisi de vous faire partager des études réalisées en dehors du cadre du dossier REACH par des professionnels ou des associations professionnelles reconnus, et qui confirment les conclusions des études réalisées dans le cadre du dossier d'enregistrement dans REACH des substances «laitiers sidérurgiques». C'est à dessein que nous publions deux études réalisées respectivement en France et aux USA, sur des laitiers non caractérisés par rapport aux critères de similarité établis dans le dossier d'enregistrement (ayant donc statut de déchet), et dont les conclusions respectives convergent.

Ces résultats, tout autant que ceux obtenus dans le cadre du dossier d'enregistrement des laitiers dans REACH, doivent donc pouvoir être pris en considération pour l'évolution des exigences techniques et réglementaires qui seront demandées aux laitiers dans le cadre du développement de leurs usages et de leur statut. Une éventuelle révision des prescriptions du guide SETRA relatif à l'usage des laitiers de Type 1 et 2 en couche de roulement ainsi que la définition des critères de fin de statut de déchet des laitiers pourraient en être les premières applications dans le choix de critères décisionnels.

Etant établi que les laitiers sidérurgiques, quel que soit leur statut juridique, ne présentent pas de risque pour la santé, toute imposition de contraintes supplémentaires ne pourrait qu'alourdir et renchérir les procédures destinées à les introduire dans le circuit de l'économie circulaire sans aboutir à une diminution significative d'éventuels risques pour la santé humaine lors de la mise en œuvre de laitiers sidérurgiques en construction routière.

Jacques Reynard
Délégué Général du CTPL

page **6** **Actualaitiers**

page **8** **Les produits laitiers,
c'est bon pour la santé !**



Une nouvelle évaluation des risques pour la santé humaine (ERS) a été réalisée dans le but de déterminer les effets potentiels des laitiers sidérurgiques pour la santé humaine dans le cadre d'utilisations en techniques routières.

Deux études préalables, menées aux Etats-Unis (2002 et 2007), ont conclu que les utilisations usuelles des laitiers sidérurgiques ne représentaient pas de risques significatifs pour la santé humaine. La présente ERS a

pour objectif de mettre à jour et de conforter les évaluations précédentes. Elle est fondée sur de nouvelles données relatives aux caractéristiques des laitiers et sur les méthodologies les plus récentes en matière d'évaluation des risques, comprenant tant de nouveaux modèles d'exposition que de nouvelles informations sur la toxicité.

*Dr Deborah PROCTOR
Tox Strategies, Inc. - 2011*

Où sont passés les laitiers en 2012 ?

Comme chaque année, le Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (CTPL) a lancé en 2012 l'enquête nationale relative aux flux de laitiers sidérurgiques produits sur le territoire national qui a permis également de recueillir les données relatives à leurs principales filières d'utilisation par différents secteurs industriels.

Jérémie DOMAS - CTPL

Des laitiers bons pour le service !



La production de fonte et d'acier génère des matières minérales industrielles sous forme liquide à haute température. Les usines sidérurgiques «intégrées» (dites aussi «en filière fonte») génèrent des laitiers d'aciérie de conversion lors de la transformation de la fonte sidérurgique en acier au sein de convertisseurs à oxygène (ou convertisseurs LD).

Le site Arcelormittal de Dunkerque est le site sidérurgique français produisant les quantités les plus importantes de laitiers de convertisseur (500 à 600 kT par an). Ces laitiers sont traités et valorisés par la société SGA, principalement en applications routières (remblais, merlons paysagers ou phoniques, terrassements ou sous-couches d'assises de chaussées).

Dans le cadre de l'autorisation administrative des filières de valorisation des laitiers de convertisseur, la société SGA a fait réaliser en 2007 une étude d'évaluation des risques sanitaires portant sur différents sites représentatifs des filières courantes de valorisation dans le domaine des travaux publics, sur lesquels des laitiers de convertisseur issus de sa plateforme ont été mis en œuvre.

Laurent BUTEZ, SGA

LAITIERS SIDÉRURGIQUES

68^{ème} 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, Istockphoto,
SGA

N° ISSN 1166 - 3138

Dépôt légal :

2^{ème} trimestre 2014

Fonctionnement du CTPL

► Réunions de l'AG et du CA du CTPL

La dernière réunion du Conseil d'Administration (CA) du CTPL s'est tenue le jeudi 21 novembre 2013. A cette occasion, un état des lieux complet de l'avancée des travaux techniques, réglementaires et normatifs de l'année 2013 a été présenté, ainsi que les perspectives techniques et budgétaires de l'association pour l'année 2014. La prochaine réunion du CA et de l'AG se dérouleront le mercredi 23 avril 2014.

► Deux nouvelles demandes d'adhésion au CTPL

Pour faire suite au souhait des administrateurs du CTPL d'élargir le champ des adhérents, les sociétés allemandes Saars-tahl AG Völklingen et Dillinger Hüttenwerke ont fait part de leur souhait de rejoindre le CTPL en tant que Membres Associés. Ces sites intégrés frontaliers (hauts-fourneaux et convertisseurs) produisent des laitiers de haut-fourneau granulés (et ponctuellement cristallisés) ainsi que des laitiers d'aciérie de conversion (LD), valorisés en grande partie sur le territoire français.

Ces demandes seront soumises à l'approbation de nos adhérents lors de la prochaine réunion de l'AG du 23 avril 2014.

Ne doutant pas d'un avis favorable, nous nous réjouissons à l'avance de partager nos expériences avec nos collègues allemands dont les produits se retrouvent sur le marché français de laitiers sidérurgiques, au côté de ceux de nos adhérents historiques.

► Un site Internet à succès !

Mis en ligne tout début juin 2013, le nouveau site du CTPL rencontre un certain succès à en juger par sa fréquentation : 2350 visites en 9 mois et plus de 6 000 pages vues.

Hormis l'actualité, la nouvelle rubrique «Trouver un laitier» est très largement consultée et de façon régulière.

La rubrique «Présentation/Laitiers sidérurgiques» génère également de nombreuses visites confortant ainsi le CTPL dans son rôle d'information et de promotion.

Ayez le réflexe de visiter régulièrement notre site : www.ctpl.info !

Réglementation nationale et européenne

Guide d'application pour l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs fabriqués à partir de laitiers sidérurgiques et utilisés en technique routière

Nous vous rappelons la publication de ce guide par le SETRA en octobre 2012. Il constitue dorénavant la référence incontournable pour les prescripteurs de matériaux, maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage, publics et privés, qui souhaitent utiliser des laitiers en technique routière. Pour vous procurer ce guide, vous pouvez contacter directement le bureau de vente du SETRA (110 rue de Paris, 77171 Sourdon), et demander le guide sous la référence **1226**, au prix unitaire de **16,00 euros**.

... et l'Administration encourage la démarche : une conférence nationale s'organise...

Souhaitant supporter les démarches engagées par les secteurs du BTP et de l'industrie, le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie (MEDDE) organise une journée d'échanges relative à la valorisation des matériaux alternatifs en technique routière.

Cette journée se déroulera le vendredi 11 avril 2014 et se tiendra à Lyon sur le site de l'ENTPE (Amphithéâtre Michel Prunier, 3 rue Maurice Audin, 69120 Vaulx-en-Velin). Pour plus d'information sur le contenu de cette journée, vous pourrez consulter le site internet de l'ENTPE, du CETE de Lyon (CEREMA, <http://www.cete-lyon.developpement-durable.gouv.fr/journee-d-echanges-sur-la-a508.html>) ou encore celui du CTPL (<http://www.ctpl.info>).

Bientôt la «fin du statut de déchet» pour les laitiers sidérurgiques ?

Le Décret n° 2012-602 du 30 avril 2012 relatif à la procédure de sortie du statut de déchet, ouvre la possibilité pour un flux de déchets de perdre son statut juridique de déchet si il respecte les exigences de ce décret, et démontre que l'ensemble des conditions environnementales et de marché sont réunies. A la demande de ses adhérents, le CTPL a élaboré un dossier de demande pour les laitiers sidérurgiques, en liaison avec les services de la DGPR du MEDDE.

A ce jour, le dossier a été officiellement déposé et est en phase d'instruction par les services compétents de l'Administration. Il devrait ainsi être prochainement présenté devant la Commission Consultative sur la sortie du statut de déchet.

Une opportunité indispensable pour certains flux de laitiers, afin de lever les réticences administratives ou psychologiques encore existantes, pérenniser les marchés existants depuis de nombreuses années, et assurer l'économie des ressources minérales naturelles ... en fait, s'engager sur la voie du développement durable et d'une économie circulaire !

Règlement REACH

L'Assemblée Générale du consortium RFSC s'est tenue le 6 mars 2014. Elle a été l'occasion de présenter la dernière version du Chemical Safety Report (CSR) conforme à la version de IUCLID 5.4. Les producteurs ayant enregistré leurs laitiers doivent dans les meilleurs délais mettre à jour leur dossier d'enregistrement en conformité avec cette version avant la fin du mois d'avril 2014, date à partir de laquelle il y aura transition vers IUCLID 5.6.

International

Réunion des Groupes de Travail d'EUROSLAG

L'Assemblée Générale de l'Association européenne des producteurs et opérateurs des laitiers sidérurgiques, EUROSLAG, s'est tenue le 11 décembre 2013 au FEhS à Duisburg, afin d'échanger et de faire un point de situation sur l'avancée des divers travaux (normatifs, législatifs, recherche et développement) dans lesquels les professionnels des laitiers sont impliqués. La prochaine réunion des groupes de travail d'EUROSLAG se tiendra au FEhS le jeudi 22 mai 2014. 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.

Conférence EUROSLAG

La 7^{ème} conférence EUROSLAG «Don't waste your secondary resources» (ne gaspillez pas vos ressources secondaires) s'est déroulée du 9 au 11 octobre 2013 à IJmuiden (Pays-Bas), sous l'égide des sociétés Harsco Metals Holland, Tatasteel et Pelt&Hooykaas BV. Un succès majeur, avec près de 200 participants venus du monde entier (plus de 20 pays différents). Souhaitons un succès aussi marquant pour la prochaine Conférence, qui devrait se dérouler en octobre 2015 à Linz (Autriche), sous l'organisation de la société Voestalpine.

WoISS (World of Iron and Steel Slags)

Une réunion a été organisée le 11 octobre 2013 en concomitance avec la dernière conférence Euroslag, afin de profiter de la présence d'un certain nombre de représentants d'organismes non-européens (NSA entre autres). Lors de cette réunion de travail, un point de situation a été fait sur l'évolution des législations, contraintes environnementales, programmes de développement et de recherche en cours, etc...

A la différence des autres associations, Euroslag n'a pas souhaité donner son soutien à la conférence 2014 sur les laitiers organisée par Nick McCaffrey en Allemagne.

En effet, Euroslag, considérant que les buts de cette conférence sont purement commerciaux, ne souhaite pas y être associée.

Normalisation

CEN/TC 51 - Ciment et liants hydrauliques

prEN 13282-2 - Liants hydrauliques routiers à cinétique de prise normale - Du fait de l'inclusion par nos collègues allemands de liants à très haute teneur en chaux dans ce projet de norme, il a été découvert que le test d'extinction de la chaux figurant en annexe n'était plus adapté. En conséquence, la France a proposé un nouveau texte dans lequel il est spécifié que ce test ne s'applique qu'au liant à faible teneur (< 25%). Dans les autres cas, le test utilisé doit être précisé et sa validité démontrée. Le CTPL a profité de cette ultime révision pour faire préciser que la teneur maximum autorisée de 40% pour les laitiers d'aciérie de conversion n'était qu'une limite physico-chimique. Cela laisse la possibilité de faire évoluer cette valeur dans le futur. Un accord sur ce projet et sur sa soumission à une nouvelle procédure UAP doit être voté lors de la prochaine réunion plénière du TC51.

CEN/TC104 - Bétons

WG15

A l'issue de la dernière réunion de travail (été 2013) une lettre du WG15 a été envoyée au TC104 (béton) et au TC51 (ciment) pour demander si il était de son mandat de normaliser l'emploi de sulfate de calcium en complément de laitier de haut-fourneau granulé moulu. A ce jour, aucune réponse formelle n'a été reçue. De son côté le FEhS continue de travailler sur son programme d'étude en relation avec la définition de critères physico-chimiques en corrélation avec les performances du laitier. Une nouvelle réunion de travail sera organisée lorsque les résultats de cette étude seront disponibles.

Commission nationale «béton» Groupe P18B/GE RE

Le CTPL n'ayant jamais accepté les conditions d'emploi des laitiers de haut-fourneau granulés moulus en additions de type II en France, un recours a été déposé auprès du Comité d'Orientation Stratégique du secteur Construction et Urbanisme (CoS Construction) de l'AFNOR. Celui-ci a donné instruction à

la commission miroir «béton» (P18B) de mettre en place un observatoire destiné à recueillir les retours d'expériences sur les bétons d'ingénierie. A ce jour, le questionnaire a été validé. Sur demande du CTPL, la P18B a décidé de laisser le soin aux experts de ce groupe de définir l'usage qui sera fait des éléments recueillis et analysés. A priori, l'orientation serait d'utiliser ces résultats afin de vérifier si on peut (ou pas) traiter ces bétons d'ingénierie comme des bétons «normaux». Prochaine réunion fixée le 3 avril 2014.

CEN/TC154 - Granulats

WG12 - Sources secondaires

Les annexes A des normes granulats sont en cours de révision afin d'intégrer les expériences probantes des membres CEN pour l'utilisation de sources secondaires. Ces annexes pourront être réactualisées régulièrement sur la base d'un dossier détaillant les expériences réussies au sein des pays membres du CEN.

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

WG1 - Emission dans l'eau

Le programme de robustesse élaboré sur les procédures d'évaluation des émissions dans l'eau par lixiviation s'est achevé en 2013. Il a permis de finaliser les procédures concernant :

- l'arbre de décision pour déterminer le choix de l'essai à réaliser en fonction des caractéristiques du produit de construction
- l'essai de lixiviation de surface pour produits monolithiques

La publication de ces deux procédures a été votée et les résultats de l'enquête ont été examinés à la réunion du WG1 de février 2014. Après confirmation par le TC351, ces deux spécifications techniques seront donc publiées sous les références CEN/TS 16637-1 et -2.

La procédure d'essai pour les produits granulaires percolants laisse apparaître plus de difficultés techniques, et sa publication ne sera pas effective avant la fin de l'année 2014.

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

Les laitiers de haut-fourneau et d'aciérie présentent une large gamme d'applications, mais sont principalement utilisés comme matériaux de construction sous forme de liants hydrauliques ou en tant que granulats dans les travaux publics et la construction.



Une nouvelle évaluation des risques pour la santé humaine (ERS) a été réalisée dans le but de déterminer leurs effets potentiels pour la santé humaine dans le cadre de telles utilisations.

Deux études préalables, menées aux Etats-Unis (2002 et 2007), ont conclu que les utilisations usuelles des laitiers sidérurgiques ne représentaient pas de risques significatifs pour la santé humaine. La présente ERS a pour objectif de mettre à jour et de conforter les évaluations précédentes. Elle est fondée sur de nouvelles données relatives aux caractéristiques des laitiers et sur les méthodologies les plus récentes en matière d'évaluation des risques, comprenant tant de nouveaux modèles d'exposition que de nouvelles informations sur la toxicité.

Préambule

Le présent article reproduit le résumé d'une étude réalisée aux Etats-Unis par le Dr Deborah Proctor de Tox Strategies, Inc. en 2011 pour le compte de la National Slag Association (NSA), et dont les résultats préliminaires avaient été présentés lors de la conférence qui s'est tenue à Charleston S.C en septembre de cette même année.

Cette étude, intitulée «*Human Health Risk Assessment for Iron and steel Slag*», développe et complète deux études préalables réalisées sur le sujet et respectivement intitulées :

- *Human health and ecological risk assessment for BF, BOF and EAF slags (ChemRisk - McLaren/Hart, Inc. – 1998), mise à jour sous le titre Human Health And Ecological Risk Assessment Of Environmental Applications of Steel-making Slag: An Update (ChemRisks Inc. - Washington, DC. November 8. 2007) et*
- *Assessment of human health and ecological risks posed by the use of steel-industry slags in the environment (Proctor, D.M., E.C. Shay, K. A Fehling, and B.L. Finley. 2002).*

Cette nouvelle étude s'appuie sur une base de données de 41 échantillons de laitiers (22 laitiers d'aciérie de four électrique, 11 laitiers d'aciérie de conversion et 8 laitiers de haut-fourneau) constituée en 2008/2009, et incorpore une caractérisation nouvelle pour les concentrations d'éléments métalliques dans les laitiers sidérurgiques en fonction de la granulométrie des particules étudiées.

Il est en effet évident que si l'on étudie des scénarios d'ingestion et d'inhalation accidentelles de laitiers sidérurgiques, seules les particules susceptibles d'être ingérées (généralement <250 µm) ou inhalées (généralement <10 µm) sont à prendre en considération, à l'exclusion des particules plus grossières. De même, cette étude se propose de prendre en considération dans l'évaluation des risques la

bio-accessibilité des différents constituants d'intérêts dans de tels scénarios compte tenu de leur spéciation au sein de la matrice des laitiers (cristallographie).

Cette troisième étude, comme les deux précédentes, conduit à la conclusion que l'emploi de laitiers sidérurgiques dans les scénarios en travaux publics et en construction ne présente pas de risque significatif pour la santé humaine.

Le CTPL tient ici à remercier tant le Dr Deborah Proctor que Mrs Karen Kiggins (NSA) pour l'avoir gracieusement autorisé à prendre connaissance de cette étude et à la présenter dans cette revue.



Dr Deborah Proctor

Introduction

Les laitiers sidérurgiques, issus de haut-fourneau ou d'aciérie, sont générés sous forme de co-produits lors de la production de fonte et d'acier et sont usuellement désignés selon leur procédé de génération :

- Les laitiers de haut-fourneau (LHF) sont générés lors de la fusion du minerai de fer et de chaux (ou de dolomite) durant la production de fonte ;
- les laitiers d'aciérie de conversion à oxygène (LAC) sont générés lors de la production d'acier par traitement de la fonte avec de la chaux dans les convertisseurs à oxygène ;
- les laitiers d'aciérie de four électrique (LAFE), quant à eux, sont générés lors de la fusion de ferrailles avec de la chaux dans des fours à arc électrique.

Les laitiers de haut-fourneau et d'aciérie présentent une large gamme d'applications, mais sont principalement utilisés comme matériaux de construction sous forme de liants hydrauliques ou en tant que granulats dans les travaux publics et la construction.

Deux études préalables relatives à l'évaluation des risques pour la santé humaine de l'utilisation de laitiers d'aciérie produits aux États-Unis (2002 et 2007) ont conclu que les utilisations usuelles des laitiers sidérurgiques ne représentaient pas de risques significatifs pour la santé humaine. La présente ERS a pour objectif de mettre à jour et de conforter les évaluations précédentes. Elle est fondée sur de nouvelles données relatives aux caractéristiques des laitiers et sur les méthodologies les plus récentes en matière d'évaluation des risques, comprenant tant de nouveaux modèles d'exposition que de nouvelles informations sur la toxicité. Comme cela est décrit dans le présent article, celle-ci a confirmé les résultats des évaluations préalables, à savoir que l'utilisation des laitiers sidérurgiques en travaux publics et en construction ne présente aucun risque significatif pour la santé humaine.

Nouveau programme de caractérisation des laitiers

Dans le cadre de cette ERS, une étude de caractérisation des laitiers a été réalisée en 2008 et en 2009 par la National Slag Association (NSA). Ce programme a été conçu pour générer des données spécifiquement destinées à l'évaluation des risques pour la santé humaine, en quantifiant les concentrations de métaux dans les laitiers qui sont commercialisés afin d'être utilisés dans des ouvrages de construction. Dans ce but, les concentrations de métaux contenues dans les fractions granulaires les plus fines des laitiers ont été tout particulièrement étudiées et caractérisées. En effet ce sont ces fractions les plus fines qui se révèlent particulièrement importantes dans les scénarios d'exposition pour la santé humaine car elles peuvent adhérer à la peau et aux vêtements, être ingérées accidentellement, ou encore être mises en suspension dans l'air ambiant lors de la construction d'un ouvrage, pendant sa durée de vie (circulation), et être transportées par les vents avant d'être inhalées.

Les teneurs en métaux des laitiers ont donc été caractérisées pour trois fractions granulométriques particulières :

1. laitiers de granulométrie comprise entre 0 et 25 mm (0-1 pouce), qui correspondent à un produit commercial primaire destiné à la construction (équivalent à une grave non traitée GNT 0/D) ;
2. laitiers tamisés à une granulométrie < 300 µm (tamis ASTM de # 50 Mesh), qui peuvent être géotechniquement assimilés à un filler ;
3. laitiers tamisés à une granulométrie < 75 µm (tamis ASTM de # 200 Mesh), qui correspondent à des matériaux fillérisés très fins.

41 échantillons de laitiers sidérurgiques ont ainsi été collectés lors de cette campagne destinée à l'évaluation des risques :

- 8 échantillons de laitiers de haut-fourneau cristallisés refroidis à l'air (LHF),
- 11 échantillons de laitiers d'aciérie de conversion (LAC),
- 22 échantillons de laitiers d'aciérie de four électrique (LAFE).

Les concentrations de métaux (contenu total) ont été mesurées dans chacune des trois fractions granulométriques 0-25 mm, <300 µm et <75 µm, pour constituer une base de données globale concernant 123 échantillons, statistiquement représentative.

Les teneurs en métaux analysées dans les laitiers sidérurgiques, par typologies et par fractions granulométriques, sont résumées dans les tableaux 1 à 3 et les figures 1 et 2 suivantes.

	Processed Slag (mg/kg)				<300 µm Particle Size (mg/kg)				<75 µm Particle Size (mg/kg)			
	Mean	Min	Max	95% UCL	Mean	Min	Max	95% UCL	Mean	Min	Max	95% UCL
Aluminum	36 500	34 000	42 000	38 198	38 125	36 000	41 000	39 577	37 375	32 000	41 000	39 334
Antimony	0,03	0,03	0,03	NC	0,03	0,03	0,03	NC	0,04	0,03	0,09	0,07
Arsenic	2,14	1,30	3,85	2,71	1,09	1,00	1,20	1,14	3,89	1,70	4,80	4,72
Barium	510	320	720	607	505	400	750	584	633	390	1,100	799
Beryllium	10	8	12	11	7	6	9	8	11	8	13	12
Cadmium	0,32	0,16	0,46	0,39	0,29	0,17	0,56	0,37	0,27	0,17	0,45	0,23
Calcium	211 250	190 000	230 000	220 200	240 000	210 000	260 000	251 300	223 750	200 000	280 000	243 000
Chromium (Cr)	38	17	75	51	42	21	55	51	42	16	66	53
Hexavalent Cr	0,5	0,5	0,5	NC	--	--	--	--	--	--	--	--
Cobalt	8	5	15	10	9	4	27	21	4	3	6	5,9
Copper	2	1	3	2,5	31	14	100	54	41	14	170	83
Iron	4 600	1 450	8 750	6 239	4 950	2 900	7 000	5 981	5 375	2 800	7 800	6 455
Lead	0,21	0,01	0,68	0,38	3,35	1,30	6	4,41	3,91	1,80	7,80	5,36
Magnesium	45 625	38 000	55 000	48 801	58 375	54 000	67 000	61 215	50 750	41 000	60 000	55 747
Manganese	2 881	1 950	4 000	3 273	3 350	2 500	4 500	3 731	3 338	2 600	3 900	3 624
Mercury	0,01	0,01	0,01	NC	0,01	0,01	0,01	NC	0,01	0,01	0,02	NC
Molybdenum	0,59	0,03	3,25	3,02	0,67	0,31	1,20	0,88	0,84	0,29	2,60	1,5
Nickel	4	2	5	4,3	3	1	6	4	6	3	12	8
Phosphorus	434	400	495	456	401	360	460	423	399	320	480	430
Selenium	4	3	5	4,2	6	5	7	6,2	7	5	9	8
Silicon	1 725	1 350	2 100	1 882	1 725	1 400	2 300	1 962	2 100	1 700	2 800	2 358
Silver	0,52	0,25	0,91	0,68	0,61	0,37	1,20	0,81	0,54	0,37	0,85	0,65
Thallium	0,35	0,31	0,40	0,37	0,03	0,01	0,10	0,07	0,05	0,01	0,19	0,10
Tin	2	1	3	NC	2	1	3	NC	2	1	3	NC
Vanadium	27	16	33	31	26	14	37	31	28	17	44	33
Zinc	6	2	12	8	20	8	37	26	29	17	50	37

Tableau 1

Teneurs en métaux par fractions granulométriques
contenues dans les laitiers de haut-fourneau

	Processed Slag (mg/kg)				<300 µm Particle Size (mg/kg)				<75 µm Particle Size (mg/kg)			
	Mean	Min	Max	95% UCL	Mean	Min	Max	95% UCL	Mean	Min	Max	95% UCL
Aluminum	22 550	9 550	39 500	28 355	21 391	6 500	47 000	28 251	21 209	7 200	45 000	29 759
Antimony	0,43	0,15	1,25	0,64	0,63	0,03	3,60	1,33	1,12	0,15	6,70	2,44
Arsenic	4	2	8	5	5	1	23	9	7	1	30	14
Barium	173	55	605	449	182	45	960	549	196	55	1 100	609
Beryllium	0,63	0,25	1,75	0,96	0,54	0,10	1,40	0,77	0,66	0,10	2,40	1,52
Cadmium	0,42	0,09	1,13	0,6	0,70	0,13	2,70	1,25	0,82	0,11	4,10	2,3
Calcium	235 909	175 000	290 000	252 400	245 000	200 000	290 000	260 000	264 545	190 000	310 000	287 800
Chromium (Cr)	1 800	1 000	3 800	2 228	1 564	750	2 500	1 848	1 481	600	2 100	1 748
Hexavalent Cr	0,83	0,50	2,50	NC	--	--	--	--	--	--	--	--
Cobalt	7	3	13	9	5	1	11	7	3	1	10	5
Copper	44	20	150	93	74	30	320	186	70	5	350	196
Iron	181 545	112 000	225 000	199 300	158 364	70 000	190 000	181 100	134 909	61 000	170 000	155 900
Lead	11	1	46	30	43	2	140	86	48	3	170	104
Magnesium	48 091	42 000	55 000	50 618	64 000	49 000	78 000	68 669	62 545	45 000	84 000	68 351
Manganese	22 545	14 000	33 000	25 252	19 182	7 500	24 000	21 882	17 673	6 400	23 000	20 520
Mercury	0,01	0,01	0,03	NC	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
Molybdenum	28	6	91	67	28	6	76	47	26	8	75	60
Nickel	19	7	38	24	26	4	77	38	23	5	82	39
Phosphorus	3 218	2 050	4 500	3 696	2 644	980	3 900	3 131	2 504	940	3 800	3 042
Selenium	1	0	2	1,2	1	0	3	2	1	0	4	2
Silicon	3 072	890	12 500	7 235	1 995	1 500	2 450	2 137	3 945	1 600	11 000	6 210
Silver	0	0	1	0,6	1	0	2	1,6	1	0	3	2
Thallium	0,27	0,01	0,36	0,34	0,12	0,01	0,25	N	0,14	0,01	0,25	0,12
Tin	2	1	5	4,4	2	1	8	NC	2	1	8	4
Vanadium	762	445	1,100	865	657	200	990	788	704	180	1 200	859
Zinc	138	14	510	248	439	26	2 300	949	556	28	3 500	1 281

Tableau 2

Teneurs en métaux par fractions granulométriques contenues dans les laitiers d'aciérie de conversion

Il est intéressant de noter que l'étude de caractérisation des laitiers sidérurgiques entreprise en 2008/2009, et prenant en compte, pour la première fois, le facteur «granulométrie» (analyse jamais réalisée lors des études antérieures), a démontré que les teneurs en fer, manganèse, chrome et vanadium (métaux «traceurs» des laitiers) sont plus faibles dans les particules de laitiers de petite taille, quel que soit le type de laitier concerné (haut-fourneau, aciérie de conversion ou de four électrique), à la différence des teneurs en calcium et en magnésium (éléments principaux constitutifs de la matrice minérale des laitiers) qui augmentent en fonction de la diminution de la taille des grains pour les trois types de laitiers (voir figure 1).

	Processed Slag (mg/kg)				<300 µm Particle Size (mg/kg)				<75 µm Particle Size (mg/kg)			
	Mean	Min	Max	95% UCL	Mean	Min	Max	95% UCL	Mean	Min	Max	95% UCL
Aluminum	27 561	15 000	50 000	31 694	31 739	7 600	82 000	54 285	30 624	7 400	73 000	39 358
Antimony	1	0	3	2	2	0	4	2	2	0	7	3
Arsenic	5	2	9	5,4	5	2	10	6	7	2	13	8
Barium	478	87	960	577	356	64	710	434	338	76	710	412
Beryllium	1,08	0,10	3,60	1,38	0,77	0,10	1,80	0,93	0,83	0,20	1,80	0,98
Cadmium	0,97	0,12	5,40	1,39	2,31	0,27	12	3,58	2,44	0,29	13,00	4,91
Calcium	203 258	160 000	280 000	215 000	233 788	140 000	390 000	256 600	233 788	140 000	360 000	255 100
Chromium (Cr)	3 136	1 350	5 250	3 521	1 810	530	4 800	2 280	1 528	410	4 300	1 980
Hexavalent Cr	1,9	0,5	14,2	5,1	--	--	--	--	--	--	--	--
Cobalt	11	4	18	12	9	1	23	11	7	1	16	8
Copper	134	39	365	166	149	47	480	188	155	44	540	197
Iron	192 780	104 500	290 000	210 500	119 470	12 000	290 000	154 100	98 508	30 000	240 000	125 400
Lead	13	0	90	22	65	3	280	101	75	4	370	118
Magnesium	52 871	37 500	70 000	56 292	68 288	28 000	140 000	77 208	67 364	27 000	170 000	78 270
Manganese	31 182	14 000	45 500	34 460	18 402	4 800	41 000	23 272	15 624	3 800	38 000	20 018
Mercury	0,01	0,01	0,07	NC	0,02	0,01	0,09	0,02	0,02	0,01	0,13	0,03
Molybdenum	41	6	270	58	29	5	66	38	29	6	69	39
Nickel	49	9	230	66	61	10	230	82	50	7	150	66
Phosphorus	2 195	1 250	4 100	2 463	1 297	520	3 900	1 537	1 284	440	3 800	1 596
Selenium	1	0	5	2	2	0	12	3	2	0	8	3
Silicon	1 742	790	4 650	2 041	2 930	1 267	6 300	3 391	4 405	1 117	18 000	8 886
Silver	1	0	12	4	3	0	25	4	3	0	23	5
Thallium	0,21	0,01	0,36	0,22	0,07	0,01	0,25	0,04	0,07	0,01	0,25	NC
Tin	4	1	15	6	6	1	19	8	7	1	23	12
Vanadium	601	240	1 300	686	336	59	1 100	435	289	50	1 100	384
Zinc	209	31	1 200	309	592	46	4 000	964	686	61	4 000	1 115

Tableau 3

Teneurs en métaux par fractions granulométriques contenues dans les laitiers d'acierie de four électrique

Cette observation présente un grand intérêt car ces métaux «traceurs» des laitiers et censés être les plus susceptibles d'affecter la santé humaine dans le cadre des scénarios d'usage (cf. premières conclusions de l'étude Proctor et al. de 2002) se présentent à des concentrations plus faibles dans les fractions granulométriques les plus fines, caractéristiques des particules auxquelles les personnes sont davantage susceptibles d'être exposées.

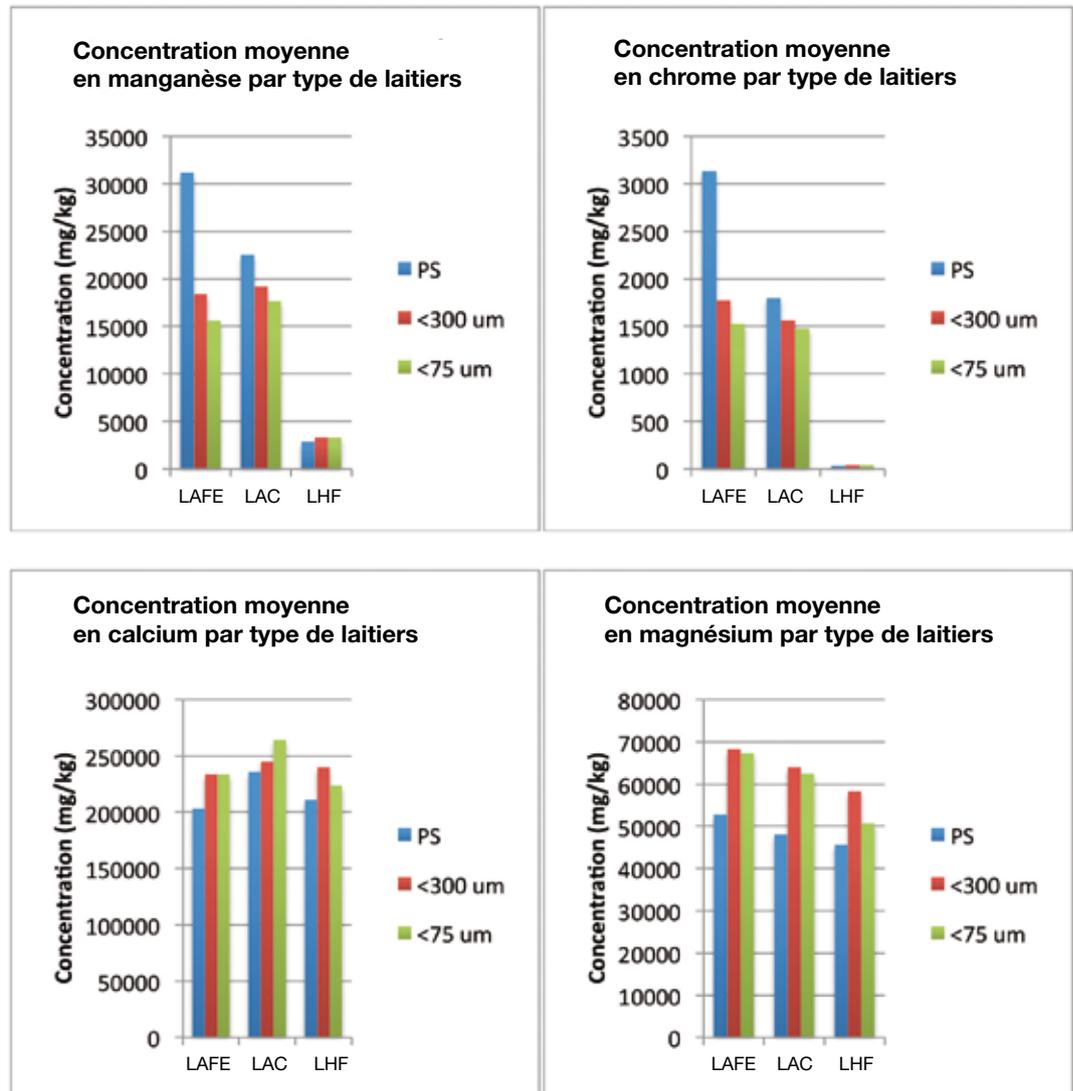


Figure 1

Teneurs en manganèse, en chrome, en calcium et en magnésium dans les différentes fractions granulométriques des différents types de laitiers analysés.

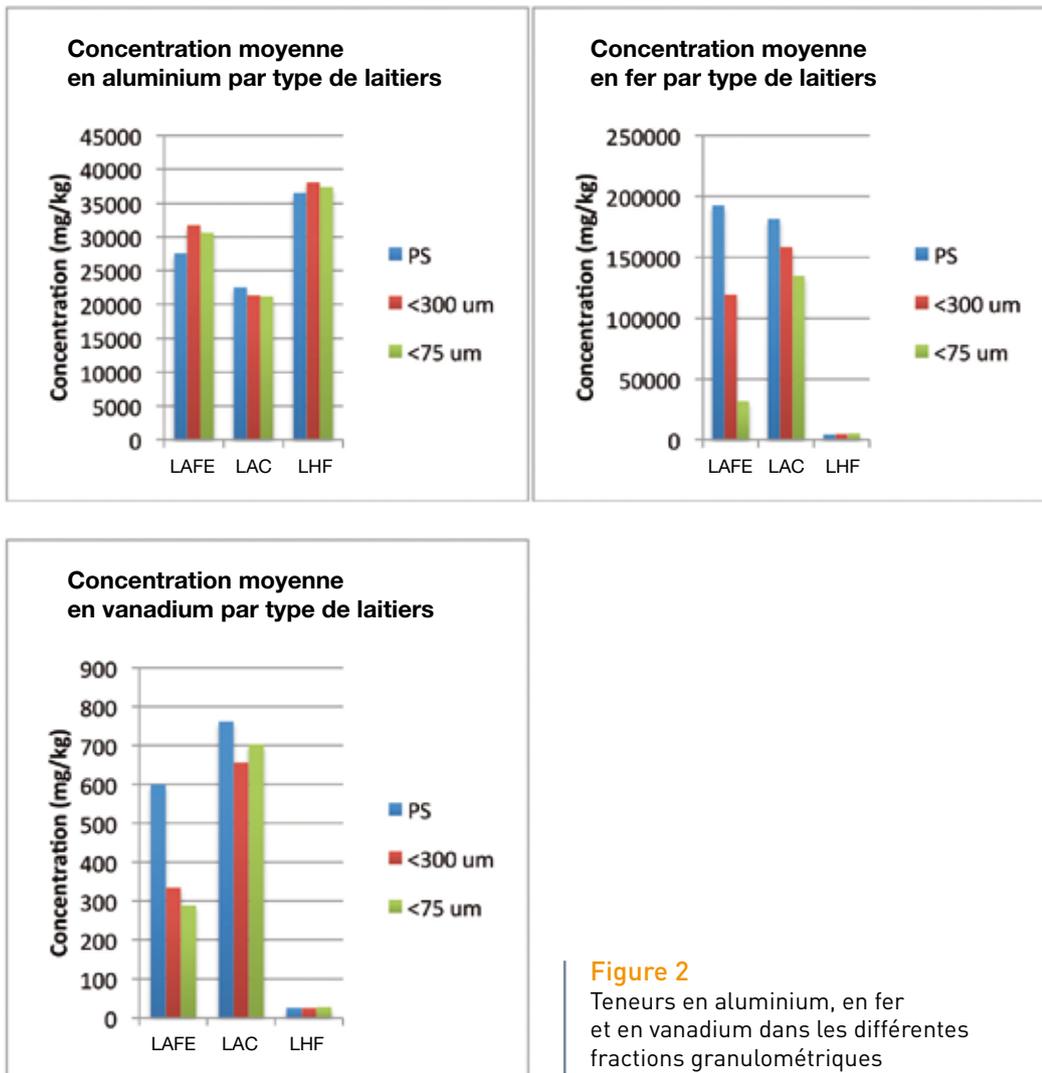


Figure 2
Teneurs en aluminium, en fer et en vanadium dans les différentes fractions granulométriques des différents types de laitiers analysés.

Par ailleurs, des mesures de la fraction bio-accessible des métaux dans les laitiers ont été réalisées pour les laitiers de granulométries <300µm (selon les recommandations de l'US EPA) (cf tableau 4). La fraction bio-accessible d'un métal est la fraction potentiellement extractible de la matrice solide des laitiers dans des conditions physico-chimiques similaires à celles du système gastrique.

Pour simuler ces conditions spécifiques, les échantillons de laitiers sont soumis à une extraction acide «partielle» (1g de laitier pour 100 ml de solution acide) à l'acide chlorhydrique à pH 1,5 pendant 1 heure, en présence de glycine et à 37°C. Les fractions de métaux solubilisés à partir des laitiers correspondent à la fraction bio-accessible, car seuls les métaux présents dans cette solution peuvent être absorbés par le système gastrique.

Tableau 4

Synthèse des résultats de bio-accessibilité réalisés sur les laitiers sidérurgiques
(Proctor et al., 2011)

	LHF				LAC				LAFE			
	Min	Moy	Max	VSC95	Min	Moy	Max	VSC95	Min	Moy	Max	VSC95
Al	0,62	0,84	0,95	0,92	0,38	0,62	0,90	0,78	0,39	0,71	1,00	0,79
Sb	1,00	1,00	1,00	na	0,17	0,66	1,00	0,97	0,25	0,61	1,00	0,72
As	1,00	1,00	1,00	na	0,38	0,74	1,00	0,98	0,46	0,72	1,00	0,80
Ba	0,31	0,62	1,00	0,75	0,51	0,76	0,91	0,87	0,70	0,79	1,00	0,80
Be	0,05	0,82	1,00	0,92	0,65	0,76	0,86	0,83	0,56	0,75	1,00	0,81
Cd	0,12	0,38	1,00	0,57	0,22	0,32	0,48	0,39	0,08	0,29	0,97	0,39
Ca	0,46	0,86	1,00	0,97	0,72	0,83	0,90	0,88	0,78	0,88	1,00	0,90
Cr	0,38	0,57	1,00	0,70	0,05	0,10	0,23	0,17	0,02	0,18	1,00	0,29
Co	0,79	0,92	1,00	0,98	0,51	0,65	0,84	0,75	0,31	0,61	0,93	0,67
Cu	0,01	0,05	0,36	0,36	0,01	0,37	0,68	0,57	0,00	0,23	0,49	0,29
Fe	0,22	0,43	1,00	0,63	0,07	0,13	0,29	0,22	0,01	0,17	0,92	0,26
Pb	0,20	0,50	1,00	0,71	0,45	0,73	1,00	0,91	0,04	0,57	0,71	0,71
Mg	0,73	0,81	1,00	0,87	0,15	0,46	0,74	0,64	0,08	0,56	0,86	0,65
Mn	0,65	0,86	1,00	0,94	0,14	0,29	0,59	0,42	0,03	0,27	0,50	0,33
Hg	1,00	1,00	1,00	na	0,91	0,98	1,00	1,00	0,83	0,99	1,00	1,00
Mo	0,09	0,29	1,00	0,59	0,01	0,14	0,31	0,23	0,00	0,13	0,41	0,18
Ni	0,29	0,56	1,00	0,73	0,17	0,27	0,35	0,33	0,00	0,24	0,36	0,28
P	0,91	0,98	1,00	1,00	0,59	0,70	0,78	0,76	0,35	0,77	1,00	0,83
Se	0,06	0,10	0,14	0,12	0,21	0,53	1,00	1,00	0,07	0,53	1,00	1,00
Si	1,00	1,00	1,00	na	1,00	1,00	1,00	na	1,00	1,00	1,00	na
Ag	0,17	0,31	0,51	0,38	0,11	0,20	0,30	0,26	0,08	0,27	1,00	0,36
Th	1,00	1,00	1,00	na	1,00	1,00	1,00	na	0,78	0,99	1,00	1,00
Sn	1,00	1,00	1,00	na	1,00	1,00	1,00	na	0,01	0,94	1,00	1,00
V	0,43	0,60	1,00	0,72	0,44	0,56	0,74	0,66	0,09	0,59	0,83	0,66
Zn	0,63	0,74	1,00	0,83	0,38	0,45	0,67	0,54	0,02	0,45	0,73	0,52

Cette fraction bio-accessible est utilisée dans l'évaluation des risques pour calculer la dose liée à l'exposition par voie orale. Compte tenu du fait que les métaux sont étroitement liés au sein de la matrice cristallographique des laitiers (spéciation), l'évaluation de la bio-accessibilité des métaux à partir des laitiers sidérurgiques a montré que seule une fraction du contenu total en métaux pouvait être mobilisée, et par conséquent disponible pour l'absorption par l'organisme.

Ces nouvelles données de caractérisation des laitiers sidérurgiques disponibles sur le marché américain permettent d'accroître de façon importante les données déjà disponibles pour la réalisation de l'évaluation des risques pour la santé humaine.

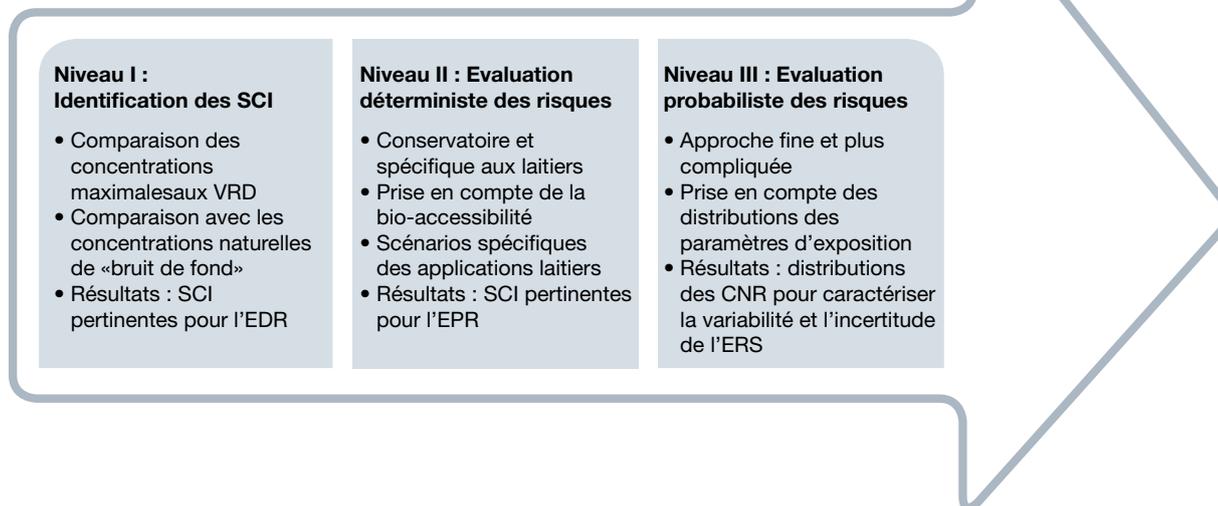
Méthodologie de l'évaluation des risques sanitaires

Cette ERS a été élaborée sur la base d'une démarche itérative en trois «Niveaux» :

- **Niveau I** : identification des dangers - définition des SCI¹,
- **Niveau II** : évaluation déterministe des risques (EDR),
- **Niveau III** : évaluation probabiliste des risques (EPR).

1 - Substances chimiques d'intérêt dans le cadre de l'ERS

Cette approche en trois temps peut être schématisée de la manière suivante :



Dans le but de s'assurer que les conclusions de cette ERS puissent s'appliquer le plus largement possible aux différents emplois des laitiers sidérurgiques dans les travaux publics et la construction, des coefficients de sécurité – touchant tant à la toxicité des substances qu'aux paramètres d'exposition – ont été sélectionnés de façon très conservatoire en surestimant les éventuelles conditions d'exposition humaine et les risques pour la santé.

Comme dans les évaluations précédentes, les critères de toxicité définis par l'US EPA ont été utilisés en vue de caractériser la possibilité d'effets négatifs résultant de l'exposition aux substances chimiques d'intérêt (SCI) présentes dans les laitiers.

Niveau I - Identification des SCI pertinentes pour l'ERS

Les concentrations en éléments métalliques des laitiers caractérisés lors du programme complémentaire réalisé en 2008-2009 ont été comparées aux teneurs naturellement présentes dans les sols de l'Amérique du Nord (bruit de fond²) aux valeurs régionales³ de détection (VRD) des sols⁴ de l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (US EPA).

Cette première étape permet d'identifier les «substances chimiques d'intérêt» (SCI) dans le cadre de l'évaluation des risques. Ce sont les substances chimiques contrôlées et présentant des concentrations au minimum plus élevées que celles existant naturellement dans le milieu naturel («bruit de fond»), et supérieures aux teneurs préconisées par l'US EPA pour les scénarios résidentiels et/ou industriels.

Ainsi, dans le cas où, pour l'ensemble des laitiers sidérurgiques testés, les concentrations mesurées sont inférieures au «bruit de fond», l'évaluation des risques associés à la substance chimique correspondante n'est pas jugée pertinente. C'est ainsi le cas pour l'Al, l'As, le Cd, le Hg, le Si et l'Ag, qui ne dépassent pas les valeurs naturelles du bruit de fond pour les sols américains de référence.

Les résultats de l'analyse d'identification des SCI (Niveau I) sont présentés dans le Tableau 5, en comparaison avec les valeurs régionales de détection (VRD) pour les substances chimiques analysées dans des laitiers et pour les SCI ayant des concentrations plus élevées que les concentrations naturelles («bruit de fond») dans les sols américains.

2 - Elements in North American Soils [Dragun and Chekiri, 2005].

3 - Le référentiel régional qui a été utilisé dans le cadre de cette étude concerne la Région Centre-atlantique (Mid-Atlantique) des Etats-Unis, incluant les Etats suivants : Serving Delaware, District of Columbia, Maryland, Pennsylvania, Virginia, and West Virginia (Region III, US EPA).

4 - Ces valeurs génériques, qui servent de référentiels aux Etats-Unis, sont prévues pour déterminer la nécessité de réaliser des investigations supplémentaires compte tenu de la composition et de la destination (usage futur) des sols.

Tableau 5

Niveau I – Evaluation des SCI

Comparaison des concentrations mesurées dans les laitiers avec les référentiels de l'US EPA pour le «bruit de fond» et les valeurs régionales de détection (VRD) des sols

SUBSTANCE CHIMIQUE	LHF Comparaison au «bruit de fond»	LAC Comparaison au «bruit de fond»	LAFE Comparaison au «bruit de fond»	USEPA - VRD Sols résidentiels (mg/kg)	USEPA - VRD Sols industriels (mg/kg)
Aluminium	Inférieur	Inférieur	Inférieur	--	--
Antimoine	Supérieur	Supérieur	Supérieur	31	410
Arsenic	Inférieur	Inférieur	Inférieur	--	--
Baryum	Supérieur	Supérieur	Supérieur	15 000	190 000
Béryllium	Supérieur	Inférieur	Supérieur	160	2 000
Cadmium	Inférieur	Inférieur	Inférieur	--	--
Calcium	Supérieur	Supérieur	Supérieur	N.A	N.A
Chrome (Total)	Inférieur	Supérieur	Supérieur	125 000	1 500 000
Chrome (VI)	Pas de données	Pas de données	Pas de données	0,29	300
Cobalt	Inférieur	Inférieur	Supérieur	23	300
Cuivre	Inférieur	Supérieur	Supérieur	3 100	41 000
Fer	Inférieur	Supérieur	Supérieur	55 000	720 000
Plomb	Inférieur	Supérieur	Supérieur	400	800
Magnésium ⁵	Supérieur	Supérieur	Supérieur	N.A	N.A
Manganèse	Supérieur	Supérieur	Supérieur	1 800	23 000
Mercure	Inférieur	Inférieur	Inférieur	--	--
Molybdène	Inférieur	Supérieur	Supérieur	5,6	5 100
Nickel	Inférieur	Inférieur	Supérieur	390	20 000
Phosphore ⁶	Supérieur	Supérieur	Supérieur	1 500	20
Sélénium	Supérieur	Supérieur	Supérieur	1,6	5 100
Silicium	Inférieur	Inférieur	Inférieur	--	--
Argent	Inférieur	Inférieur	Inférieur	--	--
Thallium	Pas de données	Pas de données	Pas de données	5,2	67
Étain	Inférieur	Supérieur	Supérieur	47 000	610 000
Vanadium	Inférieur	Supérieur	Supérieur	5,5	72

« -- » = concentrations des trois types de laitiers sidérurgiques (LHF, LAC et LAFE) < concentrations de bruit de fond : pas de comparaison avec les VRD

VRD = valeurs régionales de détection des sols

5 - Le calcium et le magnésium sont présents dans les laitiers à des concentrations supérieures aux concentrations du bruit de fond ; cependant, le calcium et le magnésium ne sont pas considérés comme des substances chimiques d'intérêt (SCI) car leur ingestion dans des proportions compatibles avec des taux d'ingestion de terre donne comme résultat une dose inférieure à l'apport journalier recommandé.

6 - Le phosphore est présent dans les laitiers à des concentrations supérieures au bruit de fond et aux valeurs régionales de détection (VRD) de l'USEPA (USEPA 2010b) des sols américains ; cependant, les VRD pour le phosphore sont fondées sur l'acide phosphorique (H3PO4) qui ne correspond pas à la forme de phosphore dans les laitiers (P2O5). Dans ce cas l'ingestion de phosphore reste compatible avec l'apport journalier recommandé.

Ainsi, les SCI pertinentes pour les laitiers d'aciérie (LAFE et LAC) dans le cadre des scénarios d'exposition résidentiels et non résidentiels (= usages industriels) décrits par cette Agence (voir plus bas) ont été les suivantes :

- chrome hexavalent (CrVI),
- fer (Fe),
- manganèse (Mn),
- vanadium (V).

Pour les laitiers de haut-fourneau (LHF), la seule SCI pertinente est le manganèse (Mn), et uniquement dans le cas des scénarios liés aux usages résidentiels. Aucune autre SCI n'a été considérée comme pertinente pour les scénarios relatifs aux usages industriels des laitiers sidérurgiques.

Niveau II – Evaluation déterministe des risques

Seuls les éléments présentant des concentrations supérieures aux valeurs du «bruit de fond» et des valeurs régionales de détection (VRD) des sols dans l'étape de caractérisation préalable - appelés substances chimiques d'intérêt (SCI) -, ont été évalués par une approche déterministe des risques (EDR).

Des paramètres d'exposition conventionnels, généralement reconnus comme étant conservatoires, ainsi que des données représentatives des conditions d'exposition spécifiques des scénarios d'utilisation des laitiers sidérurgiques ont été pris en compte pour calculer les concentrations acceptables (CNR II) pour le niveau de risque défini au Niveau II.

Lors de cette évaluation du «Niveau II», les concentrations acceptables de SCI calculées pour les laitiers (LHF, LAC, LAFE) en fonction des scénarios d'exposition ont été comparées à la valeur moyenne et à la valeur supérieure de l'intervalle de confiance⁷ pour 95 %

(«95 percentile», VSC_{95}) des concentrations mesurées dans les laitiers pour ces SCI (cf. Tableau 6).

En particulier, pour les substances cancérigènes (CrVI, substance à effets sans seuil), les valeurs de CNR II ont été développées pour prendre en compte un excès de risque individuel de cancer d'un sur un million (10^{-6}). Pour les substances non cancérigènes (c'est à dire toutes les autres SCI évaluées, substances à effets à seuil), ces valeurs de CNR II ont été développées pour être cohérentes avec les doses journalières (ingestion) et les concentrations (inhalation de poussières) de référence préconisées par l'US EPA⁸ pour les voies d'exposition ingestion et inhalation.

Pour chaque scénario, les voies d'exposition étudiées au cours de l'évaluation déterministe des risques du Niveau II ont été les suivantes :

- Exposition en milieu résidentiel (adultes et enfants) associée à l'emploi de laitiers sidérurgiques pour la voie d'accès à l'habitation (scénario d'un ouvrage non revêtu par un enrobé), ou dans des remblais situés sur cette résidence même : risques d'ingestion et d'inhalation ;
- Exposition en milieu résidentiel, mais pour une habitation située à proximité (50 m) d'une route (ou piste) construite à base de laitiers sidérurgiques (scénario d'un ouvrage non revêtu par un enrobé) : risques d'inhalation liés à la circulation des véhicules sur cet ouvrage adjacent à la résidence ;
- Exposition de travailleurs mettant en œuvre des laitiers sidérurgiques lors de la construction d'une sous-couche routière : risques d'ingestion et d'inhalation ;
- Exposition de travailleurs exerçant une activité industrielle ou de maintenance sur un site (industriel ou commercial) où des laitiers sidérurgiques ont été utilisés comme matériaux de remblai : risques d'inhalation.



7 - Définies selon la loi de Student (t) pour une distribution statistique suivant une loi normale. Ceci signifie que statistiquement, 95% des valeurs observées pour les laitiers concernés (LHF, LAC ou LAFE) sont inférieures à cette valeur supérieure calculée VSC_{95} .

8 - Ces données de référence, développées par l'US EPA, correspondent respectivement aux doses journalières et concentrations dans le cadre d'une exposition par ingestion ou par inhalation à laquelle une population humaine (y compris les cibles sensibles) peut être soumise sans que cela n'entraîne un excès de risque au cours d'une durée de vie conventionnelle (US EPA, 2010a)

Tableau 6

Concentrations acceptables correspondant au risque de Niveau II (CNR II)⁹

SCI ¹⁰	Scénario voie d'accès résidentielle			Scénario voie d'accès à proximité d'une résidence		
	LHF	LAC	LAFE	LHF	LAC	LAFE
Chrome (VI)	--	1,7	1,0	--	19,3	23,8
Fer	--	251 147	212 209	--	NC	NC
Manganèse	3 690	7 668	9 604	16 389	14 575	17 951
Vanadium	--	594	589	--	29 150	35 901

SCI	Scénario travailleur construction d'un ouvrage			Scénario travailleur sur site avec laitiers utilisés en remblais		
	LHF	LAC	LAFE	LHF	LAC	LAFE
Chrome (VI)	--	--	20,4	--	--	21,4
Fer	--	--	--	--	--	--
Manganèse	--	29 490	37 186	--	90 876	108 785
Vanadium	--	2 597	2 581	--	8 543	8 480

« -- » = substance n'ayant pas été retenue comme SCI au cours de l'évaluation des dangers du Niveau I
 NC = concentration acceptable (CNR II) non calculée, car le fer ne dispose pas de critères d'inhalation toxique

Les concentrations acceptables pour le niveau de risque (CNR II) défini dans le cadre de l'approche de Niveau II sont présentées dans le Tableau 6.

Pour chacun des scénarios, à l'exception du scénario d'une habitation située à proximité immédiate d'un ouvrage routier (50 m), les expositions par ingestion et inhalation accidentelles ont été quantifiées. Pour les personnes habitant près de routes construites avec des laitiers non liés, seule l'exposition par inhalation a été évaluée ; en effet, il est admis que l'ingestion accidentelle ne pourrait pas se produire pour ce scénario. L'exposition à l'ingestion des laitiers est donc seulement évaluée pour le scénario où la voie d'accès à l'habitation même est réalisée en laitiers et non recouverte.

Cette évaluation fait apparaître que les concentrations acceptables (CNR II) pour les deux scénarios résidentiels sont dépassées par la valeur supérieure de l'intervalle de confiance pour 95 % (VSC95) des concentrations observées pour :

- le chrome hexavalent, le manganèse et le vanadium dans les laitiers d'aciérie de four électrique (LAFE) ;
- le chrome hexavalent, le manganèse et le vanadium dans les laitiers d'aciérie de conversion à l'oxygène (LAC).

Pour les deux autres scénarios, prenant en compte les travailleurs sur site, aucune SCI pour aucun des laitiers ne présente de risques significatifs compte tenu de l'évaluation menée au niveau II. Par conséquent, seuls ces métaux sont considérés comme des substances chimiques d'intérêt (SCI) nécessitant une évaluation des risques de Niveau III basée sur une analyse probabiliste.

⁹ - Les concentrations sont calculées en utilisant une approche déterministe des risques, fondées sur un scénario d'exposition maximum raisonnable

¹⁰ - Sur la base de l'évaluation menée au cours du Niveau I

Scénarios	Voie d'accès résidentielle			Ouvrage routier adjacent à l'habitation			Travailleur en phase de construction d'un ouvrage			Travailleur industriel sur site avec ouvrage		
	LHF	LAC	LAFE	LHF	LAC	LAFE	LHF	LAC	LAFE	LHF	LAC	LAFE
SCI avec dépassement des CNR II	--	CrVI, Mn, V	CrVI, Mn, V	--	Mn	Mn	--	--	--	--	--	--

Tableau 7

Synthèse des SCI pour lesquelles les CNR II sont dépassées et qui nécessitent une évaluation de Niveau III (EPR)

SCI : substance chimique d'intérêt
 CNR II : concentrations acceptables de risque de Niveau II

Pour les laitiers de haut-fourneau (LHF), il faut noter que l'évaluation réalisée pour la seule substance d'intérêt – le Mn – a abouti à des concentrations acceptables pour les différents scénarios qui ne sont pas dépassées par les concentrations en Mn présentes dans les LHF (VSC95). En conséquence, les laitiers de haut-fourneau n'ont pas été pris en considération dans l'évaluation probabiliste des risques (EPR) de Niveau III.

Le tableau 7 ci-dessus illustre la conclusion de l'évaluation déterministe des risques menée au Niveau II, ainsi que les couples SCI/laitiers pertinents en fonction des scénarios d'exposition (usages des laitiers) retenus pour l'évaluation probabiliste des risques qui sera menée au Niveau III.

Niveau III – Méthodes et résultats de l'évaluation probabiliste des risques

Les SCI présentant, pour les laitiers caractérisés, des concentrations supérieures aux concentrations acceptables telles que calculées au Niveau II (CNR II) ont été de nouveau évaluées lors d'une troisième étape (Niveau III), suivant une méthode fondée, cette fois, sur une approche probabiliste des risques (EPR).

L'évaluation des risques basée sur une approche probabiliste (EPR) permet la caractérisation de la variabilité (sensibilité) et de l'incertitude, tant des différents paramètres pris en compte pour définir l'exposition que des facteurs permettant l'estimation des risques, et dans le cas de la présente ERS, dans la détermination des concentrations acceptables de risque.

Dans l'évaluation déterministe des risques (EDR), des estimations majorantes des paramètres d'exposition sont choisies et multipliées entre elles, conduisant à des concentrations acceptables de risque (CNR II) calculées de façon très conservatoire. Par conséquent, ces CNR II garantissent une protection extrêmement sécurisante (voire la plupart du temps irréaliste) vis-à-vis des conditions d'exposition possibles.

Dans le cas de l'évaluation probabiliste des risques (EPR), les distributions statistiques des paramètres d'exposition sont combinées entre elles selon un modèle probabiliste - dans le cas de cette étude, il y a eu 10 000 itérations pour générer une distribution de probabilité des résultats. Cette méthode permet donc d'éviter une surestimation artificielle du risque, découlant de la combinaison entre elles d'estimations majorantes et très conservatoires des paramètres d'exposition. Les percentiles supérieurs résultant de la distribution des CNR III sont alors plus représentatifs de la limite supérieure réelle des conditions d'exposition potentielles.

Cette approche de l'évaluation des risques sanitaires génère donc des concentrations fondées sur une probabilité de risque. Les distributions statistiques des concentrations acceptables de risque (CNR III) pour le Niveau III ainsi calculées ont été comparées aux concentrations en substances chimiques d'intérêt (SCI) dans les laitiers en fonction de la taille des particules. Les concentrations calculées et utilisées pour décrire le risque de Niveau III (CNR III) sont les percentiles 50 (médiane) et 90 des distributions, estimations respectives de la valeur la plus probable, et de la valeur (raisonnablement) majorante des conditions d'exposition possibles.

Pour cette évaluation probabiliste des risques, un niveau de risque-cible de 10 pour un million (10^{-5}) a été utilisé, car représentatif du centre de l'intervalle (10^{-4} à 10^{-6}) des valeurs acceptables de risque, telles

que recommandées par l'Agence américaine de Protection de l'Environnement (US EPA, 1989). Par ailleurs, cette valeur (10^{-5}) est également celle qui a été utilisée par l'US EPA au cours de l'évaluation probabiliste des risques qui a été réalisée pour évaluer les scénarios d'usages des sables de fonderie usagés (US EPA, 2009b).

Les concentrations acceptables de risque (CNR III) ont ainsi été calculées pour les SCI, les différents scénarios d'usage, et les laitiers encore pertinents au Niveau III¹¹ (cf. tableau 7). Elles ont été comparées aux valeurs supérieures de l'intervalle de confiance pour 95 % (VSC_{95}) des caractéristiques mesurées dans les laitiers concernés (LAC et LAFE). Le tableau 8 suivant fournit un résumé de l'évaluation réalisée.

Tableau 8

Comparaison entre le percentile 90 des CNR III et les VSC_{95} des laitiers caractérisés pour les SCI

Nature du risque caractérisé	SCI	Type de laitiers	Perc. 90 CNR III (mg/kg)	VSC_{95} des laitiers (mg/kg)	Fraction granulo concernée	Est-ce que les VSC_{95} > CNR III ?
Scénario résidentiel - Voie d'accès						
ERI	CrVI	LAC	153	2,5	0-25 mm	Non
IR	Mn	LAC	23 171	21 882	<300 µm	Non
IR	Mn	LAC	23 171	25 252 ¹²	0-25 mm	Oui
IR	V	LAC	5 137	865	0-25 mm	Non
ERI	CrVI	LAFE	50	5,1	0-25 mm	Non
IR	Mn	LAFE	24 588	23 300	<300 µm	Non
IR	Mn	LAFE	24 588	34 464 ¹³	0-25 mm	Oui
IR	V	LAFE	5 642	686	0-25 mm	Non
Scénario résidentiel - Ouvrage routier adjacent à l'habitation						
IR	Mn	LAC	31 056	20 520	<75 µm	Non
IR	Mn	LAFE	38 725	20 018	<75 µm	Non

ERI : Excès de risque individuel

IR : Indice de risque

SCI : substance chimique d'intérêt

CNR III : concentrations acceptables de risque de Niveau III

VSC_{95} : concentrations supérieures de l'intervalle de confiance pour 95 % des caractéristiques mesurées dans les laitiers

11- Les CNR III ont été calculées uniquement pour les couples laitiers/scénario d'usage lorsque les VSC_{95} étaient supérieures aux CNR II lors de l'évaluation du Niveau II (EDR).

Pour tous les scénarios d'exposition, les résultats montrent que les VSC₉₅ pour le chrome hexavalent (CrVI) et le vanadium (V) dans les LAC et dans les LAFE sont inférieures aux CNR III correspondant au percentile 90 de la concentration de risque considérée comme (raisonnablement) majorante des conditions d'exposition possibles. Ceci indique que ces substances, contenues dans les laitiers d'aciérie (LAC et LAFE), ne présentent pas de risque cancérigène significatif (pour le CrVI) pour la santé et qu'aucun effet toxique n'impactera la population exposée (pour le V).

Par ailleurs, il convient de souligner que le percentile calculé pour 90% de la distribution des concentrations en chrome hexavalent potentiellement acceptables dans les LAC (153 mg/kg) et dans les LAFE (50 mg/kg) est, respectivement, de l'ordre de soixante et dix fois plus élevé que les VSC₉₅ mesurées dans les LAC (2,5 mg/kg) et dans les LAFE (5,1 mg/kg)¹⁴. Par conséquent et par transposition, en considérant un niveau de risque cible de 10⁻⁶, la VSC95 mesurée pour le chrome hexavalent dans les LAC est 6 fois plus faible que la CNR III calculée pour le scénario voie d'accès résidentielle. Pour les LAFE, la CNR III calculée est du même ordre que la VSC₉₅ mesurée pour le CrVI dans les laitiers caractérisés. Il faut rappeler que le chrome hexavalent est la seule substance cancérigène (à effets sans seuil) reconnue d'intérêt lors de la présente ERS.

Pour le manganèse (Mn), les VSC95 mesurées dans les laitiers (LAC et LAFE) ne dépassent pas le percentile 90 de la distribution des concentrations acceptables (CNR III) pour le scénario résidentiel dans lequel l'habitation est située à proximité immédiate (50 m) d'un ouvrage routier (non revêtu) réalisé en laitier. Le manganèse présent dans les laitiers d'aciérie (LAC et LAFE), ne causera donc pas d'effets toxiques pour la population exposée dans le cadre des scénarios non revêtus en construction.

Pour le scénario résidentiel dans lequel la voie d'accès à l'habitation est constituée de laitiers, les VSC95 en Mn mesurées dans les laitiers 0-25mm (25 252 mg/kg dans les LAC et 34 464 dans les LAFE) dépassent le percentile 90 de la distribution des concentrations de manganèse acceptables (respectivement 23 171 mg/kg et 24 588 mg/kg) pour les conditions d'exposition de ce scénario.

Cependant, l'exposition aux métaux découlant de l'inhalation ou de l'ingestion des particules <25 mm issues des échantillons de laitiers sidérurgiques n'est pas réaliste en raison de la taille des particules présentes dans ces échantillons. Les concentrations en manganèse les plus élevées sont mesurées dans les grains de laitiers dont les dimensions sont les plus importantes. Si on considère les VSC95 en Mn mesurées dans les fractions granulométriques les plus fines et seules susceptibles d'être inhalées ou ingérées (<300 µm et <75 µm) des laitiers d'aciérie (LAC et LAFE) – toutes <24 000 mg/kg, Cf. Tableaux 1 à 3 –, on constate qu'elles sont inférieures aux CNR III acceptables (percentile 90) pour ce scénario.

La fraction granulométrique <300 µm est la plus représentative de la taille des particules susceptibles d'induire une exposition accidentelle orale (ingestion) ou cutanée. Par conséquent, c'est la comparaison avec les CNR III pour la fraction granulométrique <300 µm qui apparaît la plus pertinente pour évaluer les éventuels risques pour la santé. Les mesures des VSC₉₅ en Mn mesurées dans les laitiers d'aciérie pour les fractions granulométriques <300 µm (21 882 mg/kg pour les LAC et 23 272 mg/kg pour les LAFE) sont inférieures aux CNR III acceptables (respectivement 23 171 mg/kg et 24 588 mg/kg), indiquant que le manganèse présent dans les LAC et les LAFE ne présentera pas d'effets toxiques sur la population exposée dans le cadre des scénarios d'usages des laitiers (direct ou de proximité) et d'une exposition résidentielle.

12 - Pour le danger évalué pour la SCI Mn des LAC, la VSC95 [25 252 mg/kg] correspond au percentile 88 de la distribution de risque, et donc du même ordre que la référence percentile 90 utilisée pour l'évaluation

13 - Pour le danger évalué pour la SCI Mn des LAFE, la VSC95 [34 464 mg/kg] correspond au percentile 77 de la distribution de risque, et donc du même ordre que la référence percentile utilisée pour l'évaluation

14 - Pour un niveau de risque de 10⁻⁵

Les CNR III sont présentées dans le tableau 9.

Tableau 9

Concentrations correspondant au risque de Niveau III (CNR III)¹⁵ (mg/kg)

SCI	Scénario voie d'accès résidentielle		Scénario habitation située à proximité d'une route	
	LAFE	LAC	LAFE	LAC
Chrome (VI)	50	153	--	--
Manganèse	24 588	23 171	38 725	31 056
Vanadium	5 642	5 137	--	--

« -- » = concentrations des trois types de laitiers sidérurgiques (LHF, LAC et LAFE) < concentrations de bruit de fond : pas de comparaisons effectuées
CNR = concentrations acceptables de risque pour le Niveau III (CNR III)

Conclusions

En conclusion, cette étude montre que les concentrations mesurées pour les substances chimiques pertinentes, environnementalement d'intérêt et présentes dans les laitiers sidérurgiques (LHF, LAC et LAFE), ne présentent pas de risques pour la santé humaine en cas d'exposition directe, dans le cadre d'applications conformes aux exigences environnementales dans le domaine des travaux publics et de la construction.

Références bibliographiques

- ChemRisk. 1998. Human health And ecological Risk assessment For BF, BOF and EAF slags. Prepared for The Steel Slag Coalition. ChemRisk, Inc.
- Exponent. 2007. Human Health And Ecological Risk Assessment Of Environmental Applications of Steel-making Slag: An Update. Prepared For the Steel Slag Collation and Kelley Drye, Washington, DC. November 8.
- Finley, B., D. Proctor, P. Scott, N. Harrington, D. Paustenbach And P.Price. 1994. Recommended distributions for exposure factors frequently used in Health risk assessment. Risk Analysis 14(4): 533-553.
- Proctor, D.M., Fehling, K.A., Shay, E.C., Wittenborn, J.L., Green, J.J., Avent, C., Bigham, R.D., Connolly, M., Lee, B., Shepker, T.O., Zak, M.A. 2000. Physical and Chemical characteristics Of blast furnace, Basic oxygen furnace, and electric arc furnace steel industry slags. Environ. Sci. Technol. 34:1576-1582.
- Proctor, D.M., Shay, E.C., Fehling,, K.A., Finley, B.L. 2002. Assessment Of human Health and ecological Risks posed by the use of steel-industry Slags in the environment. Human Ecol. Risk Assess. 8:681-711.
- Proctor, D.M., Panko, J, Liebig, E., Et al. 2003. Workplace airborne Hexavalent chromium

¹⁵ - Les CNR III sont uniquement présentées pour les types de laitiers et les scénarios d'usage qui démontrent encore l'existence de SCI après l'évaluation de niveau II. Ces CNR III sont évaluées à partir d'une approche probabiliste de l'évaluation des risques. Les valeurs présentées ici sont le percentile 90 de la distribution des concentrations, qui protègent dans 90% des conditions d'exposition.

- Concentrations for The Painesville, Ohio Chromate Production Plant (1943–1971). *Appl Occup Environ Hyg J* 18(6):430–449.
- USEPA. 1989a. Soil Sampling Quality Assurance Guidance (Second Edition).
- PB89- 189864. Environmental Research Center. University of Nevada, Las Vegas, NV.
- USEPA. 1989b. Risk Assessment Guidance for Superfund, Human Health Evaluation Manual, Part A (Interim Final). Available online at <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/index.htm>
- USEPA. 1990. National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC.
- 55FR8666. March 8. Available online at <http://www.epa.gov/superfund/sites/npl/f900830.htm>
- USEPA. 1991a. Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance: «Standard Default Exposure Factors. OSWER Directive 9285.6- 03. Available online at http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/pdf/oswer_directive_9285_6-03.pdf
- USEPA. 1991b. Method 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).
- 40 CFR CH 1 (7-1-91). US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- USEPA. 1995. AP 42, Fifth Edition. Compilation of air Pollutant emission factors, Volume 1: Stationary Point and area sources. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA. 1996a. Soil screening guidance. EPA 540/R-96/018. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA. 1996b. Fifth Edition. Supplement B to compilation of air pollutant emission factors; Volume I: Stationary point and area sources. Office of Air Quality Planning and Standards. Office of Air and Radiation. Research Triangle Park, NC, USA.
- USEPA. 1997. Exposure Factors Handbook. EPA600/P-95/002F, Office of Research And Development, Washington, DC. Available online at <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=12464>
- USEPA. 2002a. Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites. US Environmental Protection Agency, Washington, DC. Available online at <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/>
- USEPA. 2006. The beneficial reuse of material. EPA100-R 06 002. US Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Innovation, Washington, DC.
- USEPA. 2008a. Standard Operating Procedure for an In Vitro Bioaccessibility Assay for Lead in Soil
- USEPA. 2008b. Pro95UCL.
- USEPA. 2009a. Exposure Factors Handbook: 2009 Update. (External Review Draft): EPA600/R-09/052A, Office Of Research And Development. National Center Environmental Assessment. Washington, DC.
- USEPA. 2009b. Risk Assessment Of Spent Foundry Sand In Soil-Related Applications. May 2009 Review Draft. Office of Resource Conservation And Recovery, Economics And Risk Assessment Staff. US Department Of Agriculture, Ohio State University. RTI International. Washington, DC.
- USEPA. 2010a. USEPA Integrated Risk Information System (IRIS). Available online at <http://www.epa.gov/iris/>
- USEPA. 2010b. USEPA Regional Screening Tables. May. Available online at http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration_table/index.htm
- USEPA. 2010c. CrVI Toxicity Review. US Geological Survey (USGS). 2004. Minerals yearbook. Slag-Iron and Steel. US Geological Survey, Washington, DC.
- USGS.2009. Mineral Commodity summaries. Slag-Iron And steel. US Geological Survey, Washington, DC.

Où sont passés les laitiers en 2012 ?



Comme chaque année, le Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques (CTPL) a lancé en 2012, en collaboration avec la Fédération Française de l'Acier (FFA), une enquête nationale relative aux flux de laitiers sidérurgiques produits sur le territoire national qui a permis de recueillir les données relatives à leurs principales filières d'utilisation.

Faute d'avoir pu présenter ces données dans notre unique numéro (n°101) de juillet 2013, c'est seulement dans ce numéro (n°102) que nous pouvons publier les données concernant l'enquête menée en 2013 auprès de l'ensemble des sites sidérurgiques générateurs de laitiers, pour leur production et leur devenir au cours de l'année 2012. Les résultats de l'enquête 2014 sur les laitiers produits et valorisés en 2013 seront publiés dans le numéro 103.

La consolidation des données fait apparaître une stabilisation globale de la production annuelle des laitiers. 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 s'établissent ces trois dernières années entre 4,8 et 5,0 millions de tonnes, environ 20 % en deçà des niveaux connus avant la crise (autour de 6 millions de tonnes).

De façon simultanée, les quantités de laitier utilisées, dépendant majoritairement du marché de la construction, sont affectées par la baisse drastique de ce dernier. Ceci est particulièrement vrai pour les laitiers de haut-fourneau, majoritairement granulés pour la production de liants hydrauliques. L'absence de mise en chantier de gros projets consommateurs de granulats a également affecté l'utilisation des laitiers d'aciérie.

Le tableau 1 suivant illustre l'évolution des productions de ces dernières années.

Tableau 1

Synthèse des productions de laitiers (en kT)

TYPE DE LAITIERS		2008	2009	2010	2011	2012
LHF	LHF totaux	3 639	2 329	3 079	2 847	2 866
	LHF granulés	2 814	1 772	2 442	2 323	1 902
	LHF cristallisés	825	557	637	524	964
Laitiers d'aciérie de conversion		1 235	807	1 069	1 136	1 135
Laitiers d'aciérie électrique (acières carbone)		578	575	579	617	637
Laitiers d'aciérie électrique (acières inox et alliés spéciaux)		348	131	200	231	216
Total		5 800	3 842	4 929	4 831	4 855

Laitiers de haut fourneau

La production de laitiers de haut-fourneau s'établit pour l'année 2012 à près de 3 millions de tonnes, issues des sites Arcelormittal de Fos-sur-Mer et Dunkerque², ainsi que du site Saint-Gobain de Pont-à-Mousson. Contrairement aux années précédentes, le ratio entre la partie cristallisée (1/3) et celle granulée (2/3) est plus important. Ceci est lié aux travaux de réhabilitation des haut-fourneaux de Fos, qui n'ont pas permis au granulateurs de fonctionner de manière optimisée.

la fraction cristallisée (33%) ont été valorisés comme granulats en technique routière. Des filières, encore marginales (4%), tendent à se développer pour l'utilisation du laitier de haut fourneau, par exemple en verrerie ou pour la fabrication de laine de roche. 17% des flux (essentiellement des laitiers cristallisés non absorbés par l'industrie des granulats) n'ont pas été valorisés au cours de l'année, mais restent en attente de conditions de marché locales plus favorables.

Laitiers d'aciérie

Les 22 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 2 millions de tonnes pour l'exercice 2012.

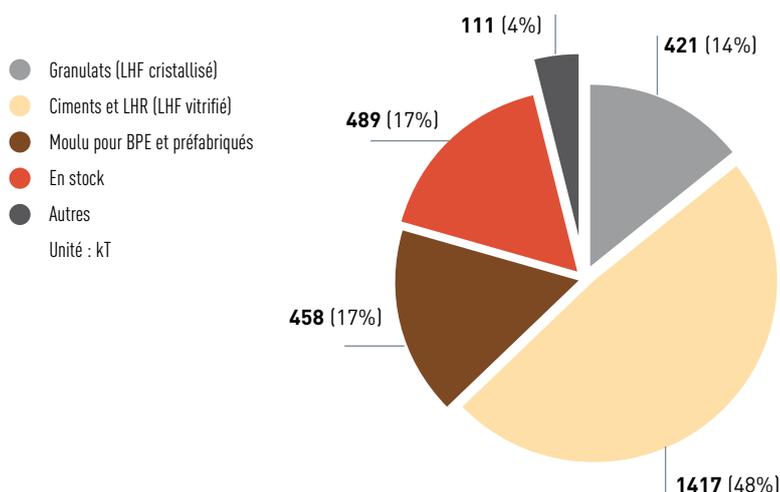


Figure 1

Utilisation des laitiers de haut-fourneau généré en France en 2012

La figure 1 montre qu'une majorité des tonnages produits ($48 + 17 = 65\%$) est valorisée sous forme de laitier vitrifié par l'industrie des liants hydrauliques à destination de la construction de bâtiments et d'ouvrages (ciments et addition dans le béton) et, de façon plus marginale, de la technique routière (liant hydraulique routier) ; ceci correspond à la fraction vitrifiée (2/3) des laitiers de haut-fourneau. Seuls 15% de

Les laitiers de convertisseur

Les laitiers de convertisseur à oxygène (appelés aussi laitiers LD), issus de la filière fonte représentent 57% des tonnages de laitiers d'aciérie produits en 2012 (un peu plus de 1,1 million de tonnes). Près de 2/3 des flux produits trouvent des filières de valorisation : pour 40% des tonnages produits, ces laitiers ont été utilisés en technique routière comme granulats ou comme constituant de liants hydrauliques routiers. Par rapport aux années précédentes, on peut constater le développement plus important du recyclage interne au niveau des sites sidérurgiques (15%), ainsi que le développement de la valorisation en travaux hydrauliques (6%). La filière agricole connaît depuis 2008 un léger regain d'activité du fait d'une réorganisation de sa distribution, l'évolution réglementaire européenne risque, malheureusement, de tuer dans l'œuf cette embellie.

2 - 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).

Un peu plus de 30% des tonnages (1/3) ne trouvent pas de débouchés et vont en stockage interne en attente de conditions locales de marché plus favorables (cf figure 2) permettant leur valorisation.

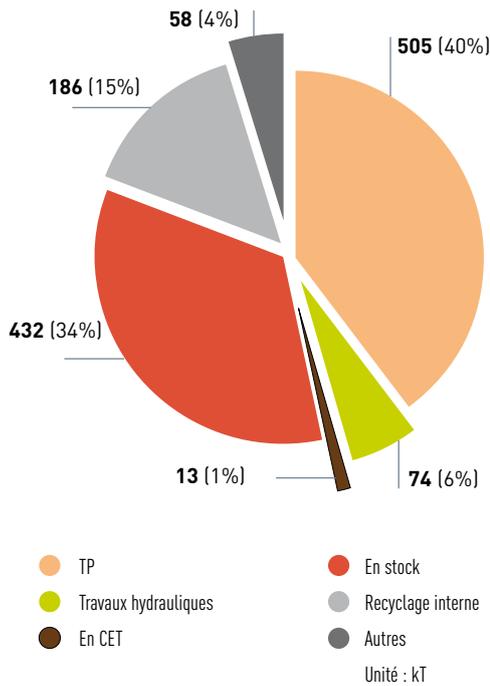


Figure 2

Orientation des laitiers de convertisseur générés en France en 2012

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

Ils représentant 32 % des tonnages de laitiers d'aciérie produits en 2012, soit un peu moins de 0,64 million de tonnes. Compte tenu des propriétés intrinsèques de ces laitiers, l'essentiel des tonnages (78%) est utilisé comme granulats en technique routière (Figure 3). Seule une faible proportion part encore vers le stockage temporaire (11%), en attente de débouchés et de conditions locales de marché plus favorables. La mise en stockage réglementé ou l'orientation vers d'autres filières restent anecdotiques et ponctuelles (5%).

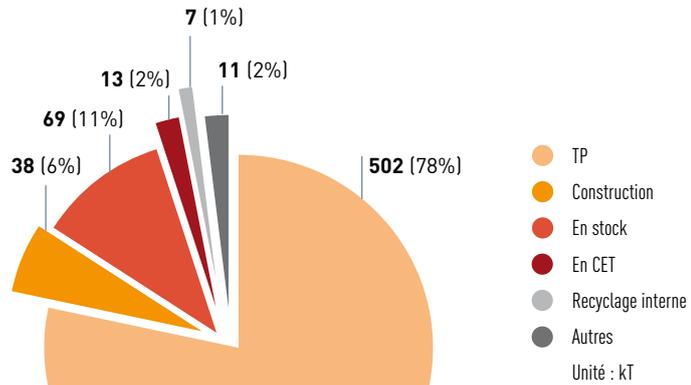


Figure 3

Utilisation des laitiers d'aciérie électrique issus de la filière carbone en 2012

Les laitiers d'aciérie électrique issus de la filière aciers inoxydables et alliés spéciaux

Ils représentent, en 2012, 11% des tonnages produits sur le territoire, soit environ 0,22 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 (figure 4) :

- 80% sont utilisés en technique routière,
- 8% vont en stockage interne en attente de débouchés,
- 3% sont recyclés en interne.

Pour le reste des flux (9%), ils sont orientés vers d'autres filières (amendement agricole ou traitement de récupération des fractions métalliques et oxydes des laitiers) variables en fonction des années. Quasiment aucun tonnage de ces laitiers n'est orienté vers le stockage réglementé.

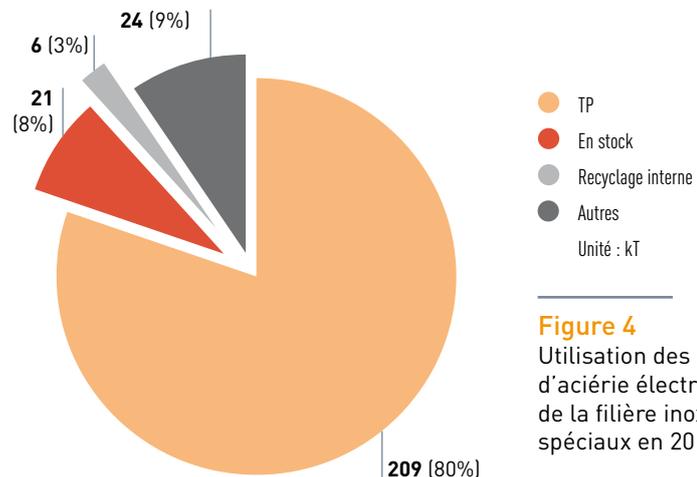


Figure 4

Utilisation des laitiers d'aciérie électrique issus de la filière inox et alliés spéciaux en 2012

Gestion des stocks historiques

A la fin de l'année 2012, les stocks de laitiers recensés restent encore importants à l'échelle du territoire (près de 40 millions de tonnes), en particulier pour les laitiers de haut-fourneau cristallisés issus du passé (XIX^{ème} et XX^{ème} siècles - environ 25 millions de tonnes), ou encore les laitiers de convertisseur issus de la filière fonte (environ 15 millions de tonnes), stocks auxquels la sidérurgie ne s'est réellement intéressée qu'à partir des années 2000.

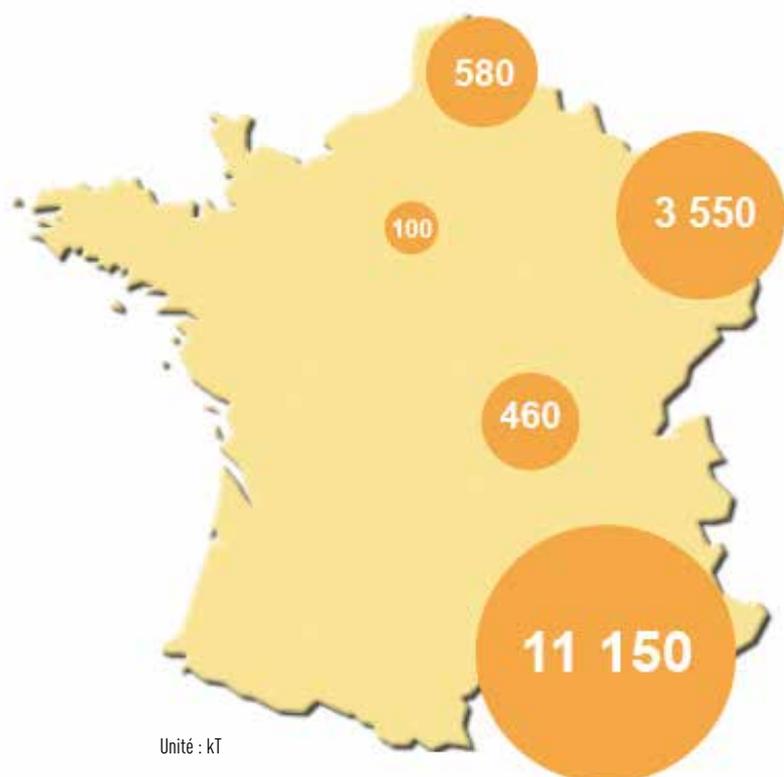
En comparaison, et compte tenu de la «jeunesse» des installations concernées (<30 ans), il n'existe que très peu de stocks de laitiers issus de la filière électrique (estimés < 1 million de tonnes).

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 1 et 1,5 millions 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 aux adresses suivantes :

- <http://www.ctpl.info/wp-content/uploads/2013/05/CTPL-FFA-laitiers-HF-2012-2011.pdf>
- <http://www.ctpl.info/wp-content/uploads/2013/05/CTPL-FFA-laitiers-acierie-2012-2011.pdf>



Unité : kT

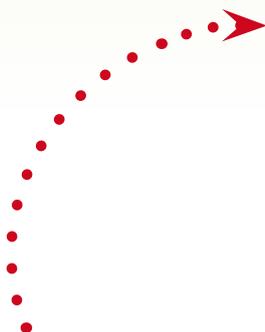
Figure 5

Répartition géographique des stocks de laitiers d'aciérie sur le territoire

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.

LES GAINS :

- l'énergie et le CO₂ générés lors de l'acheminement des exemplaires papier,
- le papier ainsi que l'enveloppe pour son envoi,
- la suppression de la pollution liée à l'emploi des encres d'imprimerie.



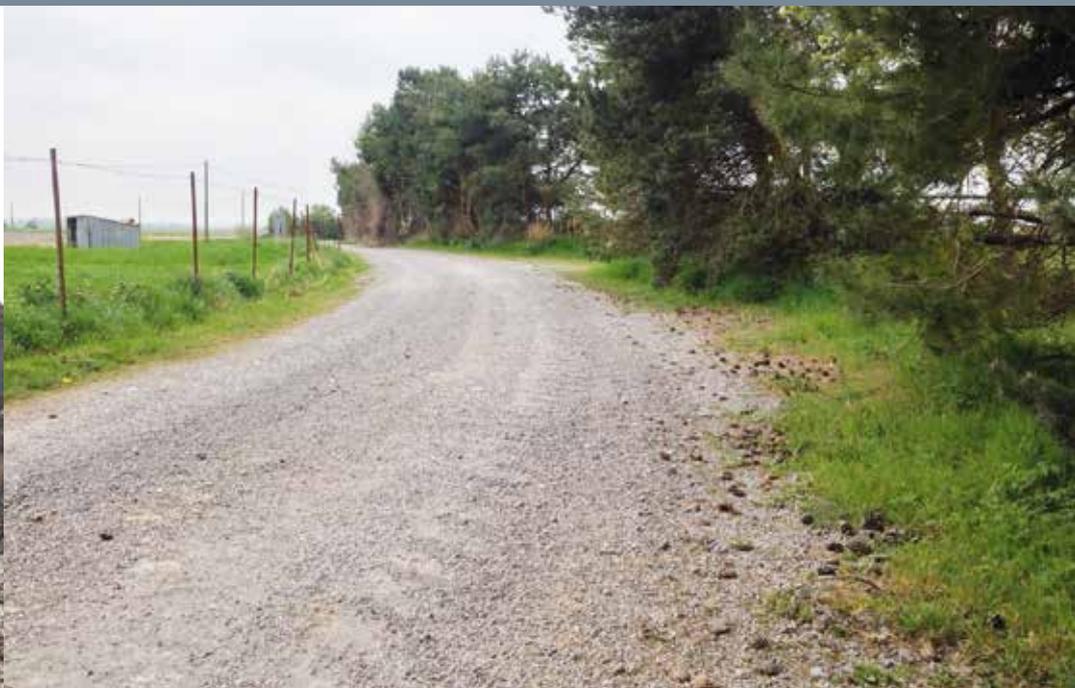
NOUVEAU

Téléchargez le prochain numéro sur notre site www.ctpl.info

Nous vous donnons donc rendez-vous sur notre site www.ctpl.info dès le second trimestre 2013 afin de pouvoir télécharger votre numéro 101.

Des laitiers

bons pour le service !



La production de fonte et d'acier génère des matières minérales industrielles sous forme liquide à haute température. Les usines sidérurgiques «intégrées» (dites aussi «en filière fonte») génèrent des laitiers d'aciérie de conversion lors de la transformation de la fonte sidérurgique en acier au sein de convertisseurs à oxygène (ou convertisseurs LD).

Le site Arcelormittal de Dunkerque est le site sidérurgique français produisant les quantités les plus importantes de laitiers de convertisseur (500 à 600 kT par an). Ces laitiers sont traités et valorisés par la société SGA, principalement en applications routières (remblais, merlons paysagers ou phoniques, terrassements ou sous-couches d'assises de chaussées).

Dans le cadre de l'autorisation administrative des filières de valorisation des laitiers de convertisseur, la société SGA a fait réaliser en 2007 une étude d'évaluation des risques sanitaires portant sur différents sites représentatifs des filières courantes de valorisation dans le domaine des travaux publics, sur lesquels des laitiers de convertisseur issus de sa plateforme ont été mis en œuvre.

IMPACT SANITAIRE

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

Méthodologie de l'étude

Le schéma synoptique suivant illustre la méthodologie suivie dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires pour les différents scénarios d'exposition pris en compte.

Dans le «schéma conceptuel» de cette approche, un sol est dit «contaminé» s'il peut impacter, par voie directe ou indirecte, la santé des individus potentiellement exposés aux substances chimiques par les différentes voies d'expositions possibles : inhalation, ingestion et contact cutané (voir figure 1).

En fonction des caractéristiques des laitiers de convertisseur utilisés (composition chimique) et de la forme que revêt leur mise en œuvre finale dans l'ouvrage routier (gra-

nulométrie, matériau à l'air libre ou recouvert/revêtu), certaines populations cibles (ouvriers employés sur l'ouvrage, personnes empruntant l'ouvrage ou personnes vivant à proximité de l'ouvrage) pourraient potentiellement être exposées à certaines substances chimiques constituantes des laitiers et à leurs effets potentiels en terme de santé publique.

La méthodologie d'évaluation des risques sanitaires employée dans cette étude consiste à mesurer l'impact éventuel des substances chimiques d'intérêt potentiellement présentes dans les laitiers sur la santé des populations susceptibles d'y être exposées, à travers les différents milieux de transfert et voies d'exposition pertinents compte tenu de l'ouvrage routier considéré.

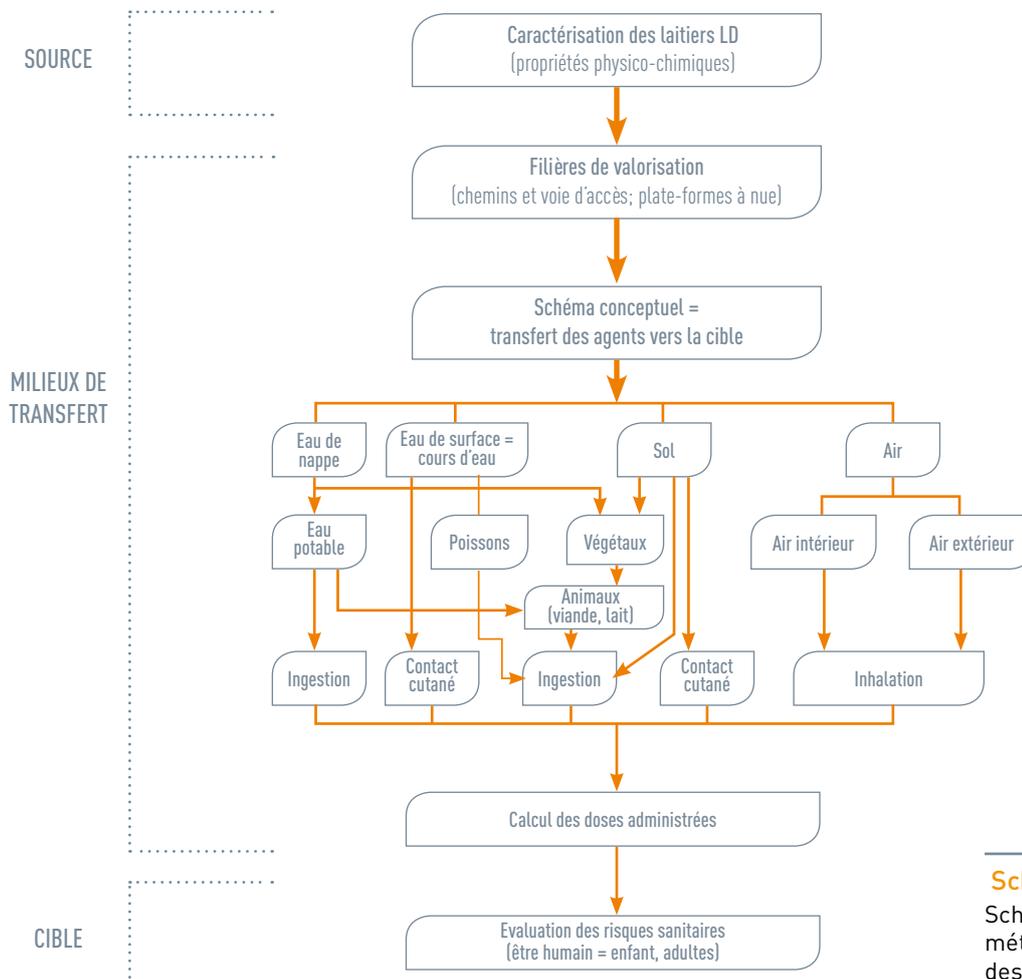


Schéma 1

Schéma synoptique de la méthodologie d'évaluation des risques sanitaires

Les milieux de transfert pris en compte sont les suivants (voir schéma 2 conceptuel ci-après) :

- air,
- sol,
- végétaux,
- eaux de nappe,
- eaux de surface.

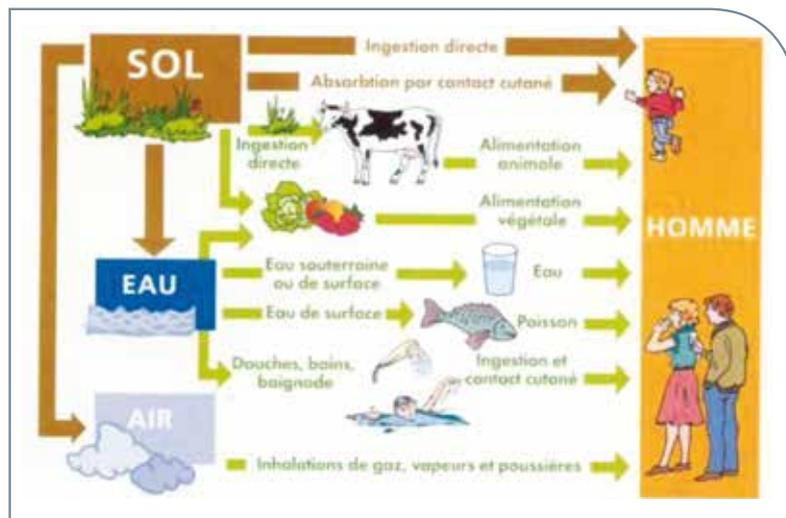
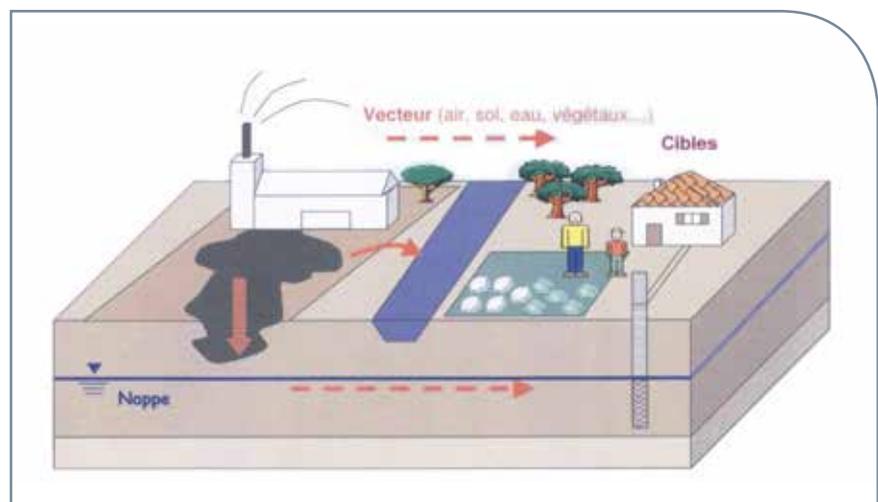


Figure 1

Vecteurs de transfert des substances de la source vers la cible (homme)

Schéma 2
Schéma conceptuel de l'ERS engagée



Les voies d'expositions considérées dans l'étude sont :

- l'inhalation (air intérieur ou extérieur, fines de sols, gouttelettes eau de douche)
- l'ingestion (sol extérieur, eau potable, lait, viande, végétaux, poissons, eaux de surface, sédiments et/ou MES dans les eaux),
- le contact cutané (sol, eau de douche, eaux de surface).

Les chantiers types considérés pour l'étude : cas concrets

Dans le secteur des travaux publics, l'impact sanitaire potentiel d'un ouvrage peut être évalué, en particulier lorsque des matériaux alternatifs sont utilisés et valorisés en contact direct avec l'environnement immédiat potentiellement vulnérable. De ce fait, 5 sites représentatifs de l'utilisation de laitiers de convertisseur en usages non revêtus (les plus sensibles) dans le domaine des travaux publics (chantiers de construction) ont été retenus dans le cadre de cette étude.

FILIERES TRAVAUX PUBLICS	CARACTÉRISTIQUES	LOCALISATION	
		DESSERTE	COMMUNE
Chemins et voies d'accès	Remblais pour chantier non revêtus	Route du Mont des Cats	Flêtre (59)
	Remblais pour chantier non revêtus	Rue Maisnil	Dohem (62)
Chemin de remembrement	Chemin stabilisé, non revêtu	Rue de Loothoucq	Eperlecques (62)
Chemins forestiers	Chemins stabilisés, non revêtus	Chemins forestiers	Hazebrouck (59)
Parking	Plate-forme stabilisée, non revêtue	Rue des cinq chemins	Berthen (59)

Tableau 1
Présentation
des sites étudiés



Photo 1

Plate-forme stabilisée réalisée en laitiers de convertisseur et recouverte d'une fine couche de gravillons alluvionnaires (parking) - Rue des Cinq Chemins à Berthen (59)

Les différents sites où devaient être implantés les ouvrages utilisés comme cas d'étude de valorisation des laitiers sidérurgiques ont fait l'objet d'audits de terrain préalables, permettant de définir les caractéristiques environnementales spécifiques à chacun des sites et pouvant influencer sur les conditions et les paramètres d'exposition à prendre en compte dans le cadre de l'évaluation du risque sanitaire.

FILIÈRES DE VALORISATION	LOCALISATION ET CARACTÉRISTIQUES DES CHANTIERS		CONTEXTE GÉNÉRAL ET CARACTÉRISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT DU SITE
Chemins et voies d'accès	Route du Mont des Cats, Flêtre	Remblais pour chantier	<ul style="list-style-type: none"> - Habitations à proximité immédiate. - Ruisseau la Becque de Méteren à 50m. - Espaces boisés à 200m. - Plan d'eau à 300m. - Eau de nappe : puits à 500m (pr=6m).
	Rue Maisnil, Dohem	Remblais pour chantier	<ul style="list-style-type: none"> - Habitations à proximité immédiate. - ERP dans l'environnement immédiat (village d'enfants). - Eau de nappe : 4 puits à 100-200m (pr=5 à 12m). - Espaces boisés à 800m. - Captage AEP à 1,5 km (hors périmètre de protection).
Chemin de remembrement	Rue de Louthoucq, Eperlecques	Chemin non revêtu	<ul style="list-style-type: none"> - Habitations à proximité immédiate. - Ruisseau le Sartebecque à 20m. - Eau de nappe : 5 puits à 20m (pr=5 à 14m), dont 1 pour eau collective. - Forêt d'Eperlecques à proximité immédiate (30m). - Points d'eau de surface à proximité immédiate (50m). - Eau de nappe : 1 forage à 300m (pr=70m), pour besoins agricoles. - ERP dans le voisinage de la desserte (400m) : camping, école, château. - 2 captages AEP à 2 km (hors périmètre de protection).
Chemins forestiers	Chemins, Hazebrouck	Chemins non revêtus	<ul style="list-style-type: none"> - Forêt. - Sentiers pédestres. - Cours d'eau.
Parking	Rue des cinq chemins, Berthen	Plate-forme non revêtue	<ul style="list-style-type: none"> - Habitations à proximité immédiate. - ERP de la commune considérée. - Cours d'eau.

Tableau 2

Caractéristiques environnementales spécifiques à chacun des sites étudiés

Définition des substances chimiques retenues dans le cadre de l'étude

Dans le cadre la présente étude, la sélection des substances chimiques d'intérêt (SCI) est fonction de la nature de ces substances, de leur toxicité, de leurs teneurs respectives dans la matrice sol, des modes de transfert et des populations cibles.

Le choix de ces substances prend en compte les critères suivants :

- Eléments mesurés usuellement dans les laitiers de convertisseur,
- Eléments à caractère persistant : exposition chronique de la cible,
- Eléments dont la toxicité intrinsèque est unanimement reconnue par les agences et organismes spécialisés en matière d'évaluation du risque sanitaire (OMS, US EPA, ATSDR, OEHHA,...),
- Les vecteurs de transfert reconnus (direct, indirect) vers la cible principale (l'homme),
- Les doses d'exposition (quantités potentiellement administrées),



Photo 2
Chemin de remembrement.
Chemin stabilisé,
rue de Louthoucq
à Eperlecques (62)

- Les effets potentiels connus sur les populations cibles, définis à partir des bases de données disponibles (VTR = valeurs toxicologiques de référence).

Dans ce cadre, les substances chimiques d'intérêt retenues sont celles présentées dans le tableau 3 suivant.

SUBSTANCES CHIMIQUES PRISES EN COMPTE		TENEURS MAXIMALES RETENUES POUR LES LAITIERS DE CONVERTISSEUR (mg/kg) ¹		
		SUR BRUT		FRACTION LIXIVIABLE
		DONNÉES AM SUR LAITIERS LD	SEUIL HAUT AP ICPE SGA	
Al		15 350	7 940	-
Zn		80	1 000	4
Cu		13,6	95	2
Chrome	Cr total	-	2 000	0,5
	Cr VI	-	10	-
Ni		6,3	70	0,4
As		0,4	10	0,5
Mn		26 340	23 240	-
Pb		83	200	1
V		920	1 000	-
Sn		11	250	-
Sb		13	50	0,06
Mo		60	100	2
Se		-	1 000	0,1

Tableau 3
Substances
chimiques prises
en compte dans
l'étude et teneurs
maximales
acceptées

¹ - Les valeurs proviennent de données historiques mesurées avant l'étude (31 analyses de laitiers sur la période oct. 2004-mars 2007) et fournies par le site ArcelorMittal de Dunkerque. Les valeurs retenues dans le cadre de l'évaluation des risques ont volontairement été les valeurs maximales mesurées, afin de disposer pour l'étude d'une évaluation majorante.

Ces valeurs constituent le potentiel de danger des laitiers. Les valeurs retenues pour l'ERS correspondent à la valeur maximale (au choix) entre la teneur maximale mesurée dans les laitiers et les valeurs limites hautes (usages revêtus) de l'Arrêté Préfectoral d'autorisation d'exploiter l'ICPE de la société SGA pour la valorisation des laitiers de convertisseur. Ceci permet d'être doublement majorant dans l'évaluation des risques pour la santé.

Elles serviront comme données d'entrée de la modélisation associée à la quantification des transferts et à l'analyse du risque sanitaire existant pour les différents scénarios de valorisation.

Bruit de fond géochimique

Le bruit de fond géochimique est à considérer comme un état initial. Les laitiers sidérurgiques utilisés et valorisés en technique routière ne doivent en aucun cas générer une augmentation des concentrations résiduelles pré-existantes de substances polluantes recensées au niveau des milieux cibles.

Pour cette évaluation, on fixe comme hypothèse que les milieux cibles sont vierges. Le tableau suivant fournit les résultats du bruit de fond géochimique de la zone d'étude conformément aux milieux cibles associés aux filières de valorisation et au référentiel pédo-géochimique de la région du Nord Pas-de-Calais (Rapport final du 15.10.2002).

Population cible et voies de transfert

Une simulation du risque de contamination d'un individu potentiellement exposé à une pollution du sol ou à tout autre milieu d'exposition (eau de surface, eau de nappe, air vicié,...) est réalisée à partir du modèle mathématique tridimensionnel Human Risc. Le schéma 3 de principe associé au code de calcul Human Risc est présenté ci-contre.

Tableau 4
Bruit de fond géochimique de la zone d'étude

SUBSTANCES CHIMIQUES CONSIDÉRÉES ²	DONNÉES AM SUR LAITIERS LD	BRUIT DE FOND GÉOCHIMIQUE LOCAL					
		RÉGION NPDC	FLÈTRE	DOHEM	EPERLEQUES	HAZEBROUCK	BERTHEN
CAI (g/kg)	15,35	-	49,5	40	47,5	40,7	49,5
Zn (mg/kg)	80	68,5	81,9	64,7	150,3	65,9	81,9
Cu (mg/kg)	13,6	14,9	23,8	14,8	31,4	19,9	23,8
Ni (mg/kg)	6,3	20,9	27,3	23,4	27,1	18,6	27,3
Mn (mg/kg)	26 340	546	454	850	534	659	454
Pb (mg/kg)	83	32,5	37,9	24,3	97	32,8	37,9
V (mg/kg)	920	64,4	80,4	61,9	74,2	65,8	80,4
As (mg/kg)	0,4	10,2	11,3	9,2	9,1	9,1	11,3
Sn (mg/kg)	11	2,18	2,62	1,83	4,66	2,3	2,62
Sb (mg/kg)	13	0,74	1,03	0,73	1,95	0,79	1,03
Mo (mg/kg)	60	0,59	0,74	0,5	0,71	0,5	0,74

² - La nature des substances chimiques considérées est définie sur la base des données disponibles du référentiel pédo-géochimique et sur la base de la sélection des substances retenues dans le cadre de la présente étude de risque sanitaire.

Schéma 3

Principe de l'évaluation des risques et du calcul de l'IR et de l'ERI³ selon le modèle Human Risk



Le tableau 5 récapitule les différentes étapes, ainsi que les principales caractéristiques qui découlent de l'évaluation des risques sani-

taires réalisée pour chacun des scénarios de valorisation pris en compte dans le cadre de cette étude.

ETAPES	MILIEU	CARACTÉRISTIQUES	
Source	Sol, Sous-sol	Calcul des flux polluants relargués (mg/kg) sur les lieux de valorisation des laitiers LD L'approche prend en compte le volume des laitiers mis en œuvre. L'élément déterminant pour le calcul est la dose relarguée par unité de surface	
Transfert / exposition	Milieux : air, eau, sol, végétaux, chaîne alimentaire	Voies d'exposition : le transfert des doses vers la cible est calculé en prenant en compte toutes les voies d'exposition possibles	
Administration	Cibles (adulte, enfant)	Quantités administrées en mg/j.kg poids des individus cibles	Inhalation (air intérieur, air extérieur, sol & fines particules, gouttelettes en suspension eau de douche,
			Ingestion (sol, eau potable, lait, viande, végétaux, eau de surface, poisson)
			Cutané (sol, eau de douche, eau de surface)

Tableau 5

Etapes et caractéristiques résultant de l'évaluation des risques sanitaires pour chacun des scénarios étudiés

3 - ERI = excès de risque individuel ; IR = indice de risque

Au-delà des propriétés physico-chimiques et des phénomènes de transfert, le logiciel utilisé (Human Risc) prend en compte les paramètres liés à l'environnement du scénario d'usage des laitiers (caractéristiques du sol, bâtiments, zones urbanisées, cours d'eau, espaces verts, climat de la zone d'étude), ainsi que les phénomènes de comportement, de persistance, de bioaccumulation et de métabolisme des substances chimiques considérées, rendant les calculs représentatifs de la réalité.

Bien que la caractérisation du risque sanitaire s'applique exclusivement à la cible «humaine», les milieux de transfert intermédiaires potentiellement vulnérables (eau de nappe, captage AEP, ZNIEFF, plantes, poissons, herbivores,...) constituent également des cibles pertinentes vis-à-vis du terme source «pollution du sol et/ou du sous-sol».

Budget espace-temps

Le budget espace-temps des populations cibles constitue un paramètre déterminant en termes d'exposition et de caractérisation du risque sanitaire. Le tableau 6 présente le budget espace-temps des individus cibles en fonction des configurations d'étude de chantiers retenus.

Les valeurs retenues sont celles classiquement utilisées dans le cadre des ERS, même si elles restent volontairement majorantes.

Tableau 6
Budget espace-temps
des individus cibles
en fonction des
configurations étudiées

CONFIGURATIONS SGA	CIBLES	ASPECTS IDENTIFIÉS	TEMPS D'EXPOSITION	
			H/J	J/AN
Voie d'accès Route du Mont des Cats, Flêtre	Riverains	<ul style="list-style-type: none"> Habitations Cours d'eau 	16	365
	Promeneurs	<ul style="list-style-type: none"> Cours d'eau Bois 	1	150
Voie d'accès Rue Maisnil, Dohem	Riverains	<ul style="list-style-type: none"> Habitations Prélèvements eau 	16	365
	ERP (public)	<ul style="list-style-type: none"> ERP Prélèvements eau 	8	240
Chemin de remembrement Rue de Louthoucq, Eperlecques	Riverains	<ul style="list-style-type: none"> Habitations Cours d'eau Prélèvements eau Eau stagnante de surface 	16	365
	Promeneurs	<ul style="list-style-type: none"> Eau stagnante de surface Prélèvements eau Bois 	1	150
	Consommateurs	<ul style="list-style-type: none"> Chaîne alimentaire 	2	365
Chemins forestiers, Hazebrouck	Promeneurs	<ul style="list-style-type: none"> ERP (sentiers pédestres) Cours d'eau 	1	150
Plateforme non revêtue Rue des cinq chemins, Berthen	Riverains	<ul style="list-style-type: none"> Habitations Prélèvements eau 	16	365
	ERP (public)	<ul style="list-style-type: none"> ERP Prélèvements eau 	8	240

SUBSTANCES CHIMIQUES	VTR	PARAMÈTRES DE CHOIX DES VTR				
		SOURCES ⁴	EXPOSITION	TRANSFERT	ABSORPTION	CIBLE
Zn	3.10 ⁻¹ mg/kg/j	EPA	Chronique	Sol,	Ingestion,	Homme
Cu	140 µg/kg/j	RIVM		Air,	Inhalation,	
Al	2 mg/kg/j	ATSDR		Eau,	Cutané	
Cr Cr VI	3.10 ⁻³ mg/kg/j	EPA		Végétaux,		
	0,42 (mg/kg/j) ⁻¹	OEHHA		Chaîne		
Cr III	1,5 mg/kg/j	EPA		alimentaire		
Ni	5.10 ⁻³ mg/kg/j	OMS				
Mn	1,4.10 ⁻¹ mg/kg/j	EPA				
As	3.10 ⁻⁴ mg/kg/j	EPA				
	1,5 (mg/kg/j) ⁻¹	EPA				
V	3.10 ⁻³ mg/kg/j	ATSDR				
Pb	3 µg/kg/j	OMS				
	8,5.10 ⁻³ (mg/kg/j) ⁻¹	OEHHA				
Sn	0,3 mg/kg/j	ATSDR				
Sb	4.10 ⁻⁴ mg/kg/j	EPA				
Mo	5.10 ⁻³ mg/kg/j	EPA				
Se	5.10 ⁻³ mg/kg/j	EPA				

Tableau 7
Valeurs toxicologiques de référence retenues (selon données disponibles en 2007)

Choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR)

Le choix des VTR retenues pour l'Évaluation du Risque Sanitaire dépend des paramètres suivants :

- la source d'information,
- la représentativité des études à l'origine,
- les similitudes d'environnement, de temps d'exposition, des voies de transfert et des voies d'absorption.

A la date de la réalisation de l'étude (2007), les VTR retenues sont celles fournies dans le tableau 7 ci-dessus.

Quantification des modes de transfert des polluants à l'homme

Une simulation du risque d'exposition d'un individu à une substance chimique émise à partir du sol ou de tout autre milieu d'exposition intermédiaire (eaux de surface, eaux de nappe, air, végétaux, chaîne alimentaire,...) est réalisée à partir du code de calcul Human Risc.

Les équations de résolution des transferts, via le modèle de calcul Human Risc, sont basées sur la prise en compte des phénomènes suivants :

- **Module CSOIL :**
 - > Flux de diffusion (milieux de transfert : air, eau),
 - > Flux d'évaporation (eau),
 - > Flux d'équilibre de surface (couche limite).
- **Module VOLASOIL :**
 - > Flux de diffusion (air, eau),
 - > Flux de convection (air, eau),
 - > Flux de dispersion (eau),
 - > Flux d'équilibre à la couche limite (surface transition sol/air).

Le logiciel prend également en compte les caractéristiques de l'occupation du sol (bâtiments, zones urbanisées, cours d'eau, espaces verts, ...), rendant les calculs plus représentatifs de la réalité.

Au final, la simulation numérique définit la dose globale de contaminant potentiellement ingérée par l'homme, ce qui permet par la suite de calculer l'excès de risque individuel (ERI, cas des substances à effets sans seuil) ou l'indice de risque (IR, cas des substances à effets à seuil).

4 - Voir glossaire

Caractérisation du risque sanitaire

Effets toxiques à seuil

L'évaluation de la possibilité de survenue d'un effet toxique chez la cible est estimée par l'Indice de Risque (IR).

Dans le cas de cette étude, une sommation de l'ensemble des IR est réalisée pour toutes les substances, ce qui correspond à une approche conservatoire.

Deux cas sont possibles :

$IR < 1$: la survenue d'un effet toxique est peu probable, même pour les populations sensibles.

$IR > 1$: la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut plus être exclue.

Les substances chimiques à seuil retenues pour les laitiers de convertisseur évalués sont : le zinc (Zn), le cuivre (Cu), les cations dérivés du chrome (Cr III ; Cr VI), le plomb (Pb), l'arsenic (As), l'aluminium (Al), le manganèse (Mn), le vanadium (V), le nickel (Ni), l'étain (Sn), l'antimoine (Sb), le sélénium (Se) et le molybdène (Mo).

Effets toxiques sans seuil

L'évaluation de la possibilité de survenue d'un effet toxique chez la cible est estimée par l'Excès de Risque Individuel (ERI).

L'ERI exprime la probabilité que la cible a de développer le risque associé à la substance sans seuil considérée. La valeur de référence prise en compte pour les substances considérées, à savoir le chrome VI et l'arsenic, est égale à 10^{-5} .

Résultats

La caractérisation du risque sanitaire est ainsi calculée pour chacune des substances chimiques d'intérêt retenues dans le cadre de cette étude, et en fonction des conditions d'exposition spécifiques de chacun des sites retenus pour l'étude.

Le tableau 8 reprend l'ensemble des résultats obtenus pour les différentes configurations rencontrées et les différents couples scénarios/substances pertinents.

Tableau 8

Tableau récapitulatif de l'ensemble des résultats obtenus pour les différents couples scénarios/substances sur les 5 sites étudiés

Substances chimiques	VTR retenue	Route du Monts des Cats à Flêtre Rue Maisnil à Dohem		Rue de Loothoucq à Eperlecques		Chemin forestier à Hazebrouck		Plate-forme de Berthen	
		Doses d'exposition potentiellement administrées (mg/kg/j)	Risque sanitaire	Doses d'exposition potentiellement administrées (mg/kg/j)	Risque sanitaire	Doses d'exposition potentiellement administrées (mg/kg/j)	Risque sanitaire	Doses d'exposition potentiellement administrées (mg/kg/j)	Risque sanitaire
Zn	0,3 mg/kg/j	1,77.10 ⁻³	IR = 5,90.10 ⁻³	1,77.10 ⁻³	IR = 5,90.10 ⁻³	1,51.10 ⁻⁴	IR = 5,03.10 ⁻⁴	1,77.10 ⁻³	IR = 5,90.10 ⁻³
Cu	0,14 mg/kg/j	8,49.10 ⁻⁵	IR = 6,06.10 ⁻⁴	8,49.10 ⁻⁵	IR = 6,06.10 ⁻⁴	1,44.10 ⁻⁵	IR = 1,03.10 ⁻⁴	8,49.10 ⁻⁵	IR = 6,06.10 ⁻⁴
Cr III	1,5 mg/kg/j	1,67.10 ⁻⁴	IR = 1,11.10 ⁻⁴	1,67.10 ⁻⁴	IR = 1,11.10 ⁻⁴	1,14.10 ⁻⁴	IR = 7,60.10 ⁻⁵	1,67.10 ⁻⁴	IR = 1,11.10 ⁻⁴
Cr VI	3.10 ⁻³ mg/kg/j	2,22.10 ⁻⁶	IR = 7,40.10 ⁻⁴	2,22.10 ⁻⁶	IR = 7,40.10 ⁻⁴	1,51.10 ⁻⁶	IR = 5,03.10 ⁻⁴	2,22.10 ⁻⁶	IR = 7,40.10 ⁻⁴
Pb	0,42 (mg/kg/j) ⁻¹		ERI = 9,32.10 ⁻⁷		ERI = 9,32.10 ⁻⁷		ERI = 6,34.10 ⁻⁷		ERI = 9,32.10 ⁻⁷
	3.10 ⁻³ mg/kg/j	4,94.10 ⁻⁵	IR = 1,65.10 ⁻²	4,94.10 ⁻⁵	IR = 1,65.10 ⁻²	3,03.10 ⁻⁵	IR = 1,01.10 ⁻²	4,94.10 ⁻⁵	IR = 1,65.10 ⁻²
As	8,5.10 ⁻³ (mg/kg/j) ⁻¹		ERI = 4,20.10 ⁻⁷		ERI = 4,20.10 ⁻⁷		ERI = 2,58.10 ⁻⁷		ERI = 4,20.10 ⁻⁷
	3.10 ⁻⁴ mg/kg/j	1,24.10 ⁻⁶	IR = 4,13.10 ⁻³	1,24.10 ⁻⁶	IR = 4,13.10 ⁻³	6,06.10 ⁻⁷	IR = 2,02.10 ⁻³	1,24.10 ⁻⁶	IR = 4,13.10 ⁻³
Ni	1,5 (mg/kg/j) ⁻¹		ERI = 1,86.10 ⁻⁶		ERI = 1,86.10 ⁻⁶		ERI = 9,09.10 ⁻⁷		ERI = 1,86.10 ⁻⁶
	5.10 ⁻³ mg/kg/j	5,32.10 ⁻⁵	IR = 1,06.10 ⁻²	5,32.10 ⁻⁵	IR = 1,06.10 ⁻²	1,06.10 ⁻⁵	IR = 2,12.10 ⁻³	5,32.10 ⁻⁵	IR = 1,06.10 ⁻²
Al	2 mg/kg/j	6,75.10 ⁻³	IR = 3,38.10 ⁻³	6,75.10 ⁻³	IR = 3,38.10 ⁻³	2,32.10 ⁻³	IR = 1,16.10 ⁻³	6,75.10 ⁻³	IR = 3,38.10 ⁻³
Mn	1,4.10 ⁻¹ mg/kg/j	1,16.10 ⁻³	IR = 8,29.10 ⁻³	1,16.10 ⁻³	IR = 8,29.10 ⁻³	3,99.10 ⁻⁴	IR = 2,85.10 ⁻³	1,16.10 ⁻³	IR = 8,29.10 ⁻³
V	3.10 ⁻³ mg/kg/j	6,60.10 ⁻⁴	IR = 0,22	6,60.10 ⁻⁴	IR = 0,22	2,27.10 ⁻⁴	IR = 7,57.10 ⁻²	6,60.10 ⁻⁴	IR = 0,22
Sn	0,3 mg/kg/j	7,75.10 ⁻⁵	IR = 2,58.10 ⁻⁴	7,75.10 ⁻⁵	IR = 2,58.10 ⁻⁴	3,79.10 ⁻⁵	IR = 1,26.10 ⁻⁴	7,75.10 ⁻⁵	IR = 2,58.10 ⁻⁴
Sb	4.10 ⁻⁴ mg/kg/j	1,09.10 ⁻⁴	IR = 0,27	1,09.10 ⁻⁴	IR = 0,27	3,03.10 ⁻⁶	IR = 7,58.10 ⁻³	1,09.10 ⁻⁴	IR = 0,27
Mo	5.10 ⁻³ mg/kg/j	1,10.10 ⁻⁴	IR = 2,20.10 ⁻²	1,10.10 ⁻⁴	IR = 2,20.10 ⁻²	1,51.10 ⁻⁵	IR = 3,02.10 ⁻³	1,10.10 ⁻⁴	IR = 2,20.10 ⁻²
Se	5.10 ⁻³ mg/kg/j	3,44.10 ⁻⁴	IR = 6,88.10 ⁻²	3,44.10 ⁻⁴	IR = 6,88.10 ⁻²	1,51.10 ⁻⁴	IR = 3,02.10 ⁻²	3,44.10 ⁻⁴	IR = 6,88.10 ⁻²
Effets cumulés									
IR	-	-	∑ IR = 0,67	-	∑ IR = 0,68	-	∑ IR = 0,14	-	∑ IR = 0,67
ERI	-	-	∑ ERI = 3,86.10 ⁻⁶	-	∑ ERI = 3,87.10 ⁻⁶	-	∑ ERI = 1,82.10 ⁻⁶	-	∑ ERI = 3,86.10 ⁻⁶

Excès de risque collectif

L'excès de risque collectif (ERC) peut aussi être calculé pour les différents cas de figure, intégrant la prise en compte du contexte local et des populations habitant aux alentours du site concerné.

Comme dans le cas de l'indice de risque (IR), l'ERC est comparé de manière semi-quantitative à un niveau égal à 1 (dose journalière d'exposition supérieure à la dose journalière admissible).

Le tableau 9 illustre les résultats obtenus pour l'ERC des différents scénarios évalués.

Tableau 9

Résultats concernant l'excès de risque collectif des différents scénarios évalués

CONFIGURATIONS D'ÉTUDE	∑ ERI	POPULATION EXPOSÉE (HAB)		ERC
		COMMUNE CONSIDÉRÉE	NOMBRE D'HABITANTS	
Chemin d'accès	3,86.10 ⁻⁶	Flêtre	756	2,92.10 ⁻³
Voie d'accès	3,86.10 ⁻⁶	Dohem	726	2,80.10 ⁻³
Chemin de remembrement	3,87.10 ⁻⁶	Eperlecques	2 935	1,14.10 ⁻²
Chemins forestiers	1,82.10 ⁻⁶	Hazebrouck	21 396	3,89.10 ⁻²
Plate-forme non revêtue	3,86.10 ⁻⁶	Berthen	517	2,00.10 ⁻³

Conclusions

Sur la base des caractéristiques retenues (qualité des laitiers de convertisseur, valeurs maximales des analyses sur brut ou des seuils hauts retenus pour l'exploitation du site SGA), l'évaluation modélisée des risques sanitaires a permis de mettre en évidence que le risque pour la santé humaine associé à l'exploitation et à la valorisation des laitiers de convertisseur en travaux publics est négligeable, quel que soit l'usage revêtu et/ou non revêtu des matériaux.

Les investigations réalisées ont notamment permis de fixer plus précisément les seuils hauts affectés à chacune des substances chimiques constitutives de la matrice des laitiers de convertisseur, garantissant l'absence d'effets significatifs sur la santé des populations riveraines, quel qu'en soit le mode d'usage et la configuration (lieu) d'exploitation des matériaux.

Ainsi, même dans le cas d'un usage sensible (usage non revêtu), cette étude démontre qu'un laitier de convertisseur respectant les valeurs limites prises en compte dans la présente évaluation des risques sera sans effet sanitaire sur les populations cibles :

- L'indice de risque (IR) des substances chimiques à seuil est uniformément inférieur à 1. Ce résultat est également confirmé pour les effets cumulés. La survenue d'effets toxiques à seuil imputables aux activités de valorisation des laitiers de convertisseur ne peut donc pas être envisagée.
- L'excès de risque individuel des substances chimiques sans seuil est inférieur à la valeur de référence (10^{-5}), quelle que soit la substance (arsenic, chrome VI, plomb) et la configuration d'exploitation considérées. Le cumul des effets systémiques confirme également cette observation. La probabilité qu'un individu a de développer l'effet toxique associé aux substances chimiques sans seuil est négligeable.

- Dans le même sens, en ce qui concerne la population cible globale (locale) potentiellement exposée aux substances chimiques sans seuil (arsenic, plomb, chrome VI), l'Excès de Risque Collectif (ERC) est également largement inférieur à 1 quelle que soit la configuration étudiée et la commune visée.

Ce résultat indique clairement que le nombre de pathologies en excès susceptibles de se déclarer au cours de la vie du groupe d'individus cible considéré (habitants des communes de Flêtre, Dohem, Eperlecques, Berthen, Hazebrouck en particulier) est négligeable.

Cette étude, réalisée dans le cadre de la validation des conditions d'exploitation d'une ICPE valorisant des laitiers sidérurgiques (laitiers de convertisseur), met en exergue l'absence de risques significatifs inhérents à l'utilisation de laitiers d'aciérie de conversion en technique routière. Ces conclusions confirment tout le bienfondé des démarches entreprises au cours de ces dernières années pour cette filière (guide SETRA, octobre 2012), et le fait que les laitiers sidérurgiques puissent non seulement être une solution techniquement adaptée, mais surtout aussi environnementalement pérenne, même en considérant d'autres voies de transfert des substances chimiques contenues dans les laitiers que le seul milieu «eau» comme cela a été fait dans le cadre du guide SETRA.

Glossaire

AEP

Alimentation en eau potable

AP

Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter

ATSDR

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Georgia, USA)

ERC

Excès de risque collectif

ERI

Excès de risque individuel

ERP

Etablissement recevant du public

ERS

Evaluation des risques sanitaires

ERU_o

Excès de risque unitaire

DJE_{ij}

dose journalière d'exposition (mg/kg/j)

DJA

dose journalière admissible (mg/kg/j)

ICPE

Installations classées pour la protection de l'environnement

IR

Indice de risque

OEHHA

Office of Environmental Health Hazard Assessment (USA)

OMS

Organisation Mondiale de la Santé

RIVM

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Institut national pour la santé publique et l'environnement, Pays-Bas)

US EPA

Agence de Protection de l'Environnement américaine

VTR

Valeur toxicologique de référence

ZNIEFF

Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

Dans les précédents NUMÉROS...

N° 93 (novembre 2008)

• Des laitiers d'aciérie pour les voies ferrées. Ça roule !

Allemagne : de l'utilisation des laitiers d'aciérie pour la construction des voies ferrées.

Dr Thomas Merkel : FEhS, Allemagne

• Des laitiers sur les routes de campagne. Rien d'étonnant ... et pourtant !

Allemagne : Comportement des laitiers d'aciérie utilisés sur les routes de campagne non goudronnées.

R. Bialucha : FEhS,

R. Nicoll, T. Wetzel : BSW Stahl, Allemagne

N° 94 (novembre 2008)

• Laitier de haut fourneau moulu : il a sa place dans le béton

Pays-Bas : Les combinaisons de CEM I et de laitier de haut fourneau moulu au malaxeur à béton : équivalence de performance vis-vis des CEM III ?

Anne-Marie Marion, Nicolas Musikas : Ecocem Materials Limited

• Laitiers d'aciérie électrique ; la route est ouverte !

France : Valorisation des laitiers d'aciérie électrique : une dynamique d'amélioration continue

Françoise Viez : Parsider - Riva Acier -

Usine de SAM Montereau

N° 95 (mars 2010)

• Infrastructures routières : ouvrons la voie aux scories LD

Analyse du potentiel de valorisation de scories LD comme agent de traitement pour améliorer les sols cohésifs.

Benoît Janssens, chercheur : Centre de Recherches Routières, Belgique

• Des laitiers qui purifient l'eau : cela coule de source !

Utilisation des laitiers sidérurgiques pour le traitement des eaux usées.

Florent Chazarenc : Ecole des Mines de Nantes, Laboratoire GEPEA, UMR CNRS 6144, Département Systèmes énergétiques et Environnement.

• Où sont passés les laitiers en 2008

Utilisation des laitiers sidérurgiques en 2008 en France.

Jérémie Domas : Directeur du CTPL

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 : Directeur du 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 :

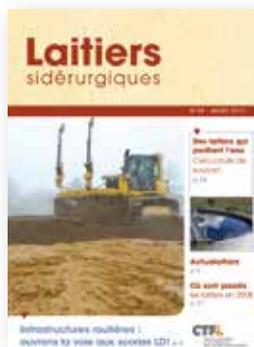
Exemple du projet ANR éclair

Jérémie DOMAS : Directeur du 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.

Jérémy Domas : Directeur du 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.

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

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

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

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

N° 100 (octobre 2012)

- **Le CTPL, un peu d'histoire**

CTPL : un organisme dédié aux laitiers sidérurgiques

Jacques Reynard : CTPL

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

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

Jérémy Domas : Directeur du 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

Jérémy Domas : Délégué Général du CTPL

- **Réalisations remarquables**

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

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

Jean-Marie Delbecq : BSME

N° 101 (juillet 2013)

- **Une valorisation en béton !**

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

Gildas ADEGOLOYE : L2MGC, Université de Cergy-Pontoise
Anne-Lise BEAUCOUR : L2MGC, Université de Cergy-Pontoise
Sophie ORTOLA : L2MGC, Université de Cergy-Pontoise
Albert NOUMOWE : L2MGC, Université de Cergy-Pontoise

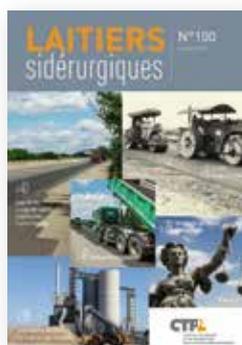
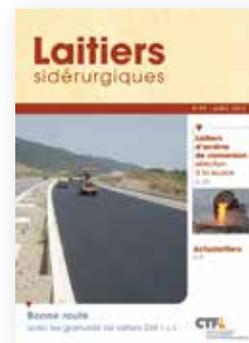
- **Analyse du cycle de vie du laitier de haut-fourneau granulé moulu**

Jacques Reynard : CTPL

- **Des laitiers très protecteurs**

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

Benjamin LACLAU, NOBATEK
Bruno BOUQUET, T.S.V.





www.ctpl.info