

TD
796
D411
1997

3614/48I

ALEX CENDRE INC.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE - INRS-EAU

**DÉCONTAMINATION DES CENDRES VOLANTES
D'INCINÉRATEURS DE DÉCHETS MUNICIPAUX**

RÉSUMÉ SCIENTIFIQUE



RAPPORT PRÉSENTÉ À

**ENVIRONNEMENT CANADA (RÉGION DU QUÉBEC)
SECTION DU DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE
DIRECTION DE LA PROTECTION**

JANVIER 1997

Document est publié avec l'autorisation du Ministère de l'Environnement
Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada 1997
N° de catalogue : 1140-243/97-1
ISBN : 0-662-03137-4

Ce document est publié avec l'autorisation du ministère de l'Environnement.

Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada 1997

N° de catalogue : En40-542/1997-1

ISBN : 0-662-63137-4

PERSPECTIVE DE GESTION

Ce rapport d'étude est publié dans le cadre du « Programme de Développement et de Démonstration Technologiques » d'Environnement Canada qui vise à appuyer les initiatives du secteur privé dans le développement et la démonstration de nouvelles technologies environnementales. Ce programme est associé au Bureau fédéral de développement régional du Québec (BFDR-Q) et fait partie intégrante du Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000 d'Environnement Canada.

AVIS DE RÉVISION

Le présent rapport a été examiné par la Direction de la Protection, Environnement Canada, qui en a autorisé la publication. Cette autorisation ne signifie pas nécessairement que le contenu du rapport reflète les opinions et les politiques du Ministère. Les mentions de marque de commerce et de produits commerciaux qui apparaissent dans ce rapport ne signifient aucunement que leur utilisation est recommandée.

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Veillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport à la Direction de la protection, Section du développement technologique, Environnement Canada, 105 rue McGill, 4^e étage, Montréal (Québec) H2Y 2E7.

TABLE DES MATIÈRES

PERSPECTIVE DE GESTION.....	III
AVIS DE RÉVISION / COMMENTAIRES DES LECTEURS.....	III
TABLE DES MATIÈRES.....	IV
INTRODUCTION.....	1
DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE.....	3
DESCRIPTION DES ESSAIS ET RÉSULTATS OBTENUS.....	4
Tests de lixiviation TCLP sur les cendres volantes non traitées.....	5
Tests de lixiviation TCLP sur les cendres volantes après traitement.....	6
Tests de lixiviation neutre à l'eau sur les cendres volantes traitées.....	7
Pourcentage d'enlèvement des métaux par le traitement.....	7
Filtration des cendres volantes après traitement.....	8
Précipitation des métaux solubilisés lors du traitement des cendres volantes.....	8
Effluent final du procédé de traitement des cendres volantes.....	9
Bilan de masse sur les principaux métaux pour l'ensemble des essais effectués.....	9
AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX.....	10
ÉVALUATION DES COÛTS DE TRAITEMENT.....	11
CONCLUSION.....	13

INTRODUCTION

L'incinération des déchets municipaux génère deux types de cendres: les cendres de grilles, qui sont généralement inertes et ne constituent pas un danger pour l'environnement, et les cendres volantes. Les cendres volantes, qui proviennent de l'épuration des gaz résultant de la combustion des déchets, sont la plupart du temps considérées comme un déchet dangereux. Ce caractère dangereux vient de leur forte teneur en plomb, en cadmium et en mercure, selon les incinérateurs où elles sont produites. Ces métaux sont en effet lixiviables lors de l'application des tests de lixiviation des différentes législations, ce qui leur donne la caractéristique technique d'être un déchet dangereux. À noter que les cendres volantes sont composées des cendres de chaudières et des cendres des précipitateurs électrostatiques, mais aussi des chaux usées.

La combustion des déchets urbains dans les incinérateurs produit des quantités importantes de cendres qui représentent 20 à 35 % du poids des déchets. En général, de 10 à 20% sont des cendres volantes, le reste étant constitué de cendres de grilles. En Amérique du Nord, on compte plus de 325 incinérateurs de déchets municipaux. La combustion de ces déchets génère plus de 1.5 millions de tonnes de cendres volantes annuellement. Les modes de gestion les plus courants des cendres volantes en Amérique du Nord sont la stabilisation chimique, la vitrification et l'enfouissement sécuritaire.

Le présent rapport fait suite à la démonstration à l'échelle pilote du procédé de décontamination des cendres volantes d'incinérateurs de déchets municipaux. Il s'agit donc d'un rapport final qui comprend tous les résultats amassés, soit du 1er avril au 31 décembre 1996. Le projet sur les cendres est la suite logique d'un projet de recherche qui a été développé à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau) depuis 1991. De mars 1993 à mars 1995, le procédé avait été développé au laboratoire, lors d'un

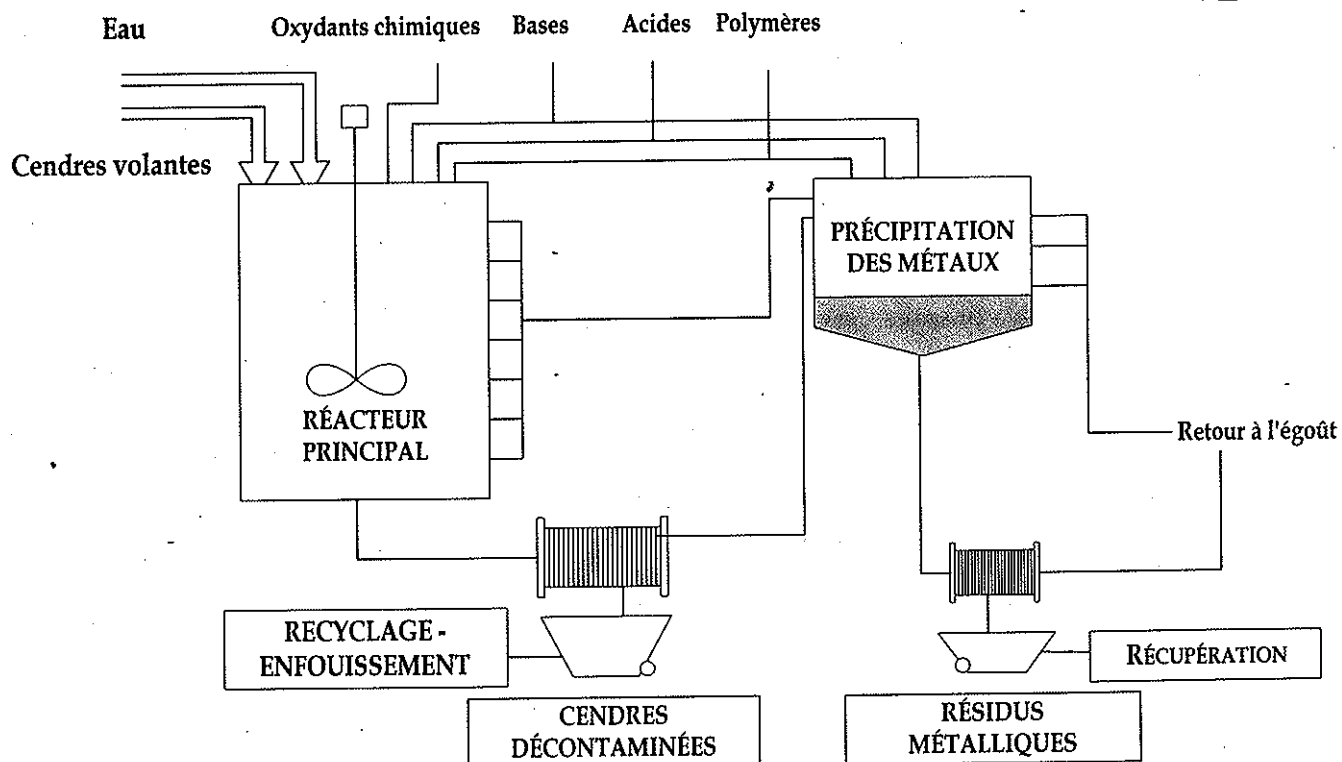
projet financé entre autre par le Fonds de recherche et de développement de technologies environnementales du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF). Les partenaires du présent projet sont : Environnement Canada, Alex Cendre inc., INRS-Eau, la Communauté urbaine de Québec (CUQ) et le MEF.

L'objectif principal de ce projet de démonstration était d'établir un procédé environnemental et économique pour la décontamination des cendres volantes . Plus précisément, les objectifs de traitement étaient de rendre les cendres volantes non toxiques et conformes aux réglementations gouvernementales. De plus, ce traitement devait permettre le recyclage des cendres volantes traitées et la récupération des métaux extraits.

DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE

La description de la technologie de décontamination des cendres volantes est présentée schématiquement à la figure 1. Le procédé proposé consiste en la solubilisation chimique des métaux contenus dans les cendres volantes. Dans un premier temps, les cendres volantes sont acheminées vers un réacteur afin d'y subir le traitement de décontamination. Cette décontamination fait intervenir des lavages en milieu basique et en milieu acide et utilise le caractère oxydant de certains produits chimiques. Suite à ce traitement, les cendres volantes sont dirigées vers une unité de filtration; les cendres volantes ainsi filtrées sont décontaminées et peuvent être réutilisées. Les liquides de ces lavages sont conduits vers une unité de précipitation des métaux. Cette précipitation s'effectue en utilisant le principe des produits de solubilité (K_{ps}). Le précipité de métaux obtenu est filtré et peut être récupéré par l'industrie métallurgique.

Figure 1: Schéma global du procédé de décontamination des cendres volantes



DESCRIPTION DES ESSAIS ET RÉSULTATS OBTENUS

Le présent rapport se veut une synthèse de tous les résultats obtenus lors de la démonstration. Ce rapport présente donc les résultats du procédé dans son ensemble: les résultats face au test de lixiviation TCLP avant et après traitement, ceux concernant la filtration des cendres volantes traitées, la précipitation des métaux via la production d'un résidu métallique et finalement, la qualité de l'effluent final.

Au cours de la démonstration technologique, près de 13 tonnes de cendres volantes ont été traitées. À partir de ces cendres volantes, plus de 30 essais de décontamination ont été réalisés. Ces essais ont été effectués dans une usine pilote, propriété de l'INRS-Eau. Cette usine est équipée d'un réacteur d'un volume utile de 4000 litres et d'un filtre-pressé pour la déshydratation des cendres traitées. Elle comporte aussi deux décanteurs pour la précipitation des métaux ainsi qu'un filtre-pressé pour la filtration des résidus métalliques. De nombreux autres équipements comme des pompes, des contrôleurs de pH, des agitateurs et différents réservoirs de stockage font aussi partie de cette usine qui est contenue dans une unité mobile de 12 pieds par 60 pieds. Deux abris de 10 pieds par 15 pieds ont aussi été installés temporairement pour la durée des essais.

Les cendres volantes sont constituées des cendres de chaudières, des cendres d'électrofiltres et des chaux usées. Ces catégories représentent différents types de cendres volantes prélevées à des endroits distincts à l'incinérateur. Lorsqu'il est question d'un mélange, il s'agit d'une combinaison en proportions déterminées de cendres volantes.

Tests de lixiviation TCLP sur les cendres volantes non traitées

Les cendres de chaudières non traitées dépassaient la norme pour le cadmium dans la presque totalité des cas, ces dépassements ayant des valeurs variant entre 0.70 et 10.1 mg/L par rapport à la norme de 0.5 mg/L. Quant au plomb, celui-ci surpassait la norme beaucoup plus rarement. Pour les cendres d'électrofiltres, les dépassements de normes sont observés pour le plomb et le cadmium. Pour le plomb, des valeurs supérieures à la norme (5.0 mg/L) variant entre 5.16 et 32.3 mg/L sont observées dans la majorité des cas. Pour le cadmium, les dépassements sont encore plus élevés, variant entre 11.0 et 30.4 mg/L par rapport à la norme qui sera de 0.5 mg/L au Québec. Pour les chaux usées, moins de dépassements ont été observés pour le plomb et le cadmium. Toutefois, le mercure a dans la plupart des cas surpassé la norme au Québec (0.10 mg/L) avec des valeurs variant de 0.26 à 0.45 mg/L. Aucun dépassement de normes n'a été constaté pour les éléments suivants: l'arsenic, le sélénium, l'argent, le bore, le baryum et le fluor. Dans le cas des mélanges #1, #2 et #3, seul le cadmium était problématique avec des dépassements variant de 2.28 mg/L à 13.0 mg/L.

Afin de vérifier le potentiel toxique suite aux précipitations atmosphériques ou à un enfouissement des cendres volantes, un test simple est effectué, à titre indicatif seulement. Ce test, le test neutre à l'eau, consiste en un test de lixiviation à l'eau du robinet (50g de solide dans un litre d'eau). Celui-ci simule en fait un écoulement d'eau neutre sur un déchet solide. Même s'il n'est pas réglementaire, il est d'intérêt scientifique de démontrer ce qui advient des contaminants lors du contact avec l'eau. Cette simulation permet de vérifier si certains métaux peuvent être lixiviés vers le milieu récepteur. Ce test a permis d'abord de constater que le pH de l'extrait à l'eau est alcalin et varie entre 10.31 et 12.09. À ces valeurs de pH, le plomb peut être en partie solubilisé (jusqu'à 30 mg Pb/L) et c'est en effet ce qui est observé pour les cendres de chaudières et pour le mélange #1. Les autres métaux, quant à eux, restent sous forme solide et ne sont donc pas, ou très peu, retrouvés dans l'extrait.

Un test instantané à l'eau a aussi démontré une solubilisation de plomb allant jusqu'à 200 mg/L en présence du mélange #1 à 20% de solides totaux (ST).

Tests de lixiviation TCLP sur les cendres volantes après traitement

Lors de chaque essai, des tests de lixiviation TCLP ont été effectués sur les cendres volantes traitées. Bien que les résultats ne soient pas présentés, les normes étaient respectées pour l'argent, le baryum, le bore et le fluor lors des vérifications effectuées. Deux principales séries d'essais ont été réalisées durant la phase de démonstration du procédé. La première série d'essais a été effectuée à partir d'un mélange de cendres volantes tandis que la deuxième l'a été à partir des chaux usées seules.

D'après les résultats, nous pouvons constater que le traitement opéré sur le mélange #1 a permis de respecter les normes du TCLP pour les différents métaux analysés. En effet, les concentrations du plomb varient de 0.00 à 0.02 mg/L tandis que celles du cadmium se situent entre 0.01 et 0.08 mg/L, les normes étant de 5 mg/L pour le plomb et 0.5 mg/L pour le cadmium. Par la suite, un dépassement des normes a été observé pour le cadmium et le plomb et une optimisation a dû être faite. En fait, les précipitateurs électrostatiques ont été rénovés et remis en opération au mois de juin; ce fait a causé une augmentation importante de la teneur en plomb et cadmium. C'est ainsi que des réajustements au procédé ont été apportés, nous menant donc à l'obtention d'un nouveau mélange, soit le mélange #3. Les résultats obtenus lors des tests de lixiviation TCLP pour le mélange #3 démontrent le respect des normes avec des concentrations de 2.34 et 3.23 mg/L pour le plomb et de 0.27 et 0.41 mg/L pour le cadmium.

Les résultats auxquels nous sommes parvenus lors des tests de lixiviation TCLP pour les chaux usées seules sont aussi positifs. D'après ces résultats, le traitement proposé permet d'atteindre les normes exigées pour les principaux métaux problématiques soit le plomb, le cadmium et le mercure.

De fait, les concentrations obtenues pour le plomb varient de 0.37 à 3.15 mg/L, celles du cadmium de 0.02 à 0.12 mg/L et celles du mercure se trouvent sous 0.06 mg/L.

Tests de lixiviation neutre à l'eau sur les cendres volantes traitées

D'abord, le pH des cendres volantes après traitement est grandement abaissé, passant d'environ 12.5 à la neutralité. Le plomb soluble à l'eau subit quant à lui une grande baisse, diminuant de l'ordre de la dizaine de mg/L à pratiquement aucune lixiviation. Ce fait démontre donc comment le traitement permet l'enlèvement du plomb disponible à la lixiviation à l'eau. Pour le test à l'eau sur 24 heures, la disponibilité pour le mélange #1 passe d'environ 25 mg Pb/L à 0.03 mg Pb/L après traitement, soit une réduction de la disponibilité de 99.9%. Le test à l'eau est comparé à un test instantané à l'eau (1 heure environ). La réduction du plomb instantanément disponible à l'eau est de 99.98%.

Pourcentage d'enlèvement des métaux par le traitement

De très fortes teneurs en plomb et cadmium ont été atteintes; des concentrations de plus de 800 mg Cd/kg et de près de 10 000 mg Pb/kg ont été observées dans certains échantillons de cendres d'électrofiltres. La teneur en plomb et cadmium des chaux usées est beaucoup plus faible que celle des cendres d'électrofiltres et s'approche de celle des cendres de chaudières. Les cendres d'électrofiltres contiennent quant à elles une forte proportion de zinc.

Les pourcentages d'enlèvement indiquent jusqu'à quel niveau le procédé développé enlève et ne stabilise pas les métaux dans la matrice. Les procédés mis à l'épreuve sur le mélange #1 permettent un enlèvement moyen de 89.6% du cadmium (avec des valeurs variant entre 77.5 et 94.1%). Il en est ainsi pour le zinc avec un enlèvement moyen de l'ordre de 72.5%. Quant au plomb, un enlèvement moyen de 26.7% est observé.

Pour ce qui est du mélange #2, des efficacités moyennes d'enlèvement élevées sont observées pour le cadmium (95.4%), le zinc (85.6%) et, à un moindre niveau, pour le plomb (31.2%). Les taux d'enlèvement présentés pour le mélange #3 sont de 28.8% pour le plomb et de 94.6% pour le cadmium. Le traitement complet sur les chaux usées a permis d'enlever 59.1% de plomb, 84.2 % de cadmium et 62.2% de zinc.

Filtration des cendres volantes après traitement

L'observation des résultats permet de constater qu'il est possible, dans les conditions d'opération des essais, d'obtenir des gâteaux ayant une siccité globale moyenne de 44.3% de solides totaux (ST), avec une gamme variant de 34.1% à 55.0% ST. Les filtrats sont d'une limpidité étonnante avec une moyenne de matières en suspension (MES) de l'ordre de 17.2 mg/L. Cette limpidité de filtrat est aussi visible dans les résultats du taux de capture des particules approchant les 100%. Les taux de filtration du filtre-pressé sont relativement peu variables et élevés (16.80 kg/(m².h) à 21.2 kg/(m².h)) selon le type de cendres volantes. L'ensemble de ces données démontre donc l'efficacité du système de filtration.

Précipitation des métaux solubilisés lors du traitement des cendres volantes

La production moyenne de résidu métallique est de l'ordre d'environ 14.1% lors du traitement du mélange #1. C'est donc dire que chaque tonne de cendres volantes traitée produit approximativement 141 kg de résidu métallique. Pour les chaux usées, deux types d'essais ont été effectués. Le premier consistait en une combinaison de phases et a produit 8.8% de résidu métallique tandis que le second, qui consistait en une seule phase, a produit 0.56% de résidu métallique. Du point de vue qualitatif, 26 analyses ont été effectuées au cours du projet sur chacune des fractions et sur différents mélanges de cendres volantes. Les principaux éléments retrouvés dans ce résidu métallique sont l'aluminium, le calcium, le fer, le soufre et le zinc. Ce dernier élément représente en fait une source de zinc tout à fait susceptible à la récupération.

Il est intéressant de noter que des résidus métalliques atteignant plus de 10% en zinc ont été obtenus à trois reprises. La teneur en plomb des résidus métalliques est assez peu variable (2 401 à 5 115 mg/kg). La plus forte teneur en cadmium rencontrée est de 1 951 mg/kg et il s'agit des résidus métalliques produits à partir des chaux usées. Le calcium est l'élément majeur du précipité et représente de 12.2% à près de 25.3%. L'anion sulfate est grandement représenté car la teneur en soufre varie de 3.1% à 14.3%.

Effluent final du procédé de traitement des cendres volantes

La précipitation des métaux de l'effluent a permis de démontrer que la précipitation à pH 9.0, au lieu de pH 8.0, permet de diminuer la concentration de cadmium de 0.99 mg/L à 0.32 mg/L (norme à la CUQ de 2.0 mg Cd/L). Les effluents sont très limpides et ne dépassent aucune norme.

Bilan de masse sur les principaux métaux pour l'ensemble des essais effectués

Le bilan montre beaucoup d'informations fort intéressantes. Dans un premier temps, un total de 12 289 kg (12.3 tonnes) de cendres volantes ont été traités au pilote. Les cendres volantes traitées représentent 8347 kg secs, soit 68% de la masse sèche initiale. De cela, 1 377 kg secs de résidus métalliques ont été produits ainsi que 465 250 litres, ou 465.3 m³ d'effluent. Afin de vérifier l'adéquation du bilan, la somme des métaux retrouvés dans les cendres volantes traitées, du résidu métallique et de l'effluent doit égaler la quantité de métaux dans les cendres volantes avant traitement. Les résultats obtenus permettent de constater que le bilan boucle très bien pour le plomb (1.08), cadmium (0.93), zinc (1.02), cuivre (1.07) et nickel (1.02). Une telle précision est surprenante pour ce type de bilan de masse étant donné la quantité d'opérations effectuées. Pour les autres éléments, les bilans oscillent entre 1.27 (calcium) et 1.18 (chrome) à 0.84 (aluminium).

AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX

Les cendres volantes d'incinérateurs de déchets municipaux sont des matières dangereuses qui se doivent actuellement de subir un traitement de stabilisation préalablement à leur enfouissement. Le traitement de stabilisation consiste à isoler les cendres volantes dans une matrice cimentaire avant l'enfouissement dans un site à très haute sécurité. Avec le temps, cette matrice s'effrite et les métaux contenus dans celle-ci redeviennent lixiviabiles et constituent un danger pour l'environnement.

Le procédé de décontamination développé par Alex Cendre inc. et l'INRS-Eau (procédé Alex Cendre), vise à offrir aux gestionnaires d'incinérateurs de déchets municipaux à travers le monde une solution finale et durable pour les cendres volantes. Le procédé Alex Cendre décontamine les cendres volantes en extrayant la fraction toxique (plomb, cadmium et mercure), ce qui a pour effet de rendre les cendres décontaminées totalement inoffensives et propices à une réutilisation. La réutilisation des cendres décontaminées a un très fort potentiel, entre autres dans l'industrie du ciment, évitant ainsi l'enfouissement sanitaire. La concentration élevée de certains métaux contenus dans la fraction toxique (résidu métallique) peut justifier sa récupération dans l'industrie métallurgique.

Les effluents liquides produits lors de l'opération du procédé Alex Cendre sont tous conformes aux rejets à l'égout et ne constituent aucune menace pour l'environnement. Les émissions atmosphériques, même si elles sont mineures, pourront quant à elles être traitées par le système d'épuration des gaz existant à l'incinérateur.

Le procédé Alex Cendre a donc comme principal avantage environnemental de rendre une matière dangereuse (les cendres volantes) en matière récupérable. De plus, avec un recyclage des solides, des effluents liquides respectant les normes et un traitement de l'air approprié, l'opération de ce procédé ne constitue pas un risque pour la qualité du sol, de l'eau et de l'air.

ÉVALUATION DES COÛTS DE TRAITEMENT

Dans le but d'effectuer l'évaluation des coûts de traitement, les paramètres représentatifs des incinérateurs les plus courants en Europe et en Amérique du Nord ont été utilisés. Les coûts de traitement incluent l'achat et l'installation des équipements, les produits chimiques, la main-d'oeuvre, l'électricité et l'entretien des équipements, la gestion des cendres décontaminées ainsi que la gestion des résidus métalliques. Il est à noter que les coûts de traitement tiennent compte du fait que la décontamination des cendres volantes est opérée à même les installations de l'incinérateur, limitant ainsi les coûts de manipulation des cendres. Dans ce sens, l'espace requis pour l'installation des équipements représente une superficie de 100 à 150 mètres carrés.

Les équipements nécessaires à l'exploitation commerciale sont existants sur le marché. Ainsi, aucune fabrication majeure d'équipements ne sera exigée et seules quelques modifications mineures devront être apportées. L'opération du procédé de décontamination requiert certains produits chimiques. Ces produits sont disponibles en grande quantité dans le milieu industriel et ne sont pas sujets à de hautes fluctuations de prix. La main-d'oeuvre a été évaluée à deux personnes par quart de travail pour l'opération en phase commerciale. Une fois le système rodé, cette opération nécessitera les services d'un technicien en environnement et d'un opérateur. Les besoins énergétiques de ce procédé se limitent à l'électricité utilisée pour le fonctionnement des agitateurs, des compresseurs et des pompes. Un pourcentage du coût des équipements a été pris en considération pour leur entretien.

La gestion des cendres décontaminées suppose actuellement un enfouissement sanitaire standard. Toutefois, des filières de recyclage des cendres sont possibles. De fait, des débouchés dans l'industrie du ciment semblent représenter un très bon potentiel. Advenant le cas où une filière de recyclage était utilisée, une forte diminution des coûts de traitement serait notée.

Les résidus métalliques contiennent quant à eux des concentrations en métaux dépassant les normes de lixiviation prescrits par le Ministère de l'Environnement et de la Faune. Dans ces circonstances, la gestion de ces résidus est effectuée par un système de stabilisation et d'enfouissement tel que préconisé par Stablex Ltée. Cependant, ces résidus métalliques, vu leur contenu en métaux, peuvent constituer un attrait pour l'industrie métallurgique. Malgré le fait que la quantité de résidus métalliques produite soit faible, une filière de recyclage affecterait avantageusement les coûts de traitement.

En tenant compte de ces hypothèses de traitement, le coût d'exploitation du procédé de décontamination Alex Cendre est inférieur à 150\$/tonnes de cendres. L'optimisation du procédé et les filières de recyclage des cendres décontaminées et des résidus métalliques pourront permettre une diminution substantielle de ces coûts de traitement.

CONCLUSION

La gestion des cendres volantes d'incinérateurs de déchets municipaux est une problématique à l'échelle internationale. Le contenu de ces cendres volantes en métaux lourds tels le plomb, le cadmium et le mercure fait de celles-ci une matière dangereuse.

La compagnie Alex Cendre inc. et l'Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau) ont développé une technologie permettant la solubilisation chimique des métaux contenus dans les cendres volantes afin de rendre ces dernières réutilisables. Dans le cadre de ce projet de démonstration technologique, l'aménagement d'une usine pilote d'une capacité de 300 kg/jour a permis le traitement de 13 tonnes de cendres volantes.

Deux principales séries d'essais de décontamination ont été réalisées durant la phase de démonstration du procédé. La première série d'essais a été effectuées à partir d'un mélange de cendres volantes tandis que la deuxième l'a été à partir de chaux usées seules.

Le traitement opéré sur un mélange de cendres a permis de respecter les normes environnementales, en utilisant le TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure), pour les métaux analysés soit le plomb, le cadmium et le mercure. Les résultats obtenus lors des tests de lixiviation TCLP pour les chaux usées traitées seules sont aussi positifs puisqu'ils démontrent que le traitement proposé permet d'atteindre les normes exigées pour les principaux métaux problématiques. Les pourcentages d'enlèvement des métaux indiquent quant à eux jusqu'à quel niveau le procédé développé enlève les métaux plutôt que de les stabiliser dans la matrice.

Le procédé de décontamination des cendres volantes d'incinérateurs par solubilisation chimique permet d'atteindre les normes fixées pour la lixiviation des métaux et est

avantageux tant sur le plan environnemental que sur le plan économique. De fait, le traitement des cendres par ce procédé produit peu d'émissions atmosphériques et aucun effluent liquide toxique. Ce procédé permet aussi la réutilisation des cendres décontaminées et le recyclage des résidus métalliques. Sur le plan économique, le procédé Alex Cendre a un coût de traitement inférieur à 150\$/tonne de cendres volantes, ce qui signifie une importante diminution de coût par rapport aux modes de gestion actuels. De plus, les optimisations envisagées sur le procédé permettront de réduire considérablement les coûts de traitement.

À la lumière des résultats obtenus lors de cette phase de démonstration, il apparaît maintenant opportun d'enclencher l'application industrielle du procédé Alex Cendre.