



HAL
open science

Stabilisation des résidus solides de l'incinération par le procédé TREDI-ASH

Sylvain Durecu, Danielle Venditti, Didier Goy, Jacques Thauront, Jacques Berthelin

► **To cite this version:**

Sylvain Durecu, Danielle Venditti, Didier Goy, Jacques Thauront, Jacques Berthelin. Stabilisation des résidus solides de l'incinération par le procédé TREDI-ASH. Environnement, Ingénierie & Développement, 1997, N°6 - 2ème Trimestre 1997, pp.14-20. 10.4267/dechets-sciences-techniques.764 . hal-03182912

HAL Id: hal-03182912

<https://hal.science/hal-03182912v1>

Submitted on 26 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

STABILISATION DES RÉSIDUS SOLIDES DE L'INCINÉRATION PAR LE PROCÉDÉ TREDI-ASH

ÉTAPE 2 : TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR BIOSORPTION

Sylvain Durécu*, Danielle Venditti*, Didier Goy**, Jacques Thauront***, Jacques Berthelin****
TREDI, *Laboratoire de recherche, **Services techniques, ***Direction générale, ****Centre de pédologie biologique

Le procédé Tredi-ASH est une technique de détoxification des mâchefers d'incinération de déchets industriels qui transforme par lixiviation chimique une fraction pondérale importante (70 à 95 % du poids sec) des scories traitées en résidus stables. Ce procédé permet de réduire conséquemment le volume de déchet à mettre en décharge, tout en satisfaisant à l'exigence de stabilisation de ces résidus comme préalable au stockage, et ce, sans transfert de pollution. La première étape du procédé relative au traitement des mâchefers a été décrite dans un précédent article (Venditti et al., 1996). Ce nouvel article concerne la seconde étape du procédé Tredi-ASH, c'est-à-dire le traitement des lixiviats chargés en métaux lourds par biosorption. Au terme du traitement des lixiviats, les biomasses chargées en polluants peuvent être régénérées ou réduites en cendres.

Tredi-ASH is a chemical leaching process used to extract mobile metal pollutants from industrial wastes incineration slags. An exchange reaction with CaCl_2 , obtained from wet gas cleaning neutralization allows to detoxify and to stabilize an important fraction of slag's original weight (70 to 95 % dry weight), reducing ultimate waste volume as described in a previous article (Venditti et al., 1996). The removal of soluble metals and related compounds contained in the slag leachates is performed in a « biosorption » process : metals are adsorbed and complexed on the biochemical components (-SH, -COOH, -OH) of dead biomasses, as described herein.

INTRODUCTION

Le procédé Tredi-ASH a été développé pour satisfaire à l'exigence de stabilisation des mâchefers d'incinération de déchets industriels comme préalable au stockage, qui prendra effet à compter de 1998.

Comme déjà décrit dans un précédent article (Venditti et al., 1996) une réaction chimique d'échange cationique, qui met en œuvre le chlorure de calcium produit par l'épuration des fumées en voie humide dans les unités d'incinération permet de solubiliser les métaux mobilisables des

mâchefers. Cette lixiviation chimique est couplée à un brassage mécanique qui en accentue l'efficacité. Le calcium se fixe sur les scories, en libérant les métaux labiles dans la solution. Les solutions de chlorure de calcium enrichies en métaux sont épurées par biosorption dans une seconde étape du procédé et peuvent être réutilisées en circuit fermé pour le traitement de nouveaux mâchefers, car toujours suffisamment riches en calcium. Les biomasses chargées en polluants obtenues au terme du processus peuvent être régénérées ou réduites en cendres pour former partie du déchet ultime (constitué aussi pour partie par les matières en suspension générées au cours du brassage des mâchefers - 5 à 30 % de la masse sèche initiale -).

La biosorption est un processus d'adsorption et de complexation des métaux par des cellules mortes ou des constituants cellulaires (en l'occurrence d'origine microbienne ou végétale) appelés biosorbants. Cette fixation s'opère grâce à la charge anionique de surface développée après dissociation des différents groupements fonctionnels acides constitutifs du matériel biologique mort (groupements thiol-SH, carboxyle-COOH, alcool-OH). Les biosorbants ont une nature polyélectrolytique : chaque site occupé par un proton peut être disponible pour fixer un cation métallique.

RÉSULTATS OBTENUS

La biosorption a démontré son efficacité en laboratoire et à l'échelle pilote pour l'épuration d'effluents et de lixiviats peu chargés en métaux lourds. Plusieurs essais probants déjà publiés (Durécu et al., 1994) ont été menés avec des drèches de fermentation de l'industrie agro-alimentaire, mais ceux-ci ont eu pour principal objet de contribuer à élucider les mécanismes fondamentaux de la biosorption microbienne, et ont porté à cette fin sur le seul polissage de solutions peu chargées en métaux (Deneux-Mustin, 1995). En conditions réelles d'exploitation du procédé Tredi-ASH, les lixiviations de plusieurs lots de mâchefers avec une même solution de CaCl_2 (recirculée après épuration par biosorption) génèrent, de façon transitoire dans le lixiviat calcique, des concentrations en métaux lourds de plusieurs mg/l. L'étape de biosorption préalable à chaque recircula-

tion permet de piéger en grande partie ces métaux sur le biosorbant, sans modifier conséquemment la concentration en calcium de la solution, et autorise ainsi une nouvelle et efficace réaction d'échange sur un nouveau lot de scories.

La première partie de cet article présente les résultats d'essais de biosorption microbienne réalisés à partir d'un lixiviat basique riche en métaux obtenu au cours de la première étape du procédé à l'échelle semi-industrielle et destiné à être recirculé. Les essais présentés dans la seconde partie de l'article ont pour objectif de tester les performances d'un biosorbant constitué de résidus ligneux, la biosorption sur des biomasses d'origine végétale pouvant être une alternative possible (voire avantageuse en termes de rendements et de cinétiques d'épuration pour certains éléments), lorsque l'absence d'industries agro-alimentaires productrices de drêches de fermentation à proximité immédiate rend l'approvisionnement en biomasse microbienne difficile.

Tous les essais à l'échelle semi-industrielle présentés ci-après ont été réalisés sur l'unité de traitement précédemment décrite (Durécu et al., 1995). Les effluents calciques utilisés dans le procédé Tredi-ASH sont destinés à être recirculés après avoir été épurés par biosorption, cette étape permettant la conservation du calcium nécessaire aux ultérieures réactions d'échange.

Utilisation de biosorbants d'origine microbienne

Les lixiviats calciques issus du traitement des scories par le procédé Tredi-ASH sont souvent basiques (pH > 8) et enrichis en métaux lourds au terme de l'échange cationique, en dépit du fait qu'à pH alcalin une partie des ions métalliques extraits des mâchefers précipite sous forme d'hydroxydes retenus par filtration avant l'étape de biosorption. Les figures 1a, 1b, 1c, 1d, 1e et 1f présentent les pourcentages de rétention des différents éléments (respectivement Cd, Cu, Ni, Pb, Zn et Ca) sur le biosorbant microbien en fonction des quantités de biomasse utilisées, ainsi que les concentrations résiduelles de ces éléments dans le lixiviat épuré, dans le cas du traitement d'un lixiviat alcalin (pH 8,7) contenant : 0,42 mg/l de Cd ; 0,19 mg/l de Cu ; 1,26 mg/l de Ni ; 0,42 mg/l de Pb ; 1,70 mg/l de Zn (soit un total de 4 mg/l pour la somme de ces éléments) et 2 g/l de calcium. La biomasse microbienne utilisée est constituée de drêches de fermentation (micro-organismes et floculant minéral) lavées et séchées. Le temps de contact biomasse microbienne/lixiviat est de 2 heures. Les fortes concentrations en biomasse microbienne (5 g/l et 10 g/l) entraînent une acidification sensible du lixiviat au terme du contact de 2 H (pH final voisin de 6) ainsi que l'apparition d'un léger trouble jaune dans la solution.

Le résidu microbien est peu affine pour le cadmium (figure 1a page 16) : il faut atteindre 3 g de biosorbant par litre de lixiviat pour observer une sensible rétention de cet élément (15 %). Par ailleurs, moins de 45 % du cadmium total est retenu pour une concentration en biomasse microbienne de 10 g/l, la teneur résiduelle du cadmium dans le

lixiviat étant encore supérieure à 0,2 mg/l dans ce cas de figure. Contrairement au cadmium, le cuivre est fortement retenu par la biomasse microbienne (figure 1b page 16), même lorsque celle-ci est présente en faible quantité dans le lixiviat (plus de 50 % de rétention avec une charge en biomasse microbienne de 1 g/l). Ce pourcentage de rétention dépasse 70 % lorsque la concentration en biomasse est triplée ou multipliée par 10. Le nickel a un comportement semblable à celui du cadmium (figure 1c page 16) : une teneur en biomasse microbienne de 1 g/l est insuffisante pour piéger le nickel (moins de 3 % de rétention). La biosorption devient modérément efficace avec une concentration de 3 g/l de biosorbant (25 %), mais ce taux de rétention évolue peu pour des charges supérieures en biomasses (30 % à 10 g/l). Le plomb est piégé à plus de 20 % pour une concentration en biomasse de l'ordre du gramme par litre (figure 1d page 16) ; ce taux de rétention est doublé lorsque la concentration en biosorbant est triplée, mais ne dépasse pas les 50 % à 5 g/l de biomasse microbienne. Comme le plomb, le zinc est retenu à hauteur de 20 % pour une concentration en biomasse faible (figure 1e page 16), le pourcentage maximal de rétention ne dépassant pas 35 % à 10 g/l.

En dépit de son abondance dans la solution, et contrairement à tous les autres éléments, le calcium n'est pas ou peu retenu par le biosorbant microbien, en raison de son électronégativité et de son encombrement stérique : la forte concentration initiale en calcium de l'effluent calcique varie peu, même lorsque la charge en biosorbant est importante (1,97 g/l pour 10 g/l de biomasse, figure 1f page 16). La teneur en calcium de l'effluent n'est pas ou peu affectée par le traitement de biosorption microbienne.

La biosorption sur des drêches de fermentation semble donc particulièrement efficace pour épurer le cuivre, et plus modérément le plomb et le zinc (figures 1b, 1d et 1e), même lorsque la charge en biomasse est faible (1 g/l). La concentration en biosorbant doit être au moins égale à 3 g/l pour observer un piégeage sensible du cadmium et du nickel (figures 1a et 1c). Toutefois, pour tous les éléments hormis le cadmium, le taux de rétention évolue peu au-delà de 3 g/l de biosorbant et n'atteint que 35 % dans le cas du zinc, qui est l'élément le plus important en concentration dans le lixiviat initial (1,7 mg/l).

A raison de 3 g/l de biomasse microbienne, le lixiviat calcique est épuré à hauteur de 20 à 70 % (selon l'élément considéré) par biosorption microbienne et est toujours suffisamment riche en calcium (1,98 g/l) pour permettre une nouvelle réaction d'échange efficace sur un nouveau lot de scories. Lorsque la charge en biomasse microbienne atteint 10 g/l le rendement d'épuration varie de 30 à 75 % selon les éléments.

Cet apparent manque d'efficacité observé pour les fortes charges en biomasse microbienne (5 g/l et 10 g/l) est vraisemblablement à mettre en relation avec la baisse de pH du lixiviat observée au terme du contact (réassociation partielle des groupements fonctionnels impliqués dans les

Figures 1 : Pourcentages de rétention des différents éléments sur le biosorbant microbien et teneurs résiduelles du lixiviat en fonction de la quantité de biomasse microbienne utilisée. Traitement de 2 H d'un lixiviat alcalin (pH 8,7) contenant 0,42 mg/l de Cd ; 0,19 mg/l de Cu ; 1,26 mg/l de Ni ; 0,42 mg/l de Pb ; 1,70 mg/l de Zn et 2 g/l de calcium

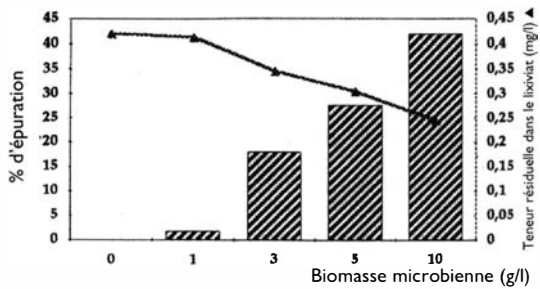


Figure 1a : Cadmium

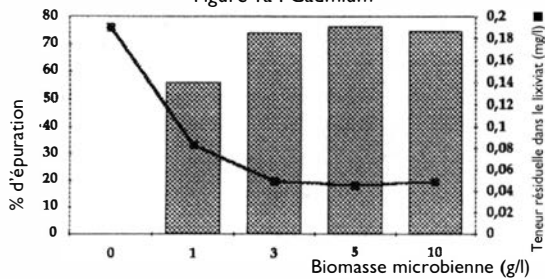


Figure 1b : Cuivre

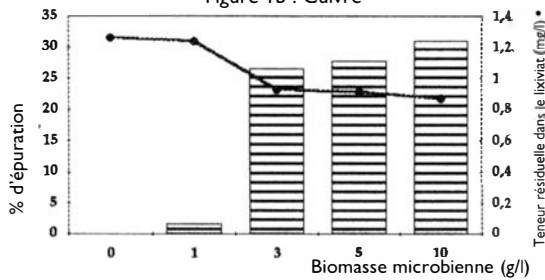


Figure 1c : Nickel

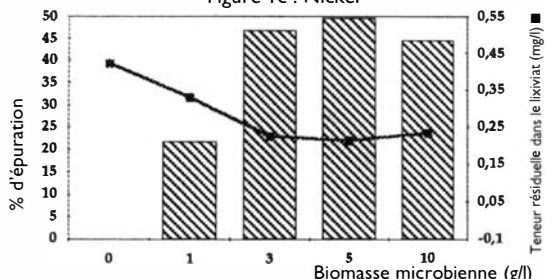


Figure 1d : Plomb

mécanismes de la biosorption) mais aussi avec l'apparition d'un trouble jaune en solution pouvant être causé par une libération importante de composés organiques par la biomasse insuffisamment lavée. Ces composés organiques peuvent complexer les métaux en solution (formation de complexes organo-métalliques solubles) et empêcher leur piégeage efficace par le biosorbant. Un lavage prolongé des biomasses microbiennes et un éventuel contrôle du pH peuvent permettre une nette amélioration des rendements d'épuration par biosorption microbienne.

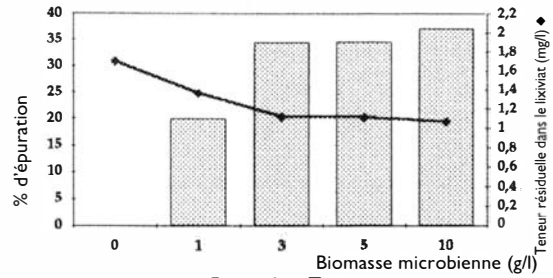


Figure 1e : Zinc

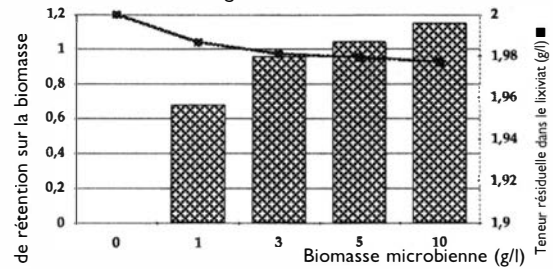


Figure 1f : Calcium

Utilisation de biosorbants d'origine végétale

Traitement d'un lixiviat basique riche en métaux avec différentes quantités de biomasse végétale

La biosorption sur des biomasses végétales peut être une alternative possible lorsque l'absence d'industries agro-alimentaires productrices de drèches de fermentation à proximité immédiate rend l'approvisionnement en biosorbants microbiens pré-conditionnés difficile. Dans les essais présentés ci-après, le lixiviat basique ayant fait l'objet du précédent traitement par biosorption microbienne est traité en parallèle par des résidus ligneux lavés et séchés, pour confronter les performances respectives de chaque type de biosorbant. Les figures 2a, 2b, 2c, 2d, 2e et 2f présentent les pourcentages de rétention des différents éléments (respectivement Cd, Cu, Ni, Pb, Zn et Ca) sur le biosorbant végétal en fonction des quantités de biomasse utilisées, ainsi que les concentrations résiduelles de ces éléments dans le lixiviat épuré, dans le cas du traitement d'un lixiviat alcalin (pH 8,7) contenant : 0,42 mg/l de Cd ; 0,19 mg/l de Cu ; 1,26 mg/l de Ni ; 0,42 mg/l de Pb ; 1,70 mg/l de Zn (soit un total de 4 mg/l pour la somme de ces éléments) et 2 g/l de calcium. Le temps de contact biomasse/lixiviat est de 2 H. Contrairement à la biomasse microbienne, les fortes concentrations en biomasse végétale (5 g/l et 10 g/l) n'entraînent pas d'acidification sensible du lixiviat au terme du contact de 2 H, mais un léger enrichissement de la solution en matières en suspension est observé.

Le zinc est l'élément prépondérant en concentration dans le lixiviat (1,70 mg/l) ; il semble être aussi l'élément le plus affine pour la biomasse végétale puisqu'il est retenu en grande proportion (plus de 98 %) avec une charge en biomasse minimale de 1 g/l (figure 2e). Le zinc est fixé de façon bien plus massive et immédiate par une faible quantité de biomasse végétale, qu'il ne l'est à charge similaire en biosorbant microbien (figure 1e). De la même façon, le cadmium est bien fixé (figure 2a) par une faible quantité de

Figures 2 : Pourcentage de rétention des différents éléments sur le biosorbant végétal et teneurs résiduelles du lixiviat en fonction de la quantité de biomasse végétale utilisée. Traitement de 2 H d'un lixiviat alcalin (pH 8,7) contenant 0,42 mg/l de Cd ; 0,19 mg/l de Cu ; 1,26 mg/l de Ni ; 0,42 mg/l de Pb ; 1,70 mg/l de Zn et 2 g/l de calcium

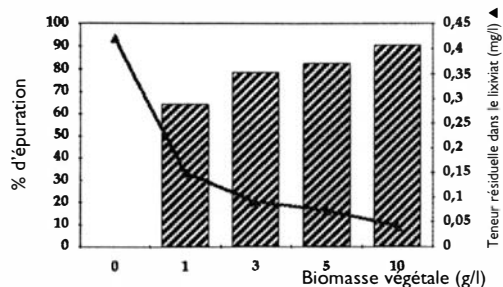


Figure 2a : Cadmium

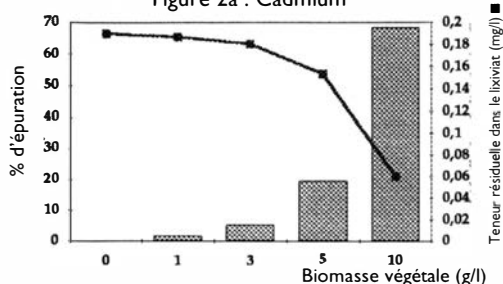


Figure 2b : Cuivre

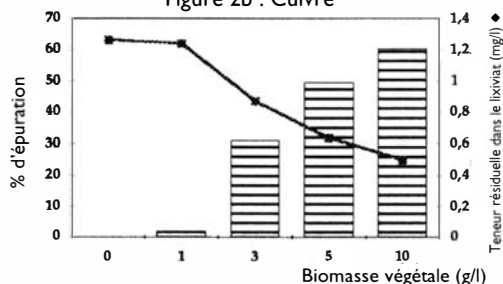


Figure 2c : Nickel

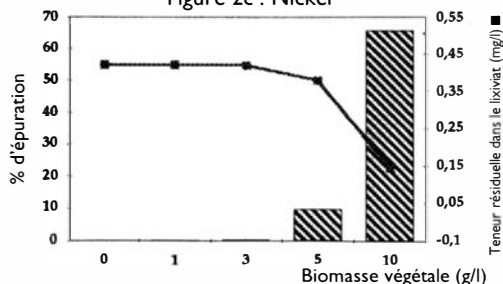


Figure 2d : Plomb

biomasse végétale (64%), alors qu'il est très peu retenu (3%) à concentration identique en biosorbant microbien (figure 1a). A partir d'une concentration de 3 g/l en résidus ligneux le taux de rétention du cadmium dépasse les 80% et est dès lors peu sensible à l'enrichissement en biomasse. Au contraire, le cuivre est mieux épuré par biosorption microbienne qu'il ne l'est par biosorption végétale : il n'est retenu de façon conséquente (70%) par les résidus ligneux que lorsque la charge en biosorbant atteint 10 g/l (figure 2b) alors que ce même taux de rétention est obtenu dès

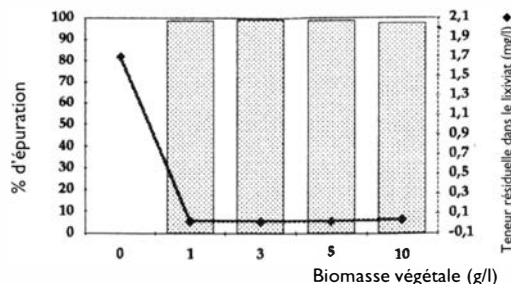


Figure 2e : Zinc

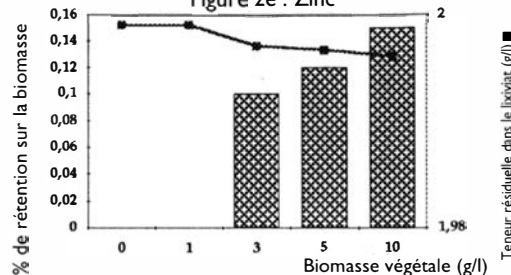


Figure 2f : Calcium

l'adjonction de 3 g/l de biomasse microbienne (figure 1b). Le plomb n'est retenu de façon conséquente (65%) que pour une concentration en résidus ligneux de 10 g/l (figures 2d), la biosorption étant inefficace pour les concentrations moindres en biosorbants végétaux (10% seulement à 5 g/l), alors qu'elle est effective, même si modérée, dans le cas des biomasses microbiennes (figure 1d). Le nickel présente un profil de biosorption similaire pour les faibles concentrations en biosorbants microbiens (figure 1c) et végétaux (figure 2c) : il est peu retenu à 1 g/l (< 5%) et est épuré à hauteur de 30% à 5 g/l. Toutefois, l'enrichissement progressif en biomasse microbienne (jusqu'à 10 g/l) ne permet pas de dépasser les 30% de rétention, alors que ce taux d'épuration est doublé (60%) avec 10 g/l de résidus ligneux (figure 2c).

A la concentration de 3 g/l, déjà efficace dans le cas de la biosorption microbienne pour tous les éléments hormis le cadmium et le nickel, le rendement d'épuration par biosorption végétale est faible pour le plomb, le cuivre et le nickel (figures 2b, 2c et 2d) et varie entre 30 et 95% pour les autres éléments. A la concentration de 10 g/l en biomasse végétale, le rendement d'épuration des lixiviats se situe entre 60 et 97% quel que soit l'élément considéré, à l'exception du calcium qui n'est pas retenu par le biosorbant végétal en raison de son électronégativité et de son encombrement stérique (figure 2f).

Les deux types de biosorbants ont des affinités et des spécificités différentes voire complémentaires pour les différents métaux ; les faibles concentrations en biomasse microbienne permettent la biosorption du cuivre (50%), du plomb (20%) et du zinc (20%), alors que les faibles concentrations en biomasses végétales permettent le piégeage efficace du cadmium (60%) et du zinc (95%). Aux fortes concentrations, les deux types de biosorbants permettent la rétention de tous les métaux (y compris le nickel qui semble peu mobilisé en présence de faibles concen-

Figures 3 : Pourcentages de rétention des différents éléments sur le biosorbant végétal et teneurs résiduelles du lixiviat en fonction du temps de contact biomasse/lixiviat. Traitement d'un lixiviat alcalin (pH 8,7) contenant 0,42 mg/l de Cd ; 0,19 mg/l de Cu ; 1,26 mg/l de Ni ; 0,42 mg/l de Pb ; 1,70 mg/l de Zn et 2 mg/l de calcium, avec une concentration en résidus ligneux de 10 g/l

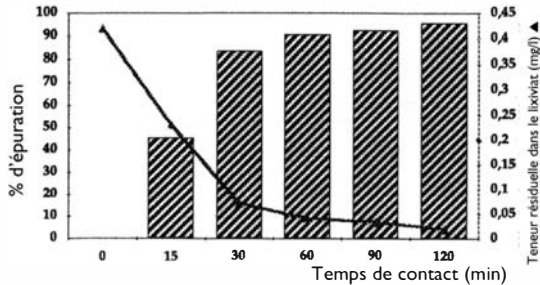


Figure 3a : Cadmium

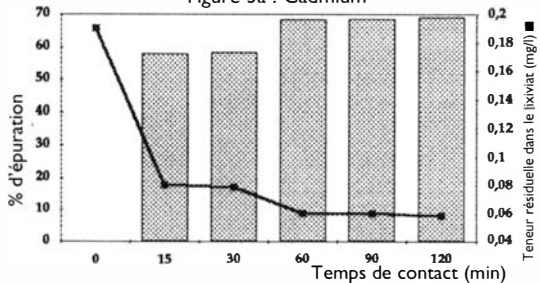


Figure 3b : Cuivre

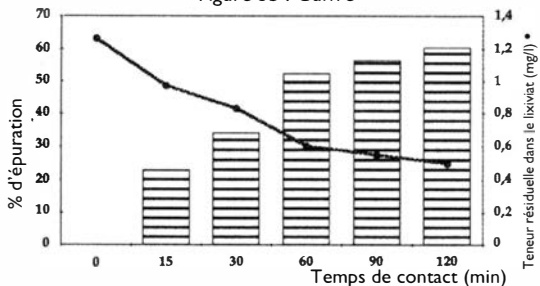


Figure 3c : Nickel

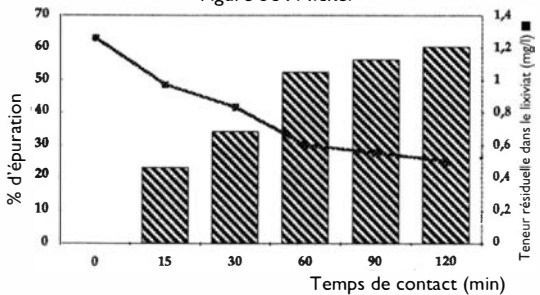


Figure 3d : Plomb

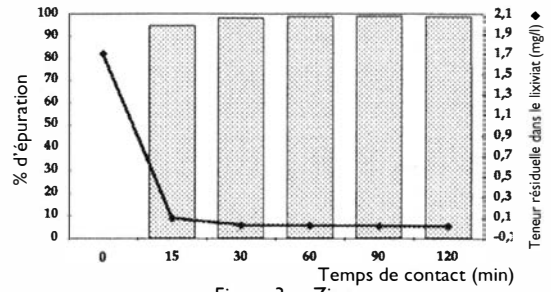


Figure 3e : Zinc

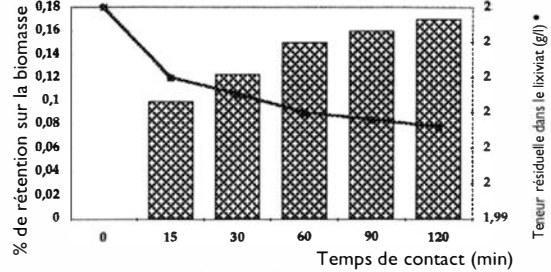


Figure 3f : Calcium

métaux sont en effet différents selon les biomasses utilisées : une étude en spectroscopie infrarouge a mis en évidence l'importance des groupements carboxyles dans le cas des biomasses microbiennes (Deneux-Mustin, 1995), alors que l'étude des mécanismes de la fixation des ions métalliques par les résidus ligneux semble indiquer que les sites les plus actifs sont de type OH phénoliques (Goy, 1993). Il est par ailleurs difficile de comparer le nombre de sites actifs disponibles pour chaque type de biomasse, à poids sec équivalent, en particulier parce que le résidu microbien est constitué pour partie de matière minérale (conditionnement des drêches avec un flocculant).

Influence du paramètre temps de contact lixiviat/biomasse en concentration non limitante en biomasse végétale

Les figures 3a, 3b, 3c, 3d, 3e et 3f présentent les rendements d'épuration du lixiviat basique précédent (pH 8,7) pour chaque élément considéré (respectivement Cd, Cu, Ni, Pb, Zn et Ca) ainsi que la teneur résiduelle en cet élément dans le lixiviat, en fonction du temps de contact, dans le cas d'un traitement avec une concentration (non limitante) en résidus ligneux de 10 g/l.

Un temps de contact de 15 minutes suffit à éliminer plus de 94 % du zinc (figure 3e) et plus de 55 % du cuivre (figure 3b) contenus dans le lixiviat. Après 1 H de contact, tous les métaux lourds sont retenus à plus de 50 % par le biosorbant. Après 2 H de traitement, le pourcentage d'épuration est maximal quel que soit le métal lourd considéré, et compris entre 60 et 97 % (figures 3a, 3b, 3c, 3d et 3e). Le calcium n'est pas retenu sur la biomasse, en dépit d'un temps de contact important (figure 3f).

La biosorption s'avère donc très efficace pour épurer avec une cinétique rapide un lixiviat basique riche en métaux lourds.

Traitement de lixiviats de pH différents

Deux lixiviats A et B de pH et de compositions différents

trations en biosorbant végétal ou microbien) mais les taux d'épuration les plus forts sont observés pour les fortes charges en biomasse végétale, qui contrairement aux biomasses microbiennes, n'entraînent pas de baisse excessive de pH et ne relarguent vraisemblablement que peu de composés organiques complexants en solution. Ces importantes différences d'affinités sont sans doute aussi à mettre en relation avec la nature et la quantité de groupements fonctionnels impliqués dans les mécanismes de la biosorption. Les sites préférentiels de fixation des

Tableau 1 : Caractéristiques initiales des deux lixiviats de pH différents

Lixiviat	pH du lixiviat (mg/l)	Teneur en Cd (mg/l)	Teneur en Cu (mg/l)	Teneur en Ni (mg/l)	Teneur en Pb (mg/l)	Teneur en Zn (mg/l)	Teneurs en Métaux Totaux* (mg/l)	Teneur Ca (g/l)
A	7,9	0,48	0,44	0,37	0,68	5,62	8,47	1,7
B	8,7	0,42	0,19	1,26	0,42	1,70	4,82	1,9

* Somme des teneurs en Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe, Al, Pb et Sn (mg/l)

Tableau 2 : Pourcentages de rétention des différents éléments sur la biomasse en fonction du pH des lixiviats, pour un traitement de 2 H avec 10 g de biomasse/l

Lixiviat	pH du lixiviat	% de rétention du Cd sur la biomasse	% de rétention du Cu sur la biomasse	% de rétention du Ni sur la biomasse	% de rétention du Pb sur la biomasse	% de rétention du Zn sur la biomasse	% de rétention du Ca sur la biomasse
A	7,9	58,3	70,5	49,0	23,5	99,1	0,1
B	8,7	90,5	68,4	60,4	85,7	97,6	0,1

obtenus après la lixiviation de scories d'origines diverses ont été traités par biosorption pendant 2 H avec une concentration en biomasse végétale de 10 g/l. Les caractéristiques initiales des 2 lixiviats sont présentées dans le tableau 1. Le tableau 2 présente les pourcentages de rétention des différents éléments sur la biomasse pour chacun des 2 lixiviats traités.

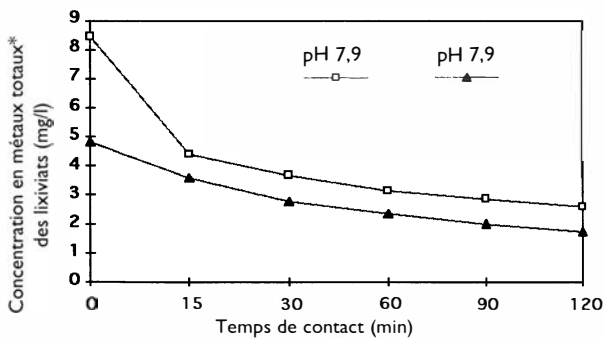
Pour tous les métaux hormis le cuivre, les rendements d'épuration des lixiviats sont d'autant plus faibles que le pH est proche de la neutralité (tableau 2). La biosorption sur

les résidus ligneux est la plus efficace en terme de rétention des polluants métalliques (quels qu'ils soient) lorsqu'elle s'applique au lixiviat le plus basique (pH 8,7), avec un maximum de plus de 95 % de rétention obtenu pour le zinc (tableau 2). A pH 8,7, la précipitation des ions métalliques sous forme d'hydroxydes est accrue ; les teneurs initiales en métaux des lixiviats sont inférieures à celles dosées pour les lixiviats plus proches de la neutralité. L'efficacité d'épuration est néanmoins effective et importante pour tous les métaux. Le traitement de biosorption permet d'abaisser significativement et dès les 30 premières minutes la teneur en métaux totaux des lixiviats A et B (figure 4), sans modifier de façon conséquente leur charge en calcium (tableau 2).

Renouvellement des biomasses pour l'épuration maximale des lixiviats

L'essai suivant consiste à traiter un lixiviat peu basique (pH 7,6) contenant principalement du cadmium à une concentration initiale de 0,35 mg/l avec une première charge en biomasse pendant 2 H, puis à renouveler le biosorbant et à poursuivre le traitement pendant encore 2 H. Les figures 5, 6, 7 et 8 montrent l'évolution des paramètres cadmium, calcium, DCO, et matières en suspension pendant le traitement.

La teneur en cadmium du lixiviat est abaissée de façon significative dans cet essai dès la première demi-heure de



* Somme des teneurs en Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe, Al, Pb et Sn (mg/l)

Figure 4 : Évolution des concentrations des lixiviats A et B en métaux totaux* (mg/l), au cours du traitement par 10 g/l de biomasse végétale

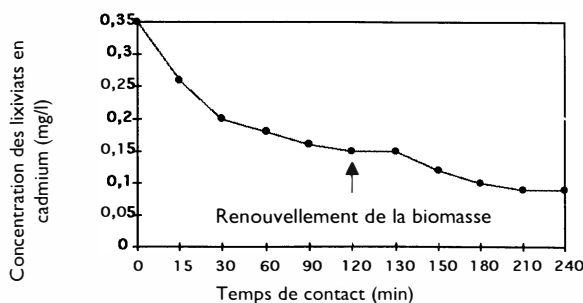


Figure 5 : Évolution de la concentration du lixiviat en cadmium (mg/l), au cours des traitements successifs par 10 g/l de biomasse végétale

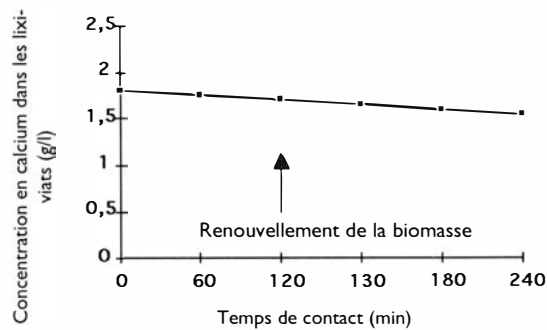


Figure 6 : Évolution de la concentration du lixiviat en calcium (g/l), au cours des traitements successifs par 10 g/l de biomasse végétale

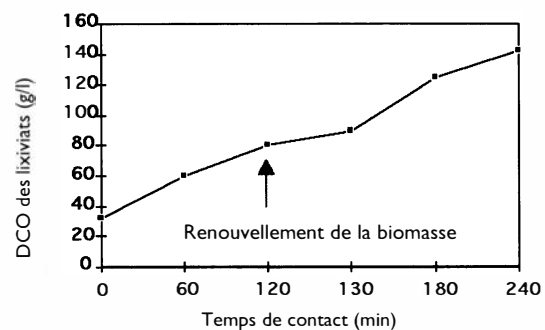


Figure 7 : Évolution de la concentration du lixiviat en DCO (mg/l), au cours des traitements successifs par 10 g/l de biomasse végétale

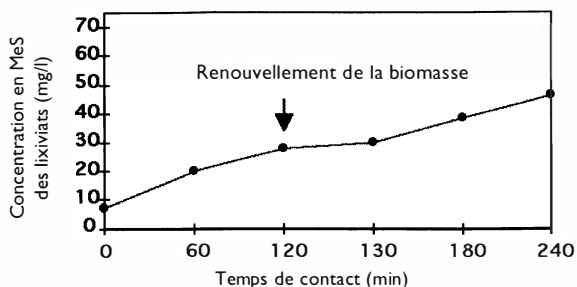


Figure 8 : Évolution de la concentration du lixiviat en matières en suspension (MeS) (mg/l), au cours des traitements successifs par 10 g/l de biomasse végétale

traitement. La figure 5 montre par ailleurs qu'il est possible de rendre encore plus efficace l'épuration par le renouvellement de la charge en biomasse, et ce sans que la concentration en calcium du lixiviat ne soit modifiée de façon conséquente (figure 6). Il est donc permis d'envisager de recycler le lixiviat épuré pour une nouvelle lixiviation de scories, puisque toujours suffisamment riche en calcium. Toutefois, au cours des cycles de biosorption, le lixiviat s'enrichit en DCO (figure 7) et en MeS (figure 8) sous l'effet de l'agitation du mélange pulpe-lixiviat. L'apport de biomasse fraîche ne fait qu'accentuer le phénomène ; il convient donc de ne pas multiplier sans précaution les renouvellements de biomasse lorsque par souci d'amélioration du rendement et de la cinétique d'épuration, de fortes concentrations en biosorbant sont choisies (10 g/l). Pour des charges inférieures en biomasse (1 à 5 g/l) en particulier d'origine microbienne, les renouvellements semblent pouvoir être multipliés sans risque d'enrichissement excessif en DCO et MeS (résultats non présentés). Il convient toutefois de rappeler qu'un lavage efficace et prolongé est une condition *sine qua non* pour une biosorption efficace avec la biomasse microbienne.

Recyclage des biomasses

Des essais menés sur les biomasses microbiennes (Deneux-Mustin, 1995) indiquent qu'il est possible d'envisager de recycler les biomasses non saturées obtenues lors du polissage de lixiviats pour traiter de nouveaux effluents très peu chargés en métaux, en conservant une décantabilité correcte nonobstant une déstructuration mécanique accrue due aux agitations successives (enrichissement en fines particules).

CONCLUSIONS

Comme déjà évoqué par Venditti *et al.* (1995) dans le numéro 4 de *Déchets, Sciences & Techniques*, le procédé Tredi-ASH permet la détoxification et la stabilisation d'une fraction pondérale importante de mâchefers d'incinération de déchets industriels. De nombreuses voies de valorisation et de recyclage sont possibles au cours de ce processus de traitement :

- Les solutions lixiviantes de chlorure de calcium sont obtenues à faible coût sur les centres d'incinération puisque produites lors de l'épuration des fumées en voie humide.

- Les scories traitées sont idoines pour une valorisation potentielle en travaux publics (70 à 95 % de la matière sèche initiale).
- Les matières en suspension générées (5 à 30 % seulement de la masse sèche initiale selon la qualité initiale des scories traitées) peuvent être utilisées en pré-neutralisation des eaux acides issues du lavage des fumées sur les centres d'incinération, si leur charge en carbonates le permet. Dans le cas contraire, ces fines constituent le déchet ultime, réduit en volume.

- Les lixiviats basiques chargés en métaux peuvent être épurés par biosorption (adaptation du biosorbant en fonction de la charge et de la nature des polluants - résidus ligneux pour les fortes teneurs en métaux, en particulier cadmium et zinc ; micro-organismes pour le polissage et/ou le traitement de solutions enrichies notamment en cuivre et plomb ; mélange des deux types de biosorbant dans le cas de lixiviats de compositions complexes... -) et peuvent être recyclés pour de nouvelles lixiviations de scories, puisque toujours suffisamment chargés en calcium.

- Lorsque les concentrations en métaux sont importantes dans le lixiviat il est possible de multiplier les renouvellements du biosorbant, particulièrement lorsque celui-ci est présent en quantité faible à moyenne (1 à 5 g/l). Dans le cas du polissage de lixiviats contenant peu de métaux, il semble par ailleurs possible d'envisager de réutiliser consécutivement la même biomasse non saturée pour la traitement de nouveaux lixiviats.

- Au terme du processus, les biomasses peuvent être réduites en cendres, réduisant ainsi considérablement le volume du déchet ultime à mettre en décharge.

* Sylvain Durécu et Danielle Venditti,

Tredi - Laboratoire de recherche - BP 184 - 54505 Vandœuvre-lès-Nancy

** Didier Goy,

Tredi - Services techniques - 1 & 3 avenue G. Pompidou - BP 3124 - 69211 Lyon cedex 3

*** Jacques Thauront,

Tredi - Direction générale - 62, rue Jeanne d'Arc - 75641 Paris cedex 13

**** Jacques Berthelin,

Centre de pédologie biologique - UPR 6831 du CNRS - BP 5 - 54501, Vandœuvre-lès-Nancy

Bibliographie

- Deneux-Mustin S. (1995). *Biosorption des métaux lourds par des biomasses microbiennes industrielles. Étude des mécanismes et application à l'épuration de lixiviats issus du traitement des scories*. Thèse de l'Institut national polytechnique de Lorraine.
- Durécu S., Thauront J., Fraysse G., Deneux-Mustin S., Venditti D. & Berthelin J. (1994). *Transformation des scories des centres d'incinération de déchets industriels en résidus stables par le procédé Tredi-ASH*. Actes du Symposium international Métatechnies sur l'inertage et la valorisation des déchets ultimes, Bordeaux, 12-14 septembre 1994, 161-170.
- Durécu S., Deneux-Mustin S., Thauront J., Venditti D., Fraysse G. & Berthelin J. (1995). *Stabilisation par le procédé Tredi-ASH des scories issues des centres d'incinération de déchets industriels*. Proceedings of the international congress on waste solidification-stabilisation processes, Nancy, 28 nov - 1^{er} dec. 1995, 103-106.
- Goy D. (1993). *Nouveau procédé de dépollution des effluents industriels contenant des métaux lourds*. Thèse de l'Institut national polytechnique de Lorraine.
- Venditti D., Durécu S., Thauront J., Fraysse G. & J. Berthelin (1996). *Stabilisation des résidus solides de l'incinération par le procédé Tredi-ASH. Étape 1 : traitement des mâchefers*. *Déchets, Sciences & Techniques*, n°4, 15-19.