

PRÉSENCE DES MATÉRIAUX NON FERREUX DANS LES MÂCHEFERS D'INCINÉRATION D'ORDURES MÉNAGÈRES

GISEMENT, CARACTÉRISATION ET EXPLOITATION

François Pruvost*, Marie-Madeleine Fanget **, Robert Guillermet **, Serge Terroni **,
*France Aluminium Recyclage, **Pechiney Centre de recherches de Voreppe

L'exploitation des matériaux métalliques non ferreux et surtout de l'aluminium à partir des matériaux d'incinération des ordures ménagères est une opération indispensable dans la chaîne de valorisation des mâchefers d'incinération ordures ménagères (MIOM). Si elle est optimisée, elle peut participer de manière positive au bilan de l'exploitation de Miom par un gain de trésorerie, une économie des matières premières, de l'énergie nécessaire à la fabrication de l'aluminium primaire et à l'amélioration de la qualité géotechnique des matériaux valorisés en travaux publics. Le présent article a pour but de faire le point sur le principe d'extraction, le gisement actuel, et les moyens mis à disposition.

The extraction of aluminium nodules from incinerator bottom ash is a profitable operation and provides "demetallized" bottom ash fit for various uses, such as road ballast. The aluminium particles, generally from 5 to 60 microns in size, are ejected by an eddy current machine (ECM), of which 44 units had been installed in France by the end of 2001, producing altogether 12,400 tonnes of nodules. The French "aluminium-scrap mine" has a potential of 30,000 t/year ; with an extraction yield of 70 %, this should lead to a production of over 20,000 t/year in the medium term. The non-ferrous content of bottom ashes ranges from 0.5 to 1.5 % with a 1 % average. For a proper optimization of aluminium-nodules extraction on a specific platform, experts from France Aluminium Recyclage provide technical assistance through : (1) analysis of the grain size distribution of the nodules ; (2) estimates of the aluminium content of each fraction ; (3) guidelines for the configuration of the ECM to be installed, depending on the objective (maximum aluminium extraction or production of a specific road-ballast quality). In all cases, the technical solution will be financially self-supporting for the range of contents mentioned, thanks to the value of aluminium scrap.

INTRODUCTION

Les effets du gonflement pour les Miom sont surtout à mettre sur le compte de l'aluminium non combiné avec les silicates $[Al^{\circ}, Al(OH)_3]$ et les diverses espèces aqueuses présentes dans les lixiviats basiques avec, à terme, la formation d'ettringite $[Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}.26H_2O]$. Les gonflements ont pour conséquence une mise sous contrainte des ouvrages pouvant se traduire par des déformations et des ruptures, pour les chaussées notamment et les radiers ^[1]. Le gonflement entraîne également un effritement du matériau dont les conséquences peuvent être nombreuses : formation de particules fines et perte de perméabilité, tassements différentiels, augmentation du gonflement en présence d'eau. Ainsi une extraction optimisée des métaux non ferreux, dont l'aluminium, offrirait pour ce résidu de procédé thermique une garantie quand à son utilisation comme matériau.

LES MÉTAUX NON FERREUX (NF) DANS LES MÂCHEFERS SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

Procédé d'extraction dans les mâchefers : la machine à courants de Foucault (MCF)

Les matériaux non ferreux (NF) se présentent sous la forme de nodules de taille généralement comprise entre 5 et 60 mm. Ils sont composés principalement d'aluminium, et de métaux denses (cuivre, laiton). Leur extraction est basée sur le principe d'éjection par courant de Foucault dont le fonctionnement est le suivant (figure 1) :

- une roue polaire, constituée par un cylindre garni d'aimants alternés pôle sud et pôle nord, génère lors de sa rotation un champ électromagnétique alternatif ;
- tout objet en aluminium porté par un tapis au dessus de la roue et traversant le champ magnétique, développe des courants « vagabonds » dits de Foucault qui créent un champ opposé ;
- la roue étant fixée et l'objet en aluminium ne l'étant pas, la répulsion des champs éjecte l'objet mobile au-delà du volet de séparation ;
- les objets non métalliques ne développent pas de courants vagabonds et tombent grâce à leur masse avant le volet ;

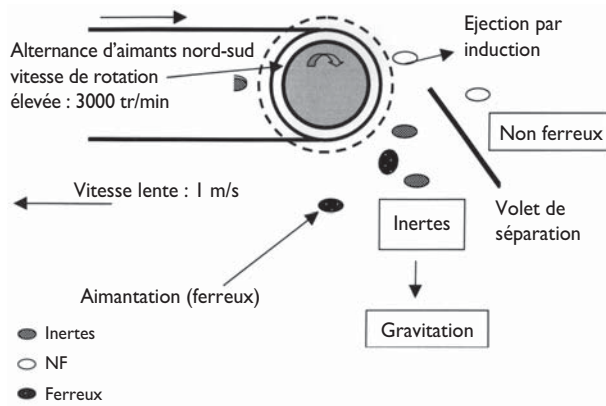


Figure 1 : Principe d'éjection des NF par courants de Foucault

– les objets en acier, quant à eux, doivent être supprimés par un double déferailage, sinon, ils restent collés sur le tapis au niveau de la roue polaire. Leur présence en grand nombre peut provoquer un échauffement de la roue polaire et faire fondre son enveloppe de protection (composite). Les NF extraits sont ensuite purifiés des inertes pouvant être entraînés lors de l'éjection. L'aluminium sera séparé des métaux denses tel que le cuivre et l'étain par tri densimétrique. Il sera ensuite refondu et permettra la production d'alliages de deuxième fusion. Le mâchefer valorisé, constitué par les inertes ôtés de l'aluminium, sera ensuite utilisé en grave routière. Ses qualités géotechniques seront améliorées par la suppression de l'aluminium, considéré comme indésirable dans ce cas.

Gisement exploitable

En France, la quantité de mâchefers dont les nodules d'aluminium peuvent être extraits dans des conditions économiques acceptables est actuellement proche de 3 Mt/an en France. Ce qui correspond à la production d'ordures ménagères, traitées par incinération, de 30 millions d'habitants.

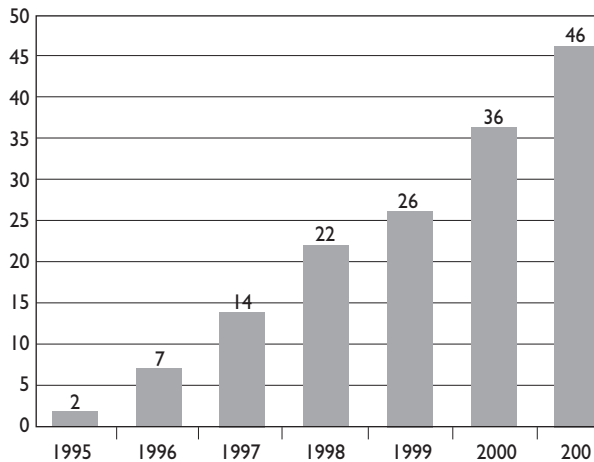


Figure 2 : Progression du nombre de sites français équipés en MCF sur les 7 dernières années

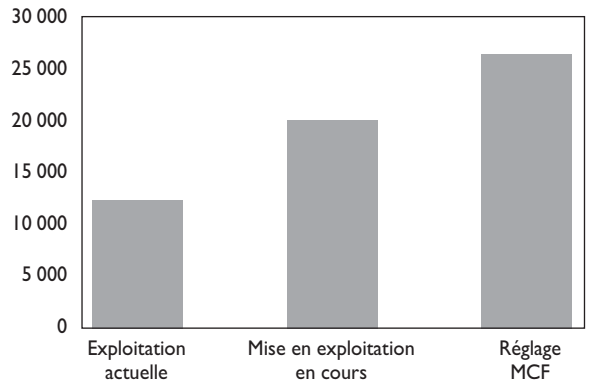


Figure 3 : Projection des gains de production en prenant en compte les mises en exploitation des nouvelles MCF et la mise à niveau des anciennes.

Le gisement théorique en NF de 30 000 tonnes, calculé à partir de la teneur moyenne sur le territoire français de 1 %, implique avec un taux d'extraction moyen de 70 %, un gisement exploitable voisin de 20 000 tonnes. La teneur en NF varie selon les sites de 0,5 % à 1,5 %, avec une moyenne vers 1 % composée de 0,6 % d'aluminium, 0,25 % de cuivreux et de 0,15 % de fraction non métallique associée.

Gisement exploité

Actuellement, la progression régulière des sites optant pour un équipement d'extraction des NF est en constante progression, comme l'indique la figure 2. La quantité réelle de NF contenue dans le mâchefer sur les sites équipés étant de l'ordre de 16 000 tonnes par an, pour un taux d'extraction moyen de l'ordre de 70 %, on peut estimer, que la quantité extraite sur le territoire français en 2001 était d'environ 12 000 tonnes. L'installation de nouvelles MCF sur l'année en cours permet d'espérer un gain de 5 000 tonnes pour 2002. Il en est de même pour la mise à niveau de l'extraction en termes de réglage, qui permettrait à terme un accroissement de 5 000 tonnes supplémentaires. Ainsi, on peut prévoir une exploitation des NF en forte progression et présentant une grande marge de manœuvre (figure 3). Actuellement, cette extraction est principalement assurée par des plates-formes de maturation et de production de grave routière (80 %) et en sortie d'incinérateurs pour une plus faible portion (20 %).

MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DES NON FERREUX

Les NF sont caractérisés sur le terrain par France Aluminium Recyclage et complétés par une analyse chimique effectuée par le laboratoire d'analyse chimique de Pechiney - Centre de recherches de Voreppe.

Répartition granulométrique

Un échantillonnage rigoureux du mâchefer d'incinération

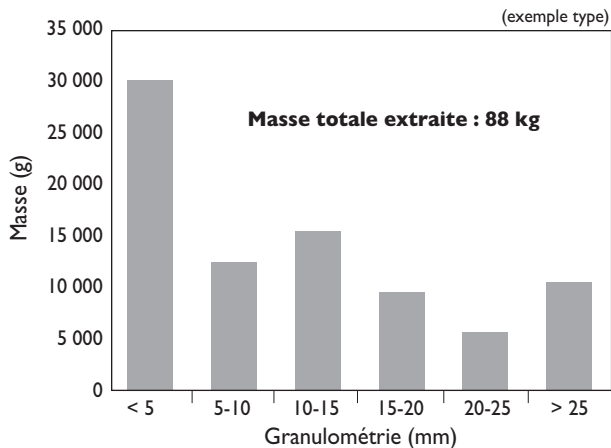


Figure 4 : Exemple de répartition granulométrique du mâchefer d'incinération d'ordures ménagères

d'ordures ménagères est réalisé sur place par quartage en tas et prélèvement par pelleteuse pour les grosses quantités (100 t) et/ou par pelletage alterné, pour les plus faibles quantités (100 kg). Le lot final est ensuite tamisé en 6 fractions granulométriques : < 5 mm, 5 à 10 mm, 10 à 15 mm, 15 à 20 mm, 20 à 25 mm, > 25 mm.

Dans chaque fraction la quantité de NF est comptabilisée. Les NF sont représentés par l'aluminium, les cuivreux, le plomb, etc... A l'issue de cette démarche, des graphes de répartition

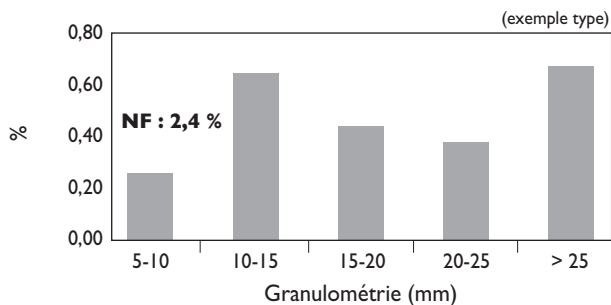


Figure 5 : Exemple de distribution des NF dans les tranches granulométriques des Miom

granulométrique du mâchefer (figure 4) et de répartition des NF (NF) par tranche granulométrique sont obtenus (figure 5). La distribution granulométrique des mâchefer d'incinération d'ordures ménagères et la teneur en matériaux NF des fractions dépendent de plusieurs facteurs : (1) le type de fours utilisés, (2) la température de combustion, (3) le temps de séjour dans les fours ainsi que leur saturation, (4) le type de déchets incinérés.

Fractions pouvant être valorisées et teneur en métaux NF

Les NF sont actuellement valorisés à partir de la fraction supérieure à 5 mm. Bien que fine, la tranche 5 à 10 mm est valorisable et présente le même intérêt économique que les tranches granulométriques supérieures. De plus son exploitation est sans obstacle technique.

La teneur métallique (tous métaux confondus), présente dans

Tableau I : Estimation de la teneur métallique par fraction de taille d'échantillon

Granulométrie de l'échantillon	Métal (%)
5 - 10 mm	82
10 - 15 mm	75
15 - 20 mm	83
20 - 25 mm	86
> 25 mm	90

chaque fraction granulométrique, est estimée à partir d'analyses chimiques. Les résultats sont présentés dans le tableau I.

Au travers de ces données, on constate que la teneur en métal valorisable n'est pas directement liée à la taille des nodules de métaux NF et que le pourcentage en métaux NF dans la granulométrie de 5 à 10 mm est comparable à celle des granulométries supérieures. De ce fait, elle mérite tout autant d'être valorisée.

OBJECTIFS ET CONTRAINTES DE L'EXPLOITATION DES NON FERREUX

La démarche de la valorisation des NF est complémentaire dans les deux cas (valorisation en grave routière ou valorisation des NF) et participe à l'économie des matières premières et de l'énergie nécessaire à la fabrication de l'aluminium primaire. De plus l'extraction de l'aluminium améliore la qualité géotechnique du mâchefer lors d'une utilisation en travaux publics.

Valorisation des non ferreux

L'extraction des NF est valorisée par une vente ultérieure à la filière dans le respect des prescriptions techniques minimales des contrats Eco-Emballages, des normes environnementales et avec un prix minimum garanti. Elle se fera en essayant de limiter au maximum la pollution par les inertes (verre, cailloux). A cet effet, la MCF sera réglée (rôle du volet séparateur) pour éliminer toutes les particules mixtes, ce qui peut amener à perdre, volontairement, une fraction des métaux NF présents.

Valorisation routière

L'aluminium doit être extrait au maximum pour répondre aux spécifications de grave routière et remédier aux inconvénients induits par la présence d'aluminium. Il y aura donc une certaine pollution par les inertes : on extraira alors le maximum de métaux NF, avec un entraînement d'inertes. La fraction métallique étant toutefois valorisable mais d'une qualité et d'un prix plus faibles (le but de cette opération est la valorisation du mâchefer et non des métaux NF). Ceci sera obtenu grâce à un réglage de la MCF permettant d'ôter la quasi totalité des métaux NF avec toutefois l'extraction simultanée des inertes dont la trajectoire recouvre celle des NF. Il est, de fait, impossible de séparer la trajectoire des inertes et des métaux NF en dessous d'une certaine tranche granulométrique. Le prix de reprise sera moindre.

Dans ce contexte, optimiser l'extraction nécessitera, en fonction des résultats obtenus lors de la caractérisation du mâchefer à valoriser (taux d'inertes, taux d'imbrûlés, indice de colmatage), l'établissement d'un cahier technique des éléments nécessaires à une bonne extraction. Avec l'accroissement de l'expérience, celle-ci

pourrait être présentée sous la forme d'un livret de recommandations à l'usage de la profession comme cela existe pour les Miom en utilisation routière. Il pourrait en être de même lors de l'installation d'une machine à courants de Foucault, mais ces spécifications font souvent partie du savoir-faire de l'entreprise et dépendent du bon vouloir des industriels qui promulguent ces technologies.

CONCLUSION

Dans les conditions françaises, où une part prépondérante des emballages aluminium se retrouve dans les ordures ménagères, l'extraction de l'aluminium et des NF des mâchefers d'incinération est a priori une opération économiquement rentable qui doit être envisagée dans toute planification de centre de valorisation de Miom. Les petits incinérateurs peuvent regrouper leur mâchefer sur une plate-forme commune de traitement afin de profiter des économies d'échelle. Dans tous les cas, l'aluminium extrait à partir de la fraction granulométrique de 5 mm connaîtra une valorisation sous forme d'alliages de moulage qui permettront de fabriquer de nombreuses pièces destinées notamment à la construction automobile (blocs moteurs, carters, etc).

* François Pruvost,

France Aluminium Recyclage C/O Pechiney - 7 place du Chancelier Adenauer, 75218 Paris Cedex

** Marie-Madeleine Fanget, Robert Guillermet et Serge Terroni,

Pechiney Centre de recherches de Voreppe - BP 27, 38341 Voreppe Cedex

Bibliographie

[1] Goacolou H., Seigneurie C., Jozon C., Pascual C., Drouaine I., Troesch O. (1995) - SCORCIM pour la valorisation des mâchefers en travaux routiers, Revue Générale des Routes et Aéroports, 729, p. 39-42.

RECYCLAGE DE MÂCHEFERS PAR FUSION RÉDUCTRICE

Luc George, Jean Sünnen

Sünnen Technologies

Le recyclage de mâchefers par fusion réductrice sous laitier électroconducteur permet, dans une optique de zéro déchets, avec une dépense d'énergie de 300 kWh/t et pour un coût de 68 €/t de récupérer environ 800 kg de laitier propre, 80 kg de fonte et 20 à 30 kg de résidus d'épuration de fumées (REF) : résidus d'épuration de fumées. Le laitier liquide peut être transformé en matériaux de base d'applications en génie civil : fibres de renforcement ou matériaux poreux tandis que la fonte est recyclable en fonderie. Les différents sels contenus dans les REF peuvent être récupérés comme sels purs par un procédé de séparation chimique traditionnel.

Recycling of bottom ashes by melting under reducing conditions by the electroslag process allows us, in a zero waste policy, with an energy expense of 300 kWh/t on hot ashes and for a total cost of 68 €/t to recuperate around 800 kg of a clean slag, 80 kg of iron and 20 to 30 kg of fly ash. The liquid slag can easily be transformed in raw materials for the building industry: reinforcement filaments or porous materials for light weight concrete. The iron can be recycled in foundries. The different heavy metal compounds of the fly ashes can be separated by conventional processes and recycled as pure metallic salts in the non ferrous industry.

INTRODUCTION

Divers procédés ont été proposés pour obtenir par fusion de mâchefers ou de rifiom un vitrifiat présentant un bon comportement à la lixiviation. Les procédés

de fusion par plasma ou arc électrique présentent, par suite des températures très élevées mises en œuvre, l'inconvénient d'une consommation d'énergie électrique très élevée, induisant un dégagement important de fumées, donc de résidus d'épuration de fumées (REF), la production de NOx et une faible durée de vie des réfractaires soumis au rayonnement de l'arc ou du plasma. Il semblerait par ailleurs que certaines municipalités japonaises utilisent des fours à arc triphasés traditionnels. On dispose de très peu de renseignements sur ces installations mais à première vue les mêmes problèmes de réfractaires, de consommation d'énergie, de volatilisation et de production de REF et de NOx devraient se poser.

Un autre procédé ^[1] a été proposé, il consiste à mettre les mâchefers en fusion à environ 1 500 °C en présence d'un excès d'oxygène. Les résidus ferreux sont ainsi oxydés, et les métaux lourds, aisément volatilisés, évaporés. Suite à l'étape de fusion, le liquide est placé en conditions réductrices. Pendant cette phase, des métaux lourds natifs se forment et séparent par gravité, laissant en surface des scories silicatées, ces dernières devant être valorisées comme additifs au ciment. Bien que ce procédé semble a priori intéressant du point de vue énergétique et économique, l'utilisateur reste confronté au problème majeur de la durée de vie des réfractaires du four, au volume de fumées produites ainsi qu'à la teneur en oxydes de chrome et fer (FeCr₂O₄) des scories si celles-ci sont destinées à être valorisées comme additifs au ciment.

Le procédé électroslag de fusion réductrice sous laitier est innovant sur plusieurs plans :

– la consommation spécifique est d'environ 300 kWh/t de mâchefers chargés chauds ;